

Ivan Luiz de Medeiros

**A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO  
NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Design.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Braviano

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Medeiros, Ivan Luiz de Medeiros  
A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO NO  
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS / Ivan Luiz de  
Medeiros Medeiros ; orientador, Gilson Braviano -  
Florianópolis, SC, 2016.  
197 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Comunicação e Expressão. Programa de Pós  
Graduação em Design.

Inclui referências

1. Design. 2. Design de Produto. 3. Materialização  
Digital. 4. Tomada de Decisão. I. , Gilson Braviano. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Design. III. Título.

Ivan Luiz de Medeiros

## A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de "Doutor", e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Design.

Florianópolis, 14 de dezembro de 2016.

  
Prof. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Gilson Bravino, Dr.  
Orientador

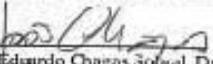
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.ª Regiane Trevisan Pupo, Dr.ª  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Richard Perassi Luiz de Souza, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.ª Alice Theresinha C. Pereira, Dr.ª  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Marcelo Göttrich G. Ferreira, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

  
Prof. João Eduardo Chagas Sobral, Dr.  
Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)



Este trabalho é dedicado ao meu filho  
Leonardo e a minha esposa Rossana.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço de forma especial ao professor, Gilson Braviano por ter me orientado neste doutorado, colaborando constantemente com suas infinitas correções e apontamentos. Sempre paciente e dedicado em contribuir na minha formação como pesquisador e professor, fica a amizade e o respeito pela pessoa e profissional.

A professora Regiane Pupo, que apresentou o tema de pesquisa e colaborou em diversos momentos neste trabalho, além de possibilitar a pesquisa no laboratório PRONTO 3D.

Aos professores Rodrigo Braga e Ana Verônica Pazmino, pelas conversas sobre meu tema de pesquisa e principalmente pela recepção calorosa dentro da UFSC.

A banca de qualificação Richard Perassi, Fabio Silva e Regiane que no momento adequado apontaram caminhos importantes a seguir.

Ao programa e professores do PósDesign – UFSC por contribuir com a minha formação acadêmica.

Aos quatorze pesquisadores de universidades que disponibilizaram seu tempo e conhecimento colaborando nas entrevistas e os nove designers participantes do grupo focal, igualmente importante para obter os resultados deste trabalho.

Aos meus amigos Jef Quint e Ricardo pela colaboração com a interface do leopardpro e ao Lucas pela programação do site.

Aos inúmeros amigos que estão na Univille e os incentivadores do início da minha vida acadêmica Marli Everling e João Sobral.

A minha esposa Rossana Salvador pela paciência e apoio incondicional e o Leonardo pela sua gargalhada.

Aos meus pais.



“Para o projetista, a produção do primeiro protótipo deve ser uma ocasião de invulgar interesse de quase excitação.”  
(Asimow, 1968)



## RESUMO

É comum, no processo de Design de produtos, que o início da atividade projetual ocorra de forma abstrata, passando posteriormente para o físico. Uma alternativa que contribui para minimizar os erros nas tomadas de decisões é realizar a materialização de propostas já na fase de concepção do processo de Design. Neste aspecto se encontra o diferencial desta pesquisa, ao se focar em processos de materialização mediados por meios digitais usados já nas etapas iniciais do processo projetual para a construção de *mock-ups*, modelos e protótipos. Objetivou-se desenvolver um Protocolo de identificação e priorização de critérios para a realização de Materialização Digital ainda na fase de conceituação. Na metodologia utilizada nesta pesquisa houve uma revisão bibliográfica, realização de entrevistas com pesquisadores brasileiros e atividade de grupo focal composto por designers de produto. Foram hierarquizados critérios e criaram-se regras para compor o Protocolo, que a partir das combinações destes elementos, gera sugestões relativas à aplicação dos processos de Materialização Digital. Os testes, realizados por meio de um site ([leopardpro.com.br](http://leopardpro.com.br)) elaborado especificamente para este fim, mostraram que os critérios de tomada de decisão identificados ao longo da pesquisa abrangem os aspectos relevantes quanto a aplicação de cortadora laser, impressão 3D e usinagem com CNC. As sugestões de aplicação da Materialização Digital oferecidas pelo sistema contribuem assertivamente para as dúvidas dos designers de produto quanto à seleção dos processos técnicos.

**Palavras-chave:** Design de Produto. Materialização Digital. Tomada de Decisão.



## ABSTRACT

It is common, in product design process, that the beginning of design activity takes place in an abstract way, posteriorly going through a physical phase. An alternative that contributes to minimize mistakes during decision making phases is to accomplish proposal materialization during conception phases of the design process. Therefore, this is the differential of this research, when focusing digital materialization processes in early phases of design processes aiming mock-ups, scale models and prototypes construction. The objective was to develop an identification protocol and criteria prioritization to achieve digital materialization during concept phases of design process. The methodology used in this research focused a literature review, interviews with Brazilian researchers and a focal group activity formed by product designers. Criteria were hierarchized and rules were created to set a protocol system that, from these elements arrangement, generates suggestions that are related to digital materialization processes. The tests, performed through a website ([leopardpro.com.br](http://leopardpro.com.br)) which was specially created to this activity, showed that decision making criteria identified throughout this research embraces relevant aspects regarding applications in equipment such as laser cutters, 3D printing and CNC milling. The suggestions on digital materialization applications offered by this system contribute assertively to product design doubts regarding the selection of technical processes.

**Keywords:** Product Design. Digital Materialization. Decision Making.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Tempo para compreensão.....	30
Figura 2– Fluxo de Trabalho .....	31
Figura 3 – Modelo Geral de Asimow.....	40
Figura 4- Fase III Projeto Detalhado de Asimow .....	43
Figura 5 – Processo Projetal de Pahl e Beitz.....	46
Figura 6- Modelo Geral de Rozenfeld .....	49
Figura 7- Principais resultados das fases de Desenvolvimento do Modelo de Rozenfeld.....	50
Figura 8 – Modelo Geral proposto por Back .....	53
Figura 9– Modelo geral de Baxter – Funil de decisão .....	61
Figura 10- Protótipo virtual .....	70
Figura 11 – Intenções do protótipo .....	71
Figura 12 – <i>Mock-up</i> .....	76
Figura 13- Número de dimensões dos métodos automatizados .....	78
Figura 14- Processos automatizados .....	79
Figura 15- Etapas do arquivo digital.....	81
Figura 16- Modelo de Simon .....	86
Figura 17- Síntese das Etapas da Pesquisa utilizadas na Tese .....	90
Figura 18 – Usinagem do Veículo Elétrico.....	99
Figura 19 – Pós-processamento do modelo do veículo.....	100
Figura 20 – Óculos de sol cortados por laser .....	102
Figura 21– Óculos obtidos por Impressão 3D .....	103
Figura 22– Protótipo Fase 01 .....	105
Figura 23– Protótipo Fase 02.....	106
Figura 24– Ajuste da modelagem tridimensional .....	107
Figura 25– Protótipo Fase 03.....	107
Figura 26– Modelo do veículo software 123D Make .....	110
Figura 27– Modelo do veículo cortado e montado .....	110
Figura 28 – Peças da torneira impressas e montadas .....	113
Figura 29– Modelo escala reduzida do Contrabaixo.....	115
Figura 30 – Usinagem do Contrabaixo .....	116
Figura 31 – Protótipo do Contrabaixo .....	117
Figura 32 – Banheira impressa em escala reduzida .....	119
Figura 33 – Usinagem e Montagem do Modelo da Banheira.....	120
Figura 34– Proposta do Mobiliário Impressão 3D.....	122
Figura 35– Mobiliário cortado a laser em escala reduzida.....	123
Figura 36 – Montagem do Mobiliário.....	123
Figura 37 – Critérios para o Protocolo.....	126
Figura 38 – Definição dos critérios do Protocolo .....	127
Figura 39 – Localização dos entrevistados .....	130
Figura 40 – Macro fluxo do Protocolo.....	140
Figura 41 –Fluxo do Protocolo Etapa 1 .....	141

Figura 42 - Fluxo do Protocolo Etapa 2.....	142
Figura 43 –Fluxo do Protocolo Etapa 3.....	143
Figura 44 –Fluxo do Protocolo Etapa 4.....	144
Figura 45 –Fluxo do Protocolo Etapa 5.....	145
Figura 46 – <i>Interface</i> Etapa 1.....	147
Figura 47 – <i>Interface</i> Etapa 2.....	148
Figura 48 – <i>Interface</i> Etapa 3.....	148
Figura 49 – Grupo Focal.....	150
Figura 50- Fluxo da revisão sistemática.....	172
Figura 51- Citações.....	173

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Etapas da conceituação .....	50
Quadro 2– Aplicação da materialização por Rozenfeld.....	51
Quadro 3 – Microestruturas de Bonsiepe.....	55
Quadro 4 – Tipos de modelos segundo Bonsiepe .....	56
Quadro 5 – Etapas de um projeto de Design.....	57
Quadro 6 – Modelo Geral de Munari.....	59
Quadro 7 – Modelos e protótipos.....	62
Quadro 8 - Processo de Design por Mozota .....	64
Quadro 9 – Posicionamento dos modelos e protótipos nas metodologias projetuais .....	67
Quadro 10 – Características do Processo Aditivo.....	83
Quadro 11 – Seleção dos Grupos de Pesquisa .....	92
Quadro 12 – Seleção dos Grupos de Pesquisa na área de Desenho Industrial ..	93
Quadro 13 – Sugestão de Pesquisadores.....	94
Quadro 14 – Respostas dos entrevistados quanto às ações apresentadas .....	131
Quadro 15– Sugestão dos entrevistados quanto aos processos apresentados...	132
Quadro 16 – Regras para as finalidades da materialização .....	139
Quadro 17– Características do Grupo Focal .....	150
Quadro 18- Palavras chaves.....	170



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AU	Arquitetura e Urbanismo
BOM	<i>Bill of Material</i>
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Assistida por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura Assistida por Computador)
CBDE	Centro Brasileiro de Design e Engenharias
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DI	Desenho Industrial
EUA	Estados Unidos da América
FABLAB	Laboratório de Fabricação Digital
FD	Fabricação Digital
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> (Modelagem por depósito de material fundido)
HTML	HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
MDF	<i>Medium-Density Fiberboard</i>
PLA	Poliácido Láctico
PCC	Projeto de Conclusão de Curso
PU	Poliuretano
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i> (Sinterização Seletiva a Laser)
SLA	<i>StereoLithography Aparatus</i>
STL	<i>Stereolithography</i> (Esteriolitografia)
SSCs	Sistema, Subsistemas e Componentes
TCLE	Termo de Consentimento e Livre Esclarecido
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
2D	Duas dimensões
2.5 D	Duas dimensões e meia
3D	Três dimensões



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	28
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA .....	34
1.3 HIPÓTESE .....	34
1.4 OBJETIVO .....	34
<b>1.4.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>34</b>
<b>1.4.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>34</b>
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	35
1.6 ADERÊNCIA AO PROGRAMA .....	35
1.7 INEDITISMO .....	35
1.8 METODOLOGIA .....	36
<b>1.8.1 Classificação da pesquisa na área de conhecimento.....</b>	<b>36</b>
<b>1.8.2 Classificação da pesquisa de acordo com a finalidade.....</b>	<b>36</b>
<b>1.8.3 Classificação da pesquisa de acordo com o nível de explicação ....</b>	<b>36</b>
<b>1.8.4 Classificação da pesquisa de acordo com os métodos adotados ....</b>	<b>37</b>
1.9 ESTRUTURA DA TESE.....	38
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>39</b>
2.1 METODOLOGIAS DE PROJETO DA ENGENHARIA .....	39
<b>2.1.1 Metodologia de Asimow .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.2 Metodologia de Pahl e Beitz .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.3 Metodologia de Rozenfeld .....</b>	<b>47</b>
<b>2.1.4 Metodologia de Back .....</b>	<b>52</b>
2.2 METODOLOGIAS DE DESIGN.....	54
<b>2.2.1 Metodologia de Bonsiepe.....</b>	<b>54</b>
<b>2.2.2 Metodologia de Löback .....</b>	<b>57</b>
<b>2.2.3 Metodologia de Munari .....</b>	<b>58</b>
<b>2.2.4 Metodologia de Baxter.....</b>	<b>60</b>
<b>2.2.5 Metodologia Design Thinking .....</b>	<b>62</b>
<b>2.2.6 Metodologia de Mozota .....</b>	<b>64</b>

<b>2.2.7 Considerações sobre os processos projetuais.....</b>	<b>66</b>
<b>2.3 FINALIDADES E CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS E</b>	
<b>PROTÓTIPOS.....</b>	<b>68</b>
<b>2.3.1 Modelos Físicos .....</b>	<b>74</b>
<b>2.3.2 Mock-up .....</b>	<b>74</b>
<b>2.4 MATERIALIZAÇÃO DIGITAL .....</b>	<b>76</b>
<b>2.4.1 Métodos automatizados.....</b>	<b>77</b>
<b>2.4.2 Processos aditivos .....</b>	<b>80</b>
<b>2.4.3 Corte a Laser.....</b>	<b>81</b>
<b>2.5 CRITÉRIO DE SELEÇÃO.....</b>	<b>82</b>
<b>2.6 TOMADA DE DECISÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>89</b>
<b>3.1 ETAPAS DA PESQUISA .....</b>	<b>90</b>
<b>4. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS PARA O</b>	
<b>DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1 ANÁLISE BANCO DE DADOS DO PRONTO3D.....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.1 Veículo Elétrico.....</b>	<b>98</b>
<b>4.1.2 Óculos de Sol.....</b>	<b>101</b>
<b>4.1.3 Equipamentos de Tecnologia Assistiva .....</b>	<b>104</b>
<b>4.1.4 Veículo Ultra Compacto.....</b>	<b>108</b>
<b>4.1.5 Torneira.....</b>	<b>112</b>
<b>4.1.6 Contrabaixo Elétrico .....</b>	<b>114</b>
<b>4.1.7 Banheira de Imersão .....</b>	<b>117</b>
<b>4.1.8 Mobiliário Urbano.....</b>	<b>121</b>
<b>4.2 A CONSTRUÇÃO DOS CRITÉRIOS A PARTIR DO BANCO DE</b>	
<b>DADOS DO PRONTO 3D.....</b>	<b>124</b>
<b>4.3 APRIMORAMENTO DOS CRITÉRIOS E REGRAS.....</b>	<b>129</b>
<b>4.3.1 Ampliação das Regras.....</b>	<b>133</b>
<b>4.3.2 Comentários Finais do Capítulo.....</b>	<b>134</b>
<b>5 DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO .....</b>	<b>137</b>
<b>5.1 ESTRUTURA DO PROTOCOLO .....</b>	<b>137</b>

5.2 INTERFACE DO PROTOCOLO .....	146
5.3 AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO COM O GRUPO FOCAL.....	149
5.3.1 Critério de seleção para o óculos de sol sem o Leopardpro.....	151
5.3.2 Critério de seleção para o óculos de sol com o Leopardpro .....	153
5.3.3 Critério de seleção para banheira de imersão .....	154
5.3.4 Considerações sobre a atividade com o grupo focal.....	155
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>157</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>160</b>
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICE A – Revisão Sistemática e Bibliometria da Tese .....</b>	<b>170</b>
<b>APÊNDICE B – Planilha Artigos Selecionados.....</b>	<b>174</b>
<b>APÊNDICE C – Roteiro das Entrevistas .....</b>	<b>182</b>
<b>APÊNDICE D – TCLE 01 .....</b>	<b>190</b>
<b>APÊNDICE E – TCLE 02 .....</b>	<b>192</b>
<b>APÊNDICE F – Atividade para o Grupo Focal .....</b>	<b>194</b>



## INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica digital tem avançado nas últimas décadas. Dentro das indústrias, na área de projeto de produto, isso se deve, em grande parte, ao rápido desenvolvimento no setor da computação e tecnologias de informação e comunicação, com a evolução constante dos hardwares e softwares.

O raciocínio humano passou a ser substituído, em alguns momentos, pelos computadores, e tarefas antes consideradas impossíveis de serem realizadas pela mente humana passaram a ser processadas rapidamente por softwares. O computador não só aumentou a capacidade de processamento de informações do ser humano, como passou a funcionar de forma conjunta para a resolução de problemas de grande complexidade (RIGHI & CELANI, 2008).

No início da década de 1990, com o advento da ferramenta CAD (do inglês *computer-aided design*, termo que na língua portuguesa é traduzido como Projeto Assistido por Computador), iniciou-se o processo de virtualização do projeto. Primeiramente, a ferramenta funcionava basicamente como uma prancheta digital, trabalhando exclusivamente em duas dimensões (2D). Com a evolução tecnológica, a atividade passa de desenho para a realização dos projetos em três dimensões (3D) utilizando modelos geométricos digitais para a produção de modelos físicos, tanto na produção de protótipos como em peças finais.

Os programas computacionais denominados CAD apresentaram uma evolução de três gerações: a primeira é identificada como um programa de computador de apoio à concepção e ao desenho, sem interfaces gráficas, caracterizado apenas no desenho bidimensional. A segunda, possuindo já interfaces gráficas, transforma o CAD em uma máquina de desenho mais desenvolvido ao introduzir o desenho tridimensional. A terceira geração ultrapassa as representações 2D e 3D do projeto, avançando para se transformar em um suporte para a criatividade e definindo novos tipos de protótipos (ASANOWICZ, 1999).

Sendo assim, Figueiredo e Romeiro Filho (2011) afirmam que a ferramenta CAD é a aplicação de computadores e softwares gráficos para auxiliar ou melhorar o projeto de produto desde a conceituação até a documentação dentre outras aplicações, atuando em todos os níveis no processo de projeto de produto. Os autores ainda complementam que o CAD é a principal tecnologia para um processo integrado de

desenvolvimento de produto em uma produção integrada por meio do computador.

Para Pupo (2009), não há dúvidas que a era digital revolucionou e reconfigurou a relação entre concepção e produção de projeto. Formou-se um elo que não é mais desassociado entre o que pode ser concebido e o que pode ser construído. A mesma autora afirma que os processos de trabalho nas construções têm mudado substancialmente desde a introdução dos primeiros sistemas CAD/CAM (*computer-aided design / computer-aided manufacturing*, Projeto e Manufatura Assistida por computador).

A função dos sistemas CAM está na geração de programas para operações de torneamento, eletro-erosão e fresamento, que corresponde a sua principal aplicação. Nas operações de fresamento podemos destacar softwares CAM para geração de usinagens simples com 2½ eixos de movimentação, usinagens com três eixos, e usinagens mais complexas com até cinco eixos programáveis (SOUZA e COELHO, 2003).

Hoje, os projetos não são somente criados digitalmente, mas também produzidos digitalmente, seja pela prototipagem rápida<sup>1</sup> ou por processos de fabricação digital<sup>2</sup> sendo numericamente controlados por computador (CNC), comumente chamados de processos “*file-to-factory*” (PUPO, 2011). A tradução literal do processo “*file-to-factory*” como sendo “do arquivo para a fábrica”, se caracteriza quando o modelo digital 3D se comunica diretamente com as máquinas programáveis (MEDEIROS et al., 2014).

---

<sup>1</sup> O termo prototipagem rápida designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (CAD). Tais métodos são bastante peculiares, uma vez que eles agregam e ligam materiais, camada a camada, (sistemas aditivos) de forma a constituir o objeto desejado (GORNÍ, 2001).

<sup>2</sup> Os equipamentos que fazem parte das tecnologias de fabricação digital são associados aos sistemas de controle numérico computadorizado (CNC). Os principais tipos são as cortadoras laser, as routers e as impressoras tridimensionais, que interpretam modelos digitais fazendo a transposição do virtual para o material de forma precisa e direta. Facilitando a prototipagem quanto a produção de produtos customizados (COSTA-NETO, et al., 2015) e (ALVARADO e BRUSCATO, 2009).

Segundo Osterhuis (2005), o processo *file-to-factory* se refere a uma mesclagem entre o processo de projeto e a fabricação, envolvendo a transferência direta de dados a partir de um software 2D e 3D para uma máquina capaz de transformar esses dados em movimentos, originando corte, usinagens ou impressões tridimensionais.

Nesse contexto de crescimento e evolução tecnológica, pode-se perceber um comportamento semelhante no mercado de consumo e desenvolvimento de produtos. Informação, conhecimento e capacidade de resposta aos anseios do mercado são diferenciais que as empresas utilizam como estratégia de competitividade.

Atualmente as empresas estão utilizando-se das novas tecnologias de informação objetivando integrar vários setores das organizações por meios tecnológicos e equipamentos (FRIEDEL e LIEDTKA, 2007).

A integração, sincronia e rapidez, entre as várias etapas do desenvolvimento de produtos fundamentam características chave na competitividade entre as empresas. Assim, a transição rápida do conceito do produto à produção é um incremento de competitividade que a prototipagem oferece às empresas como meio determinante para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos (FERREIRA et al., 2006).

Neste sentido Pahl et al., (2005) corroboram quando afirmam que o emprego do processamento de dados e da tecnologia da informação favorece tanto para a melhoria do produto como para a redução do custo do projeto e de produção (PAHL et al., 2005).

Complementando tais afirmações, pode-se destacar a competitividade que caracteriza o atual contexto econômico, o qual exige que as empresas desenvolvam novos produtos em um reduzido espaço de tempo. Neste contexto socioeconômico, deve-se recorrer a novas metodologias e ferramentas projetuais (BACK et al., 2008).

O princípio da individualização, baseado na construção de produtos únicos não massificados, atualmente nomeados de “customização em massa”, abre novas possibilidades para o Design. Estas possibilidades são usadas em diferentes campos de produtos: de camisetas até automóveis, passando por móveis produzidos por CNC (comando numérico computadorizado). A computação mudou o processo de projeto de forma definitiva (BÜRDEK, 2010).

Essa pesquisa tem potencial para beneficiar as empresas, em particular, e a sociedade como um todo, na medida em que facilita o processo de desenvolvimento de produtos. No momento presente, o mercado solicita respostas rápidas das indústrias; estas,

consequentemente, necessitam de desenvolvimento de produtos com metodologias que supram tal escopo. Como incremento metodológico, a utilização da materialização de protótipos mediados por sistemas digitais contribui para uma melhor ação projetual.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

No processo de desenvolvimento de produtos, a trajetória mais comum é iniciar no abstrato (pensamento) e transcorrer para o físico (produto), cabendo ao designer tomar decisões importantes ao longo desse processo. Para minimizar os erros nas tomadas de decisões, a materialização de soluções já na fase de concepção do processo de desenvolvimento surge como uma alternativa projetual para agilizar e construir com maior precisão. Mesmo com a atual facilidade ao acesso as tecnologias 3D capazes de materializar diretamente do arquivo virtual, existe um predomínio na área de projetos da utilização dos protótipos virtuais.

Dessa maneira vale lembrar que os atuais sistemas CAD, que vão muito além dos recursos para representações bidimensionais, são capazes de produzir detalhamento técnico e apresentações virtuais (*renders*) de projetos. Eles têm o poder de suportar dados mais elaborados relacionados ao artefato projetado, como por exemplo: modelagem geométrica, análise de elementos finitos, planejamento do processo de fabricação, avaliação do fator humano e algoritmos de otimização (ZENG e HORVÁTH, 2012).

A utilização de ferramentas computacionais de apoio à concepção e ao desenvolvimento de produtos é uma constante no setor industrial. Elas se utilizam da modelagem geométrica em duas e três dimensões, realidade virtual, simulações computacionais e da prototipagem virtual, ferramentas essas destinadas ao Design Virtual de Produtos. Na sua aplicação almeja-se agilidade no processo de desenvolvimento de produto industrial. Os recursos tecnológicos são utilizados com finalidade de virtualização e atualmente a maioria das empresas faz o uso de algum tipo de ferramenta virtual (CARNIEL e AYMONE, 2010).

Contudo, os estudos de Chandrasegaran (2013); Buswell et al., (2007); Lan (2009); Park, Fujimoto e Hong (2012) e Sokovic e Kopac (2006) apontam que o Design é um processo complexo e as ferramentas computacionais como CAD e CAM favorecem a redução do tempo de projeto melhorando as soluções propostas, além de contribuir para a liberdade do designer no processo criativo com a modelagem paramétrica. Essa característica permite que todas as dimensões de um

produto modelado por um sistema CAD estejam relacionadas entre si, através de um parâmetro. Quando se altera o valor numérico deste parâmetro, todos os valores atrelados a ele se alteram automaticamente (SOUZA e COELHO, 2003).

Pode-se reconhecer a impressão 3D como um novo processo de fabricação; sua importância aparece principalmente quando os produtos tem grande complexidade formal, se mostrando mais eficientes frente aos processos tradicionais de materialização como fresagem e torneamento, por vezes limitado. Salienta-se também a aplicação da impressão 3D de metal para a criação de ferramental, agilizando o processo produtivo (ARAYICI, 2007); (VAYRE, VIGNAT e VILLENEUVE, 2012).

Em um processo de desenvolvimento de produtos, quando existe a integração dos protótipos físicos produzidos com a impressão 3D e protótipos virtuais para a aplicação da realidade aumentada<sup>3</sup>, se consegue resultados de interatividade que colaboram na análise de usabilidade (PARK, MOON e LEE, 2009).

Os estudos de Maropoulos e Ceglarek (2010) e Gerber e Carroll (2012) enfatizam a importância dos protótipos para reduzir falhas e facilitar as mudanças corretivas no produto, colaborando, desta maneira para o ciclo de desenvolvimento. Salienta-se que o uso da prototipagem de baixa fidelidade para a visualização de várias ideias permite reformular a proposta trabalhada construindo uma oportunidade de aprendizagem para toda a equipe alocada na atividade projetual.

Já os autores Mahr e Lievens (2012) e Stappers (2009) abordam a colaboração de usuários especialistas por meio de comunidades digitais para melhorar o processo de desenvolvimento de produtos. Os mesmos autores afirmam que quando aplicados precocemente os protótipos iterativos com usuários são identificados antecipadamente problemas de usabilidade.

A construção de Protótipos Rápidos é de elevada importância, pois fisicamente e não apenas em papel ou imagens virtuais, é possível ter um grau de interação com o produto ou seu volume. Analisando as execuções dessas tecnologias, observa-se que os mesmos são gerados em questão de horas e não de dias ou semanas, como era antes do surgimento destas técnicas de construção (SUN et al., 2013).

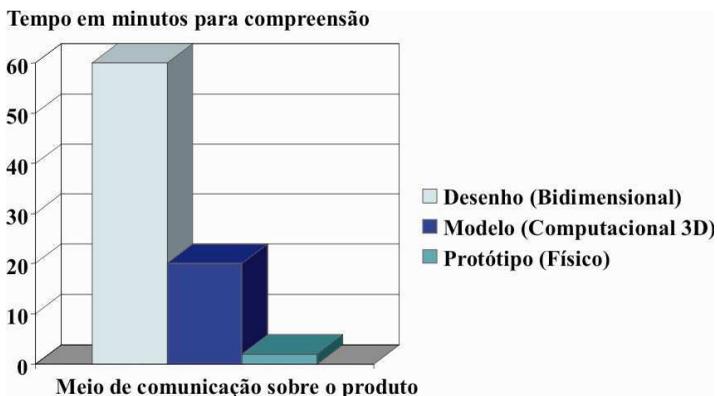
---

<sup>3</sup> É a sobreposição de objetos e ambientes virtuais com o ambiente físico, através de algum dispositivo tecnológico (KIRNER e SISCOOTTO, 2007).

Destaca-se, neste sentido, como um dos principais fatores responsáveis pela massificação do conhecimento e pela aplicação das impressoras 3D a redução do custo destes equipamentos que cada vez mais ficam acessíveis às pessoas comuns. Historicamente, a primeira impressora 3D comercial foi desenvolvida por Charles Hull em 1984 e foi denominada estereolitografia. Desde então, diversas técnicas foram desenvolvidas e muitos fabricantes comercializam uma infinidade de dispositivos de impressão 3D, com custos e qualidades dos mais diversos (TAKAGAKI, 2012).

Saura (2003) corrobora essas afirmações quando apresenta a questão da percepção da função dos protótipos ao afirmar que a percepção espacial de uma peça muitas vezes é de difícil interpretação. O autor conclui, argumentando que quando apresentada em uma forma “virtual”, seja em desenho bidimensional no papel ou computador, seja na forma tridimensional computacional (CAD), acarreta um considerável tempo para sua total compreensão. Já a percepção tridimensional tátil que desfruta no protótipo, possibilita melhor entendimento do objeto, conforme ilustra Figura 1.

Figura 1– Tempo para compreensão

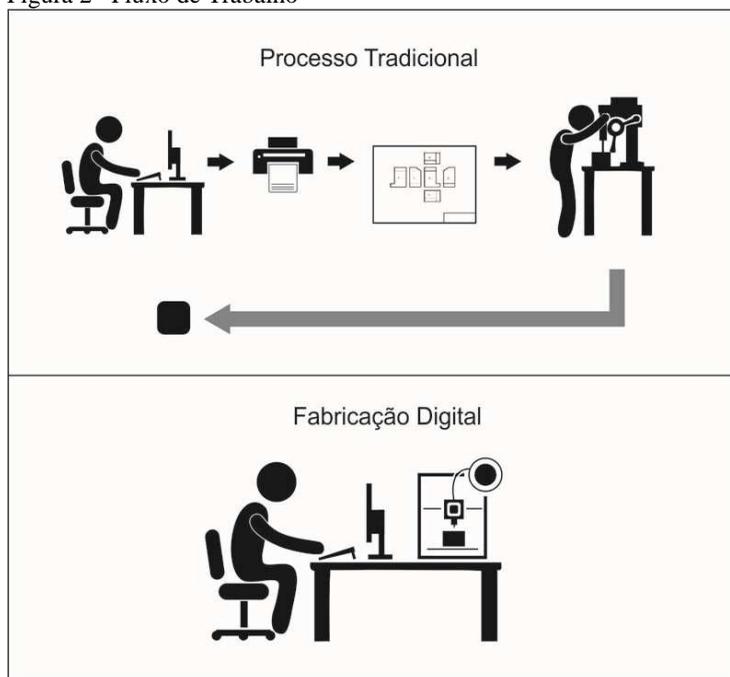


Em determinados momentos do processo de desenvolvimento, modelos e protótipos são fundamentais para compreensão de artefatos em projeção. Ao se finalizar o conceito de um produto, por exemplo, a análise volumétrica do mesmo se faz necessária na medida em que sua percepção formal, ergonômica e de usabilidade são fundamentais para expressão do Design do produto. Neste momento, pode-se também

perceber os valores simbólicos ou alegóricos que o produto representará (ASHLEY, 1997).

Em um processo costumeiro de desenvolvimento de um produto, as possíveis soluções são modeladas em três dimensões (3D), posteriormente representadas por desenhos em duas dimensões (2D), contendo as informações que precisam ser compreendidas por agentes intermediários para materializá-las. Com a evolução da tecnologia, passou-se a utilizar ambientes virtuais para concepção e visualização, mas, em se tratando de projeto de produto, ainda é necessária a transposição do modelo virtual para o objeto materializado através destes mesmos agentes. Mediada por um sistema digital, a manufatura passou a ser moderada diretamente pelo projeto, através de dados matemáticos, possibilitando a customização e a adaptação do artefato (Figura 2).

Figura 2– Fluxo de Trabalho



Fonte: do Autor.

Para alguns designers, a Fabricação Digital (FD) pode ser utilizada para a representação do desenho finalizado ou para estudar

formas complexas por meio de artefatos físicos. Uma vantagem principal da FD é a sua capacidade para produzir representações materiais de elevada qualidade para os desenhos complexos. O processo de Design com FD também apoia o método criativo para produzir variações de um único artefato ou diversos artefatos em vários estágios de Design (SASS e OXMAN, 2006). Percebendo-se as etapas do projeto como uma sistemática contínua e integrada de conceituação, materialização e fabricação, surge uma nova perspectiva de pensar soluções criativas, concluem os mesmos autores.

Todas essas novas propostas de manufatura possibilitam aos designers um pensar diferente sobre a construção de modelos e protótipos; aquilo que outrora era custoso e moroso agora pode ser um diferencial competitivo trabalhado com mais evidência no processo de desenvolvimento de produtos.

Sendo assim, o processo de desenvolvimento de produto que apresenta natureza multi e interdisciplinar utiliza os modelos físicos tridimensionais para contribuir neste processo. Apesar do interesse crescente em simulações tridimensionais virtuais de produtos, obtidas com computação gráfica, algumas sensações, como segurança, manuseio, aroma e percepção formal, somente são compreendidas com modelos físicos tridimensionais, razão pela qual modelos e protótipos são elementos importantes para o desenvolvimento de produto (VOLPATO et al., 2007).

A criação de modelos sempre foi uma ferramenta essencial para obter a sensação real de um conceito. Os modelos podem ser simbólicos (como uma equação matemática) ou físicos. Um modelo físico lindamente detalhado pode receber muitos elogios, mas ser totalmente inadequado para a etapa de Design. Portanto, é importante o designer ser capaz de selecionar o modelo adequado e eficiente em termos de custo para a etapa de Design que está sendo realizada, a fim de não desperdiçar recursos preciosos em um modelo que não trará grande contribuição para o design final (MORRIS, 2010).

Devido ao aumento da necessidade de avaliar os produtos ao longo do processo de desenvolvimento, é relevante a criação de versões interativas dos projetos que tomam forma através dos protótipos. Isso evidencia a emergência de novas tecnologias de prototipagem como: prototipagem virtual, prototipagem rápida, manufatura rápida, ferramenta rápida e engenharia reversa, as quais surgem com intuito de atender às novas demandas das indústrias, escritórios e profissionais de Design. É importante estar consciente das necessidades de cada fase do processo de Design, bem como da importância da escolha do protótipo

adequado a cada uma delas, considerando fatores como propósito, audiência, esforço, tempo e custos envolvidos (ALCOFORADO, 2014).

Até o presente momento o termo Prototipagem Rápida é usado no sentido de abranger os processos de Impressão 3D (aditivos), aplicados tanto na confecção de protótipos e/ou peças finais. Já a Fabricação Digital agrupa os processos de impressão 3D, corte a laser e usinagem por (CNC) processos substrativos, aplicados também para a construção de protótipos e/ou peças finais, dependendo do tipo de material, escala e acabamento.

Recentemente, um novo termo utilizado é *Digital Materiality*, que em uma livre tradução pode ser nominado Materialidade Digital. Caracteriza-se a Materialidade Digital pela precisão é um processo de concepção e construção controlado em todos os seus detalhes, resultando em uma “desmistificada” compreensão das tecnologias digitais e uma mais livre utilização do computador (WILLMANN et al., 2013; GRAMAZIO e KOHLER, 2008).

Consequentemente, a Materialidade Digital permite combinar as habilidades e deficiências dos seres humanos e máquinas para deliberar vantagem. Na era digital, isso significa que enquanto a máquina com a sua lógica numérica pode governar uma quantidade infinita de números, só os seres humanos com suas habilidades cognitivas e abordagens intuitivas podem reconhecer um sentido para elas. A Materialidade Digital está emergindo onde existe a interação entre dados e materiais, então, sob uma nova luz, como uma estruturação interdependente de arquitetura e as suas manifestações materiais. Materialidade Digital é, portanto, não incidental, nem suplementar, nem é um processo de embelezamento; em vez disso, corresponde a uma extensa colaboração, que pode ser analiticamente desenvolvido e implementado em escala arquitetônica (WILLMANN et al., 2013; GRAMAZIO e KOHLER, 2008).

Portanto, esta tese utilizará o termo Materialização Digital englobando os conceitos de Prototipagem Rápida, Fabricação Digital e *Digital Materiality* assumindo que esta representa a Materialização de objetos físicos mediada por sistemas digitais.

A partir destas potencialidades aqui apresentadas, pelas tecnologias da Materialização Digital em conjunto com a quantidade de informação que os modelos físicos desencadeiam no processo decisório, acredita-se que essas informações apresentam importância para os designers responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, para que sejam capazes de selecionar dentre as técnicas de materialização por meios digitais, a mais adequada a ser utilizada na fase de concepção do

desenvolvimento de produto, não impedindo que estas técnicas sejam aplicadas em outras etapas do processo de projeto.

Levando-se em conta que o desenvolvimento de produtos é estratégico para empresas e esse método deve ser sistemático para diminuir os riscos de investimentos ao longo das fases projetuais, organizar por meio de Protocolo a tomada de decisão, estabelece um diferencial que pode se tornar fundamental em uma sequência de ações.

A partir do exposto, apresenta-se a questão que norteia essa pesquisa, a hipótese e os objetivos.

## 1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Quais critérios são necessários e prioritários na seleção das tecnologias e materiais para a construção de modelos físicos na etapa de conceituação do processo de desenvolvimento de produto?

## 1.3 HIPÓTESE

Quando forem hierarquizadas corretamente as variáveis responsáveis pela seleção dos processos de Materialização Digital, mais assertiva será a sua aplicação para a construção de *mock-ups*, modelos e protótipos na fase de conceituação.

## 1.4 OBJETIVO

### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um Protocolo de identificação e priorização de critérios para os processos de Materialização Digital a ser aplicado na fase de conceituação.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Categorizar as formas de uso de modelos físicos no processo de desenvolvimento de produto em função do seu grau de acabamento;
- Identificar como vem sendo usados os processos de Materialização Digital no desenvolvimento de produtos;
- Estabelecer as principais variáveis decisórias na construção de *mock-ups*, modelos e protótipos, bem como as principais regras para a tomada de decisão.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A materialização de objetos físicos é muito usada no processo de Design de Produtos. Esta pesquisa aborda os processos de materialização de peças ou objetos mediados por sistemas digitais, considerando, como equipamentos, apenas o corte a laser, a impressão 3D e a usinagem com CNC. Finalmente, o foco do estudo aqui apresentado é a aplicabilidade destes processos na etapa de concepção do desenvolvimento de produtos. Foi criado um site para testar a proposta, portanto, não é objetivo desta pesquisa abordar suas características de usabilidade.

## 1.6 ADERÊNCIA AO PROGRAMA

Esta pesquisa mantém estreita relação com a compreensão das tendências tecnológicas no cenário mundial, referindo-se à aplicação da Materialização Digital no processo de desenvolvimento de produto. Estes elementos caracterizam a aderência ao Programa de Pós-Graduação em Design e ampliam esta relação na medida em que o estudo procura desenvolver avanços comportamentais no momento decisório dos designers otimizando a atividade projetual.

A pesquisa procura identificar os critérios mais relevantes na tomada de decisão no momento em que o profissional da área de projetos seleciona os meios de Materialização Digital, aplicando-os na construção de modelos físicos do mais diversos tipos de fidelidade. Esta informação é decisória e estratégica na atividade do Designer, levando em conta sua necessidade de gerenciar, por meio dessas ações, gargalos relacionados ao desenvolvimento de produto. Desta maneira, a pesquisa está diretamente inserida na gestão do processo de Design, mantendo aderência à linha de pesquisa Gestão e Tecnologia.

## 1.7 INEDITISMO

O ineditismo desta tese está em identificar e priorizar as variáveis no processo decisório dos designers de produtos quando buscam, já na etapa de concepção do processo projetual, materializar objetos ou peças mediadas por meios digitais.

Vale ressaltar, também, que a presente pesquisa se mostra inédita, pois, até o presente, não foram encontrados trabalhos que priorizam a aplicação dessas ferramentas digitais associadas aos processos de fabricação digital na fase de concepção de produtos. Tal lacuna foi

identificada após realização de uma revisão sistemática nas bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct, exposta nos Apêndices A e B, além de uma busca complementar no banco de teses e dissertações da Capes.

## 1.8 METODOLOGIA

De acordo com os materiais desenvolvidos e métodos utilizados, esta pesquisa pode ser classificada segundo a área de conhecimento, a finalidade, o nível de explicação e os métodos adotados, levando em conta as definições de Gil (2010), conforme se apresenta a seguir.

### 1.8.1 Classificação da pesquisa na área de conhecimento

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) classifica as pesquisas em sete grandes áreas de conhecimento: 1. Ciências Exatas e da Terra; 2. Ciências Biológicas; 3. Engenharias; 4. Ciências da Saúde; 5. Ciências Agrárias; 6. Ciências Sociais Aplicadas; e 7. Ciências Humanas (Gil, 2010). Esta tese se enquadra na grande área 6, das Ciências Sociais Aplicadas.

### 1.8.2 Classificação da pesquisa de acordo com a finalidade

Gil (2010) define, conforme a finalidade de uma pesquisa, quatro categorias: a pesquisa básica pura; a pesquisa estratégica; a pesquisa aplicada e o desenvolvimento experimental.

A pesquisa aplicada é aquela que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais (GERHARDT E SILVEIRA, 2009).

Assim, quanto à finalidade, esta tese está classificada como pesquisa aplicada, pois se trata da aquisição de conhecimentos específicos, com a finalidade de empregá-los em situações bem definidas, neste caso, na seleção de tecnologias a serem utilizadas no processo de desenvolvimento de produtos para a materialização de modelos e protótipos.

### 1.8.3 Classificação da pesquisa de acordo com o nível de explicação

Quanto ao nível de explicação, Gil (2010) classifica as pesquisas em exploratórias, descritivas e explicativas. A pesquisa descritiva

pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

Classifica-se esta tese como pesquisa descritiva, pois tem como objetivo observar, registrar, analisar, classificar e interpretar os dados sem interferência e manipulação do pesquisador. Também é uma pesquisa explicativa, pois procura registrar os fatos, analisá-los, interpretá-los e identificar suas causas, sendo uma continuidade da descritiva. Esse tipo de pesquisa visa ampliar generalizações, estruturar e definir modelos teóricos.

#### **1.8.4 Classificação da pesquisa de acordo com os métodos adotados**

Quanto aos métodos adotados, as pesquisas podem ser delineadas em: 1. Pesquisa bibliográfica; 2. Pesquisa documental; 3. Pesquisa experimental; 4. Ensaio clínico; 5. Estudo caso-controle; 6. Estudo de corte; 7. Levantamento de campo; 8. Estudo de caso; 9. Pesquisa etnográfica; 10. Pesquisa fenomenológica; 11. Teoria fundamentada nas informações; 12. Pesquisa-ação e 13. Pesquisa participante (GIL, 2010).

Nesta tese, serão utilizados métodos: 1. Pesquisa bibliográfica, 3. Pesquisa experimental, 7. Levantamento de campo e 11. Teoria fundamentada nas informações.

Para Lakatos e Marconi (2003), nenhuma descoberta da atualidade parte do zero; alguém ou algum grupo, em uma localidade, já pode ter feito algo igual ou semelhante, ou até realizado algum trabalho que possa complementar a pesquisa pretendida. Devido a isso, uma busca em tais fontes torna-se imprescindível, com o intuito de não duplicar esforços, minimizando trabalho acerca de ideias já expressas.

Gil (2002) afirma que a principal vantagem da revisão bibliográfica está no fato de permitir ao pesquisador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que este poderia explorar diretamente. Segundo Lakatos e Marconi (1992, p.44), “a pesquisa bibliográfica pode, portanto, ser considerada também como o primeiro passo de toda procura científica”.

O levantamento de campo utilizar-se-á de entrevistas para extrair as informações das regras de decisão utilizadas por pesquisadores da área.

Tal procedimento se deve ao fato de entrevistas serem consideradas um importante instrumento de trabalho nos vários campos das ciências sociais, cujo objetivo é obtenção de informação do pesquisado, sobre determinado assunto ou problema. Esta atividade faz com que o entrevistador tenha liberdade para desenvolver cada situação

em qualquer direção que considere mais adequada. No geral são perguntas abertas e podem ser respondidas dentro de uma conversa informal (LAKATOS e MARCONI, 2003), (FIALHO, BRAVIANO e SANTOS, 2005).

Uma atividade de Grupo Focal com profissionais atuando no mercado, para avaliar a proposta do protocolo, também integrou os procedimentos. A literatura de pesquisa considera que os grupos focais de tamanho moderado (sete a 10 pessoas) são ideais para coleta de dados, reunindo indivíduos que anteriormente tiveram alguma experiência comum, ou presumidamente compartilham opiniões comuns (YIN, 2016).

O Capítulo 3 aborda com maior precisão os elementos apresentados nesta seção.

## 1.9 ESTRUTURA DA TESE

A estrutura desta tese se divide em seis capítulos, sendo eles:

Capítulo 01- contém a Introdução; Justificativa; Questão de Pesquisa; Hipótese; Objetivo Geral e Específico; Delimitação do Tema; Aderência ao Programa; Ineditismo; Metodologia e Estrutura da tese.

Capítulo 02- abrange a Revisão da Literatura que se dividiu em: Metodologias de Projeto na Engenharia e Design; Finalidades e Características dos Modelos e Protótipos; Os processos de Materialização Digital; Critérios de Seleção e Tomada de Decisão.

Capítulo 03- foram expostos os Materiais, Métodos e a estrutura das Etapas da Pesquisa.

Capítulo 04- apresenta-se a Coleta e Tratamento de dados para o desenvolvimento do protocolo; Análise Banco de Dados do PRONTO3D; a Construção dos Critérios a partir do Banco de Dados do PRONTO 3D e o Aprimoramento dos Critérios e Regras estabelecidas.

Capítulo 05- abrange o Desenvolvimento do Protocolo; Estrutura e *Interface* do Protocolo e a sua Avaliação com o Grupo Focal.

Capítulo 06- Conclusões.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para melhor compreender o universo que abrange esta tese, as seções a seguir abordam a revisão de literatura das áreas da engenharia de produto e Design, apresentando seus processos metodológicos, juntamente com os critérios e categorização dos meios de Materialização Digital, e, por último, as características das tomadas de decisão no desenvolvimento de produto.

### **2.1 METODOLOGIAS DE PROJETO DA ENGENHARIA**

Como esse estudo procura identificar ações projetuais, optou-se por ampliar a compreensão dos processos de desenvolvimento de produto ao invés de restringir este estudo apenas ao campo do Design de produto. A escolha dessas metodologias projetuais se deu pela importância e representação histórica das principais metodologias estudadas na engenharia de produtos. Apresentam-se assim sua evolução histórica e características de recomendações do uso da materialização.

#### **2.1.1 Metodologia de Asimow**

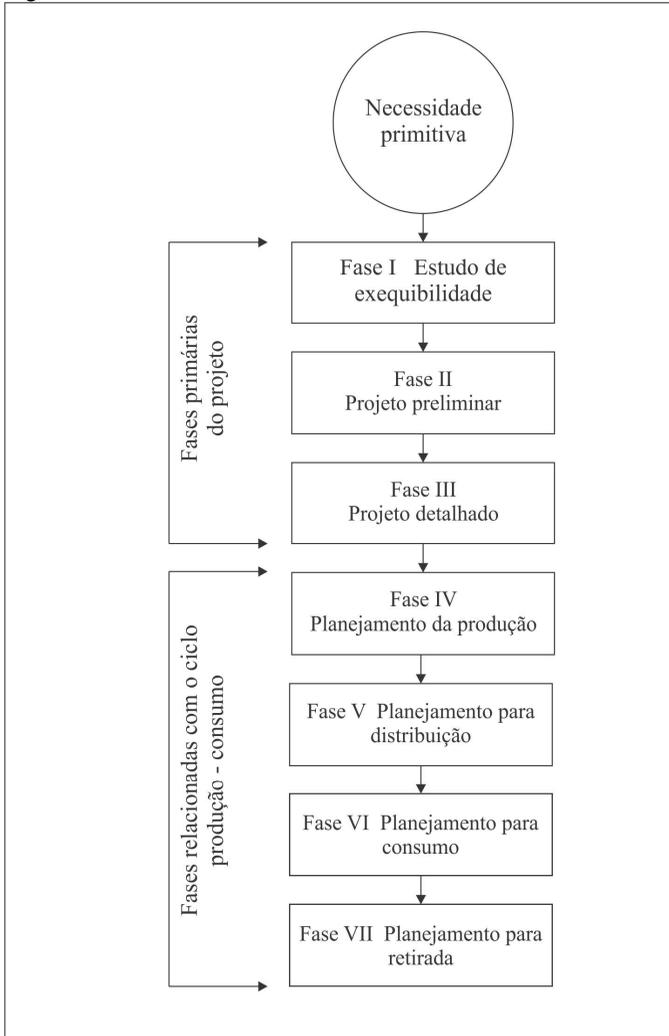
O projeto na engenharia é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos da nossa cultura. Um projetista não produz usualmente os bens de serviço de um consumidor, mas sim o modelo que é utilizado como referência para a reprodução, tantas vezes quanto necessária (ASIMOW, 1968).

Cada projeto tem uma história individual que lhe é pertinente em todas as suas peculiaridades. Não obstante, à medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, desdobra-se uma sequência de eventos, numa ordem cronológica, formando um modelo, o qual quase sempre é comum a todos os projetos. Deseja-se examinar este modelo e trazer a luz da metodologia pela qual as ideias sobre as necessidades são transformadas, produtivamente, em ideias sobre as coisas; estas, por sua vez são convertidas em objetos úteis (ASIMOW, 1968).

Primeiramente, consideremos o modelo geral, visto na figura 3. Um projeto desenvolve-se através de uma série de fases principais. Geralmente, uma nova fase não começa antes que a anterior esteja completa, muito embora alguns detalhes finais tenham que ser atendidos, enquanto a fase seguinte está em elaboração. Frequentemente, em particular quando é um grande projeto, parte do

peçoal técnico tem que ser mudado, em cada fase, a fim de trazer novas experiências e conhecimentos especiais ao trabalho e somente um grupo específico deve prosseguir permanentemente no projeto (ASIMOW, 1968).

Figura 3 – Modelo Geral de Asimow



Fonte: Asimow (1968).

O autor apresenta inicialmente uma visão geral na figura 3, da sua proposta do método de desenvolvimento de produto e depois estabelece ações que devem ser consideradas em cada fase. Como esta revisão tem por interesse conhecer as considerações dos pesquisadores sobre a etapa de conceituação e ações de materialização, delinea-se, a seguir, a Fase III do projeto detalhado.

A fase do projeto detalhado começa com a concepção desenvolvida no projeto preliminar. Seu fim é fornecer as descrições de engenharia de um projeto frutífero e verificado. Até este ponto, o projeto foi caracterizado pela sua fluidez. Grandes mudanças podiam ser efetuadas sem grandes perdas financeiras. De fato, para as duas primeiras fases tal fluidez é essencial, pois elas são primariamente exploratórias, procurando revelar uma gama adequada de possíveis soluções. Nesse ponto, todavia, cada exploração numa larga escala deve chegar a um fim e deve ser feita uma decisão final sobre uma determinada concepção para o projeto, caso contrário, o projeto deve ser abandonado como inexequível (ASIMOW, 1968).

Com a concepção para o projeto em mente e as informações de sínteses preliminares em mão, consegue-se, provisoriamente, uma síntese geral. Desenvolve-se então um leiaute padrão. Com este como base, o projeto detalhado – ou especificações dos componentes- é levado adiante. De vez em quando, as exigências no trabalho detalhado ao nível dos componentes podem indicar modificações no leiaute padrão; portanto, ele tem um status provisório. À medida que o relatório do projeto se desenvolve, o projeto experimental é apropriadamente iniciado e em seguida são construídos modelos experimentais para examinar ideias ainda não experimentadas. Os componentes, protótipos parciais e protótipos finalmente completos são testados à medida que surge a necessidade de informações. Estas informações, provenientes dos programas testes, fornecem uma base para reprojatos e refinamentos, até que se consiga uma descrição de engenharia para um projeto aprovado (ASIMOW, 1968).

Um conjunto de soluções plausíveis é o que resulta do passo da síntese. Cada um dos conjuntos é uma abstração mental que leva em conta alguns fatores ou elementos principais, dos quais depende. Muitos fatores auxiliares e consequentes, que podem inclinar na balança para o lado do sucesso ou do fracasso, são omitidos de tal idealização. Na verdade o problema é saber se é realmente possível realizar tal incorporação física prática como é sugerida pela concepção. Desse modo o problema de estabelecer com um grau de confiança, a possibilidade da realização física de uma solução, transfere-se para uma

igual consideração dos elementos constituintes. Essa estratégia de subdividir os problemas é um traço distintivo do processo de engenharia (ASIMOW, 1968).

A habilidade de manipular um arquétipo simbólico resulta em economia, conveniência e rapidez nos primeiros estágios de um projeto. A consecução dos mesmos resultados, pela variação dos elementos de um protótipo físico, seria dispendiosa e lenta e algumas vezes impossível. Nos últimos estágios do projeto, equilíbrio pode variar, e ambas as **economia e rapidez**, favorecem os testes e a manipulação dos modelos físicos (ASIMOW, 1968).

Para alguns tipos de projeto, a construção de modelos de pequeno porte, ao invés da elaboração de desenhos para montagem, tem-se mostrado mais barata, mais rápida e mais útil na conversão do projeto para a construção (ASIMOW, 1968).

Quando os protótipos são designados para servir um objetivo experimental, é permitido maior liberdade nas revisões. Fazer modificações pelo simples fato de se querer fazê-las é considerado desastre de ordem técnica. Devem ser reconhecidas as melhores ideias e implementá-las futuramente (ASIMOW, 1968).

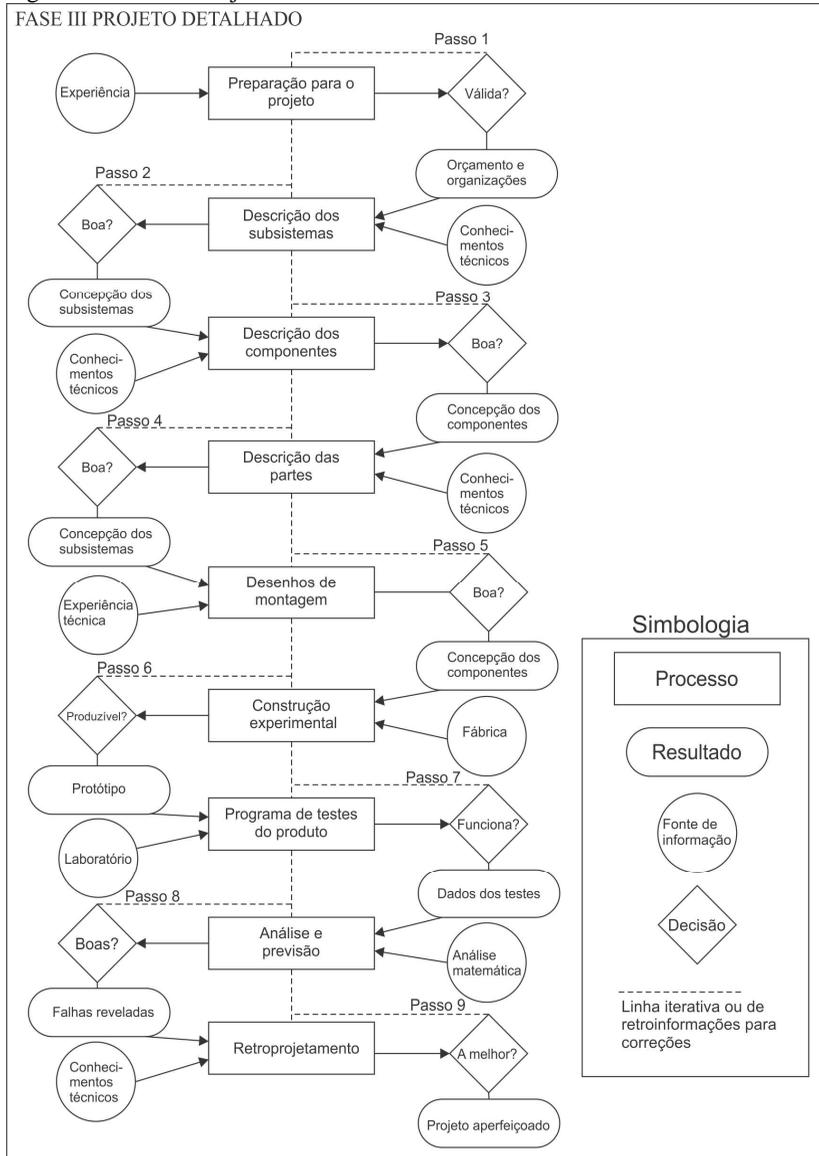
A construção do protótipo é a primeira oportunidade em larga escala para verificar as concepções do projeto na transição para a realização física. Os projetistas devem trabalhar em conjunto com os engenheiros de produção avaliando quaisquer transtornos no processo produtivo. Neste momento se compartilha da visão do produtor (ASIMOW, 1968).

Para o projetista, a produção do primeiro protótipo deve ser uma ocasião de invulgar interesse – de quase excitação. É uma ocasião para sentir-se a alegria e a dor da criação, quando as ideias concebidas na mente e promovidas no abstrato brotam no mundo da realização física; quando o arquétipo materializa-se no protótipo (ASIMOW, 1968:57).

O protótipo é a primeira aproximação do produto que deverá ser posto nas mãos do consumidor. Anteriormente sua visão está do lado do produtor e com o protótipo o ponto de vista fica orientado para o lado do consumidor (ASIMOW, 1968).

Pode-se visualizar na figura 4 a Fase III desenvolvida por Asimow e adaptada pelo autor.

Figura 4- Fase III Projeto Detalhado de Asimow



Fonte: Adaptado, pelo autor, de Asimow (1968).

Asimow (1968), estabelece um momento de construção experimental onde deve-se utilizar modelos de pequeno porte,

produzidos rapidamente sem grandes custos que favorece o entendimento físico do produto e seus componentes. Após essa ação se constrói o protótipo com melhor acabamento e funcionalidade. O autor apresenta a relevância da materialização para o projetista devido a quantidade de informações que são extraídas dos modelos físicos. Devido ao período publicado não existem menção sobre a utilização dos processos computacionais.

Tem-se a divisão clara do autor de modelo e protótipo. Modelo tem a sua função informacional direcionada ao projetista e rápida construção, já o protótipo é funcional e deve ser utilizado com o consumidor para testes.

### **2.1.2 Metodologia de Pahl e Beitz**

Segundo Pahl et al., (2005), Wörgerbauer (1942) foi o primeiro a ensaiar uma abrangente exposição da “ciência do projeto”, de modo que seus trabalhos são considerados o verdadeiro início do projeto sistemático. Wörgerbauer desdobra a tarefa global em subtarefas e essas em tarefas funcionais e tarefas de concretização. Com base em múltipla visão, ele representa as relações entre variáveis de influência reconhecíveis presentes no projeto. Por falta de pontos de vista superiorizados, a quantidade de interligações indicada, frequentemente desnorteia mais do que informa. No entanto, fica evidente o que o projetista deverá considerar e aonde terá que chegar.

O próprio Wörgerbauer ainda não elaborou as soluções de forma sistemática. Sua busca metódica da solução parte de uma solução encontrada de forma mais ou menos intuitiva; variando esta solução da forma mais abrangente possível, com respeito à forma básica, ao material e à própria produção; aqui ele inclui intencionalmente todas as variáveis identificadas que influenciam na solução. Isso vai rapidamente ao encontro da necessidade de determinar a diversidade das soluções encontradas. Isso ocorre através de testes e avaliações, onde os aspectos relativos ao custo são dominantes. As listas de particularidades bastante abrangentes de Wörgerbauer auxiliam a busca de soluções e também servem como listas de verificações e avaliações (PAHL et al.,2005).

O mesmo autor afirma que antes e durante a Segunda Guerra Mundial já existia certa demanda pela melhoria e racionalização do processo de projeto, a sistematização das mencionadas atividades num processo de projeto enfrentava restrições:

- Faltavam meios de representação adequados para inter-relações abstratas, e informativas; e

- A ideia geral impedia compreender a atividade de projeto, não somente como arte, mais também como atividade no domínio técnico.

Para Pahl et al., (2005), do ponto de vista metodológico, projetar é um processo de otimização com objetivos predeterminados e condicionantes em partes conflitantes. Os requisitos variam em função do tempo, de modo que uma solução de projeto só pode ser objetivada ou almejada de maneira otimizada, sob as condicionantes existentes na época da solicitação.

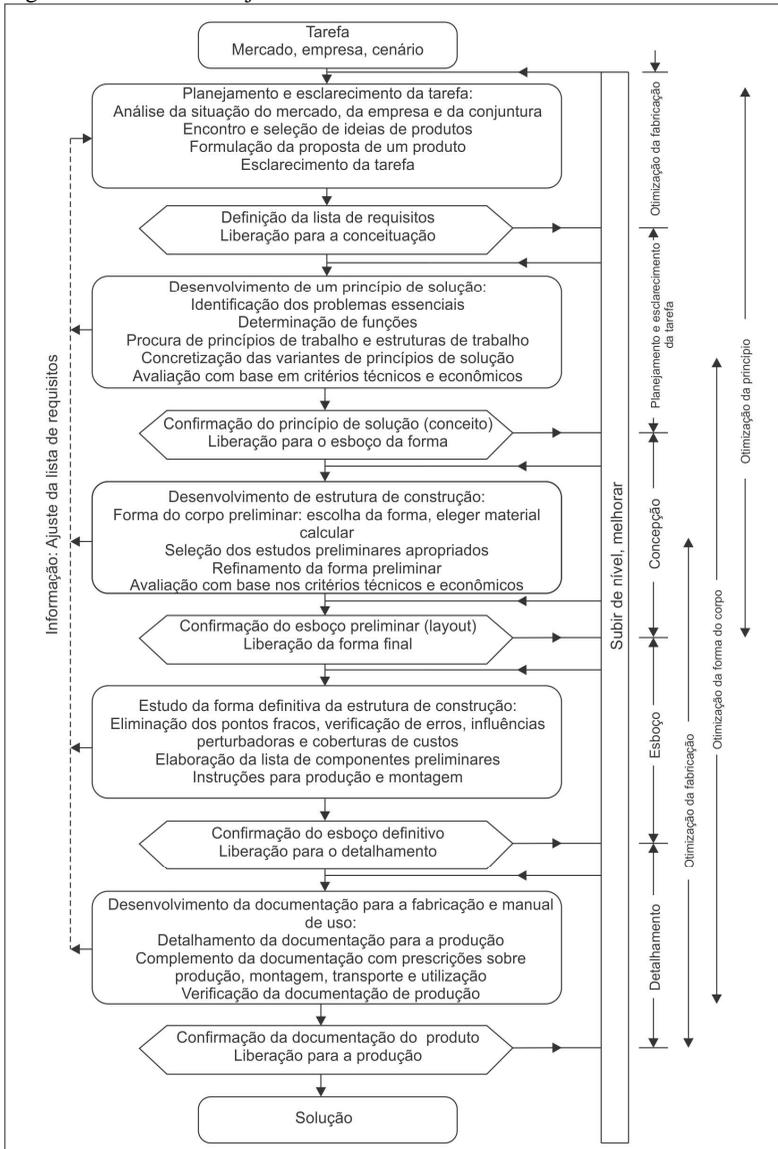
As atividades do projetista são desdobradas em:

- Conceituais, ou seja, o esforço de busca do princípio da solução, para o qual, além dos métodos de aplicação geral, também servem métodos especiais.
- De pré-projeto, ou seja, trabalhos de concretização do princípio da solução pela definição da configuração e do material, para o qual são especialmente adequados os métodos;
- De detalhamento, ou seja, atividades referentes à preparação dos subsídios para a produção e utilização;
- Atividades de cálculo, desenho e busca de informações, que incidem em todas as etapas de projeto.

Em resumo, constata-se que são numerosos os requisitos impostos ao projetista e que, com o passar do tempo, tendem a aumentar ainda mais. Para atender a essa demanda será necessária uma aprendizagem continuada. Contudo, também a formação fundamental precisa satisfazer essas exigências. Assim, considera-se como imprescindível que a nova geração que mais tarde trabalhará com projetos, além das tradicionais disciplinas deverá possuir especialização em disciplinas de aplicação direcionada ao produto (ou ao projeto) bem como à metodologia de projeto incluindo CAD e CAE (*computer aided engineering*).

Na figura 5 apresenta-se a proposta metodológica de Pahl et al.,(2005).

Figura 5 – Processo Projetual de Pahl e Beitz



Fonte: Pahl et al., (2005).

A figura 5, estrutura a proposta metodológica de Pahl et al.(2005), pode-se perceber que não existe menção sobre a utilização e

aplicação da materialização, porém os autores afirmam que não foi incluída a produção de modelos e protótipos, pois isso sempre representa um processo de extração de informações e que deve ser empregado onde for necessário.

Em muitos casos, modelos e protótipos já são apresentados na etapa de concepção, principalmente quando for para o esclarecimento de questões básicas. Dela faz uso a mecânica fina, eletrônica e as indústrias de produção em massa. Na mecânica pesada e na construção de instalações industriais produzidas de forma unitária, por razões de execução, custo e gasto de tempo, protótipos somente são concebíveis, caso façam parte do pedido do cliente (PAHL et al., 2005).

Na fabricação de séries pequenas, normalmente se produz uma unidade com apropriada antecedência, a fim de eliminar eventuais problemas até o início da fabricação em série (PAHL et al., 2005).

Fica, portanto, clara a importância concedida pelos autores para as informações que possam ser obtidas com a materialização, principalmente quando mencionam a possibilidade de materializar quando for necessário.

### **2.1.3 Metodologia de Rozenfeld**

De modo geral, desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividade por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo (ROZENFELD et al., 2006).

Para os mesmos autores existem características específicas do processo de desenvolvimento de produto, que são:

- Elevado grau de incertezas e riscos das atividades e resultados;
- Decisões importantes devem ser tomadas no início do processo;
- Dificuldade de mudar decisões iniciais;
- As atividades básicas seguem um ciclo: projetar (gerar alternativas) – construir – testar – otimizar;
- Manipulação e geração de alto volume de informações;
- As informações provêm de diversas áreas da empresa e do mercado;
- Multiplicidade de requisitos a serem atendidos pelo processo.

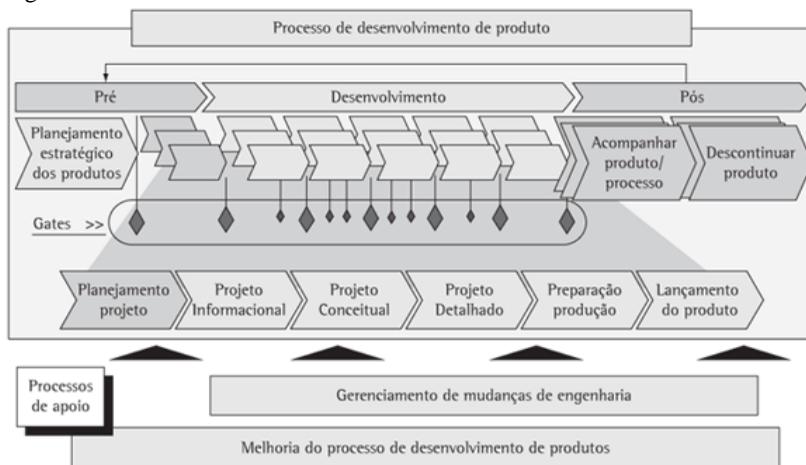
O que distingue as empresas com excelência em desenvolvimento de produtos é a coerência de todo o processo: estratégia, estrutura organizacional, sistematização, habilidades técnicas e mecanismos de aprendizagem. É fundamental que se tenha uma estratégia de desenvolvimento que representa um caminho que possa reduzir os problemas típicos (ROZENFELD et al., 2006).

O processo de desenvolvimento de produto possui objetivos estabelecidos periodicamente e garante a utilização das melhores práticas de projeto e um linguajar padronizado e único em toda a corporação. Este modelo apresentado é voltado principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital. É importante notar que ele é dividido em três macrofases: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2006).

As macrofases de pré e pós-desenvolvimento são genéricas e podem ser usadas em outros tipos de empresas. A macrofase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção. O que determina uma fase é a entrega de um conjunto de resultados que marcam um novo patamar de evolução do projeto. A avaliação dos resultados da fase propõe uma reflexão sobre o andamento do projeto, antecipando problemas e gerando aprendizagem para a empresa (ROZENFELD et al., 2006).

Na figura 6 é apresentada a visão geral do modelo desenvolvido por Rozenfeld e colaboradores.

Figura 6- Modelo Geral de Rozenfeld

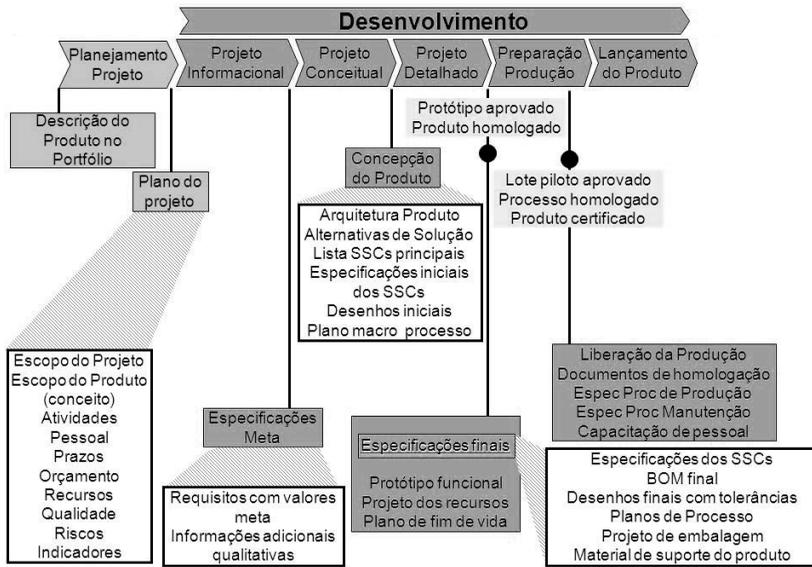


Fonte: Rozenfeld et al., (2006, p 44).

Deste modelo, aborda-se, a seguir, a fase de desenvolvimento, suas ações e resultados, procurando identificar nas ações descritas aquelas que apresentam a aplicação da materialização.

A primeira fase de desenvolvimento, o projeto informacional, cria, a partir do plano do projeto, especificações do futuro produto. Em seguida à fase de concepção são geradas e detalhadas soluções de projetos até encontrar uma solução que satisfaça as metas propostas. Na fase do projeto detalhado, a concepção do produto será transformada em especificações finais de produção, contendo uma gama de documentação e outras informações, como o protótipo final e o projeto de recursos. Durante a preparação da produção, este é certificado com base no lote piloto, acontecendo à homologação da produção. Essas etapas são visualizadas na Figura 7.

Figura 7- Principais resultados das fases de Desenvolvimento do Modelo de Rozenfeld



Fonte: Rozenfeld et al., (2006, p 48).

Procurou-se compreender a abordagem dos autores do modelo aqui apresentado nos aspectos referentes à fase específica do projeto conceitual. Assim, o Quadro 1 estruturou as principais ações projetuais propostas por Rozenfeld et al., (2006).

Quadro 1– Etapas da conceituação

<b>Termo</b>	<b>Definição</b>
Especificações-meta	Conjunto de objetivos e metas que o produto deve atender. Deve refletir as características que o produto deverá ter para atender as necessidades dos clientes.
Estrutura funcional do produto	Representa de forma hierárquica e estruturada a lista de funções que o produto deve possuir.
Princípios de solução individual	Propostas construtivas e formais de soluções que realizam as funções do produto.

Princípios de solução totais	Conjunto coerente e integrado dos princípios de solução individual.
Princípios de solução	Conjunto de princípios de solução totais.
Arquitetura do produto	Esquema pelo qual os elementos funcionais do produto (funções) são arranjados em partes físicas e como essas partes interagem. Pode ter uma forma gráfica (leiaute do produto).
Desenhos iniciais	Representação gráfica de todos os itens de um produto.
Listas dos SSCs (principais)	São os elementos constituintes do produto (sistemas, subsistemas e componentes), organizados em forma de listas.
BOM inicial (estrutura do produto)	Primeira versão da identificação dos itens e dos relacionamentos entre eles, assim como conexão como todos os documentos relacionados.
Modelo do produto	Esquema que representa os elementos principais do produto e suas interfaces. Pode ser um leiaute gráfico, um desenho, um modelo geométrico etc. (depende da ferramenta utilizada na fase do Projeto Conceitual).

Fonte: Adaptado, pelo autor, de Rozenfeld et al., (2006).

No quadro 1, existe a recomendação dos autores para o uso de um modelo geométrico, Rozenfeld et al., (2006) estabelece quatro tipos de testes (exploratório, avaliação, validação e comparativos) que são realizados ao longo do processo de desenvolvimento de produto com a aplicação da materialização, conforme está exposto no Quadro 2.

Quadro 2– Aplicação da materialização por Rozenfeld

Tipos	Etapa processual	Ferramentas
Teste exploratório	Planejamento e informacional	Observações, entrevistas, discussões com usuários.

Testes de avaliação	Predominantemente conceitual avançando para o detalhado	Modelos analíticos, simulações e <i>Mock-ups</i> com clientes externos e internos. Informações obtidas com observações, discussão e entrevista.
Testes de validação	Conceitual, detalhado e preparação da produção	O produto deve ser representado o mais próximo da solução final.
Testes comparativos	Qualquer momento	Compara uma concepção, produto ou elemento do produto contra alguma alternativa.

Fonte: Adaptado, pelo autor, de Rozenfeld et al., (2006).

Ao final da revisão sobre o modelo de processo de desenvolvimento de produto proposto por Rozenfeld et al., (2006), percebe-se a importância do uso da materialização em diversas etapas do projeto. Os autores afirmam que o uso da materialização pode se dar não somente com o protótipo na fase final do Projeto detalhado, mas também com modelos na fase conceitual.

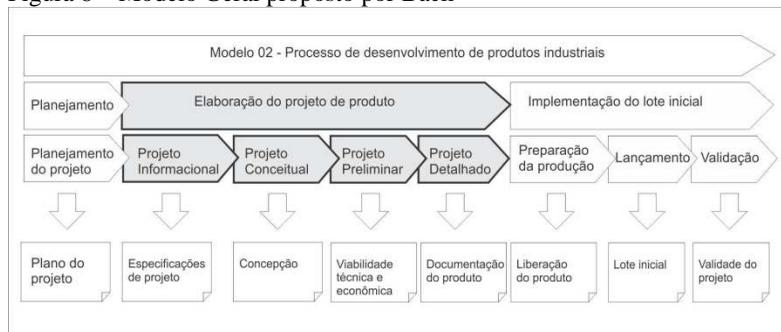
#### 2.1.4 Metodologia de Back

Segundo Back et al., (2008), o projeto do produto pode ser formulado como o ato, sujeito às restrições de resolução, de planejar uma peça ou um sistema para atender de forma ótima às necessidades estabelecidas, e sujeito, ainda, às restrições de solução. Por restrições de resolução, entendem-se aquelas que se relacionam com o conhecimento disponível, o tempo e as facilidades de laboratório e de computação para resolver o problema; por restrições de solução, entendem-se aquelas que englobam aspectos de custos, disponibilidade de materiais, equipamentos de fabricação e de uso, manutenção e descarte.

Como se pode observar, o projeto do produto é um plano amplo para realizar algo, compreendendo aspectos desde a identificação de uma necessidade até o descarte ou o seu efeito sobre o meio ambiente.

O modelo esquematizado na figura 8 é decomposto em três macrofases, ramificadas em oito fases. Ao final de cada fase há uma avaliação do resultado obtido, autorizando a passagem para a fase seguinte (BACK et al., 2008).

Figura 8 – Modelo Geral proposto por Back



Fonte: Back et al., (2008, p 70).

Para Back et al., (2008), o projeto conceitual destina-se ao desenvolvimento da concepção do produto, buscando primeiramente estabelecer sua estrutura funcional. Determinadas as funções, realiza-se o estudo de estruturas funcionais, desenvolvendo alternativas e selecionando as mais adequadas. Para a seleção da concepção, é necessário analisar comparativamente as alternativas, considerando: custos, riscos de desenvolvimento, plano de manufatura, prazo, complexidade, metas de qualidade e segurança. Uma vez selecionada a alternativa final iniciam-se estudos para identificar os processos de fabricação e, simultaneamente, são definidos prazos com os fornecedores.

Os autores concluem que o projeto conceitual de um produto deve ser bem elaborado de início, para evitar os elevados custos de modificações em estágios avançados de desenvolvimento.

Já o Projeto Preliminar destina-se a definição do leiaute final do produto e a determinação da viabilidade técnica e econômica. Para realizar essas tarefas são necessários:

- Identificação das dimensões, material, ergonomia e manufatura;
- Definição dos componentes e revisão das patentes e aspectos legais de segurança; seleção de alternativas para atender ao número de modelos definidos pelo marketing;

- Estabelecimento das principais dimensões dos componentes, materiais e processos de fabricação;
- Realização de testes com *Mock-ups* para confirmar o atendimento dos leiautes alternativos às necessidades de mercado; avaliação dos leiautes alternativos sob o ponto de vista de viabilidade técnica do projeto.

Para atender às funções, o projeto preliminar faz uso de diferentes tipos de modelos: icônicos (utiliza esquemas gráficos), analógicos (modelos em escalas com características comportamentais semelhantes – comporta de forma análoga à propriedade do produto), numéricos e computacionais (protótipos virtuais). Por fim, estabelece o leiaute final e iniciam-se o desenvolvimento do plano de fabricação e teste do protótipo. Essa análise definiu o cálculo inicial de custo e requisitos de manufatura do protótipo (BACK et al., 2008).

Em respeito à definição de modelo e protótipo, Back et al., (2008) afirmam que o Protótipo representa o objeto a ser projetado com todas as características funcionais e dimensionais do produto, enquanto o modelo é o objeto em escala, geralmente reduzida, de cuja análise se pretende tirar conclusões a serem empregadas na avaliação do comportamento do protótipo. Além do aspecto de escala, o modelo pode ser de material diferente e possuir características funcionais parciais.

## 2.2 METODOLOGIAS DE DESIGN

A seguir, são apresentadas algumas das principais metodologias projetuais na área do Design, escolhidas a partir de sua representatividade na área de ensino. Esta revisão procura destacar nestes processos quais são as recomendações habituais quanto à materialização e quais os momentos de sua aplicação.

### 2.2.1 Metodologia de Bonsiepe

Na estrutura proposta por Bonsiepe (1978), o desenvolvimento de produto foi dividido em Macroestrutura e microestrutura do processo projetual.

Por macroestrutura entende-se a subdivisão do processo projetual em diversas etapas. Já a microestrutura aborda a descrição das especificações técnicas aplicadas em cada uma das fases. O processo projetual tem sido entendido como uma sequência alternada dos

processos elementares, interrompidos por períodos de rotina, isto é, a criação e a redução da variedade (BONSIEPE, 1978).

A metodologia de projeto divide em uma ordem sequencial o processo, com independência de grau de refinamento, e pode ser estabelecida em três blocos:

Fase 1- Estruturação do problema;

Fase 2- Projetação;

Fase 3 – Realização do projeto.

Qualquer uma das fases pode ser subdividida em uma série de passos, ilustrados no Quadro 3.

Quadro 3 – Microestruturas de Bonsiepe

1.1 Descobrimto de uma necessidade	Identificar uma necessidade de insatisfação
1.2 Avaliação de uma necessidade	Verificar a legitimidade de um problema projetual segundo critérios sociais
1.3 Formulação geral do problema	Conforme as informações recolhidas descrever a finalidade do produto que se tem a projetar.
1.4 Formulação particularizadas do problema	Estabelecer os requisitos específicos, funcionais e as características do produto.
1.5 Fracionamento de um problema	Reduzir a complexidade dos problemas em dimensões que sejam mais fáceis serem trabalhadas.
1.6 Agrupamento dos problemas parciais	Classificar e hierarquizar os problemas
1.7 Análises das soluções existentes	Em problemas conhecidos se estabelece uma comparação entre vantagens e desvantagens com as soluções já existentes
2.1 Desenvolvimento de alternativas	Esta etapa pode-se recorrer a diversas técnicas como, por exemplo: analogias, brainstorming. Os conceitos são visualizados com esboços, esquemas e pré-modelos
2.2 Verificação e seleção das alternativas	Selecionar as alternativas seguindo critérios de complexidade, coerência formal e factibilidade
2.3 Elaboração dos detalhes particulares	Dimensionar as partes do produto e desenvolver os desenhos técnicos para a construção do protótipo

2.4 Teste do protótipo	Identificar e eliminar os pontos deficientes do produto
2.5 Modificações no protótipo	Com os resultados do teste anterior, construir uma nova prova e somente assim ajustar os desenhos técnicos para a fabricação
2.6 Preparação da pré-produção	O protótipo submetido a uma prova e aperfeiçoamento está adaptado às condições técnicas de fabricação e produção de um lote piloto. Seguindo para a fabricação em série

Fonte: Adaptado, pelo autor, de Bonsiepe (1978).

Bonsiepe (1978) recomenda o uso de pré-modelos na etapa de desenvolvimento de alternativas, demonstrando a importância da materialização neste momento. E destaca também a construção e testes de protótipos na fase antes da preparação para a produção, caracterizando-se como elemento fundamental no projeto.

O mesmo autor classifica os tipos de modelos conforme a sua finalidade de aplicação: Volumétrico, Estrutural, Funcional, Ergonômico e um modelo de apresentação apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Tipos de modelos segundo Bonsiepe

Tipo	Finalidade
Modelo volumétrico	Visualizar as características gerais de um projeto, sem precisar de detalhes, com cores neutras e preferencialmente com gesso, madeira e papel cartão
Modelo estrutural	Visualizar a posição espacial dos subsistemas do produto
Modelo Funcional	Exemplificar o modo de funcionamento de um detalhe ou de todo o projeto
Modelo ergonômico	Permitir uma série de comprovações ergonômicas (por este motivo deve-se produzir em escala 1:1)
Modelo para apresentação (maquete)	Simular o produto com um alto grau de iconicidade

Fonte: Adaptado, pelo autor, de Bonsiepe (1978).

## 2.2.2 Metodologia de Löback

O trabalho do designer consiste em encontrar uma solução do problema, concretizada em um projeto de produto, incorporando as características que possam satisfazer as necessidades humanas, de forma eficiente e duradoura. Para que isso aconteça, o processo de Design ou metodologia projetual é dividido em fases distintas. Estas fases estão interligadas com avanços e retrocessos, segundo Löbach (2001), podendo ser vistas com detalhes no Quadro 5.

Quadro 5 – Etapas de um projeto de Design

<b>Processo Criativo</b>	<b>Processo de solução do problema</b>	<b>Processo de Design (desenvolvimento do produto)</b>
1. Fase de preparação	<p><b>Análise do problema</b>            Conhecimento do problema            Coleta de informações            Análise das informações</p> <p>Definição do problema, clarificação do problema, definição de objetivos</p>	<p><b>Análise do problema de Design</b>            Análise da necessidade            Análise da relação social            Análise da relação com ambiente            Desenvolvimento histórico            Análise de mercado            Análise da função            Análise estrutural            Análise da configuração (estética)            Análise de materiais e processos de fabricação            Patentes, legislação e normas            Análise de sistemas de produtos            Distribuição, montagem, serviço a clientes, manutenção            Descrição das características do novo produto            Exigências para com o novo produto</p>
2. Fase de geração	<p><b>Alternativas do problema</b>            Escolha dos métodos de solucionar problemas,            Produção de ideias,            geração de alternativas.</p>	<p><b>Alternativas de Design</b>            Conceitos do Design            Alternativas de soluções            Esboços de ideias            Modelos</p>

3. Fase de avaliação	<b>Avaliação das alternativas do problema</b> Exame das alternativas, processo de seleção, Processo de avaliação	<b>Avaliação das alternativas de Design</b> Escolha da melhor solução Incorporação das características ao novo produto
4. Fase de realização	<b>Realização da solução do problema</b> Realização da solução do problema, Nova avaliação da solução	<b>Solução de Design</b> Projeto mecânico Projeto estrutural Configuração dos detalhes (raios, manejo etc.) Desenvolvimento de modelos Desenhos técnicos Documentação do projeto

Fonte: Löbach (2001).

As soluções para problemas de Design podem ser buscadas usando-se métodos adequados, e em um menor prazo de tempo, chega-se a uma solução viável para o problema. No momento de geração de alternativas na fase criativa é importante que estas não sofram julgamentos. É necessária liberdade para procurar muitas alternativas para os problemas. Nessa fase criativa é importante para o designer industrial preparar e executar esboços de ideias ou modelos tridimensionais de todos os detalhes das alternativas mais promissoras, coletando alternativas com novas combinações para a fase de avaliação (LÖBACK, 2001).

Löback recomenda a utilização de modelos para o momento de geração de alternativas e afirma que a utilização da materialização favorece a obtenção de informações relevantes para o momento projetual.

### 2.2.3 Metodologia de Munari

Para Munari (1998), o método de projeto não é mais do que uma série de operações necessárias, dispostas em ordem lógica. Seu objetivo é o de atingir o melhor resultado com o menor esforço.

No campo do Design projetar sem um método, sem fazer antes uma pesquisa sobre o que já foi feito semelhante, sem saber que materiais utilizar para a construção, sem ter definido bem a sua exata função, o profissional vai desperdiçar tempo em corrigir erros que não

teriam se seguissem um método projetual já experimentado (MUNARI, 1998).

O método de projeto para o designer não é absoluto nem definitivo; pode ser modificado caso encontre outros valores objetivos que melhorem o processo. O problema do Design resulta de uma necessidade e qualquer tipo de problema pode ser dividido em seus componentes. Essa operação facilita o projeto, pois colocam em evidência pequenos problemas isolados. Cada um desses subproblemas pode ser resolvido de forma a obter-se uma gama de soluções aceitáveis (MUNARI, 1998).

No quadro 6 apresenta-se a proposta de Munari (1998), que consiste em etapas sequenciais de ações para a resolução de problemas no campo do Design.

Quadro 6 – Modelo Geral de Munari

1. Problema	P
2. Definição do problema	DP
3. Composição do problema	CP
4. Coleta de dados	CD
5. Análise de dados	AD
6. Criatividade	C
7. Materiais e tecnologia	MT
8. Experimentação	E
9. Modelo	M
10. Verificação	V
11. Desenho de construção	DC
12. Solução	S

Fonte: Adaptado, pelo autor, de Munari (1998).

A nona etapa, chamada de modelo, é o momento que Munari (1998) considera necessário fazer uma verificação construindo o modelo, podendo existir mais de uma solução que devem ser avaliadas com usuários. A partir dessas avaliações, são verificadas as mudanças necessárias para, posteriormente finalizar os desenhos de construção para a produção do protótipo.

Os modelos têm diversas funções, podendo servir para fazer uma demonstração prática de testes de materiais ou para apresentar um detalhe manuseável do qual é possível entender o funcionamento de um mecanismo. Existem também os modelos demonstrativos construídos em escala com diversos tipos de materiais, desde papel cartão, argila sintética até mesmo a utilização de polímeros (MUNARI, 1998).

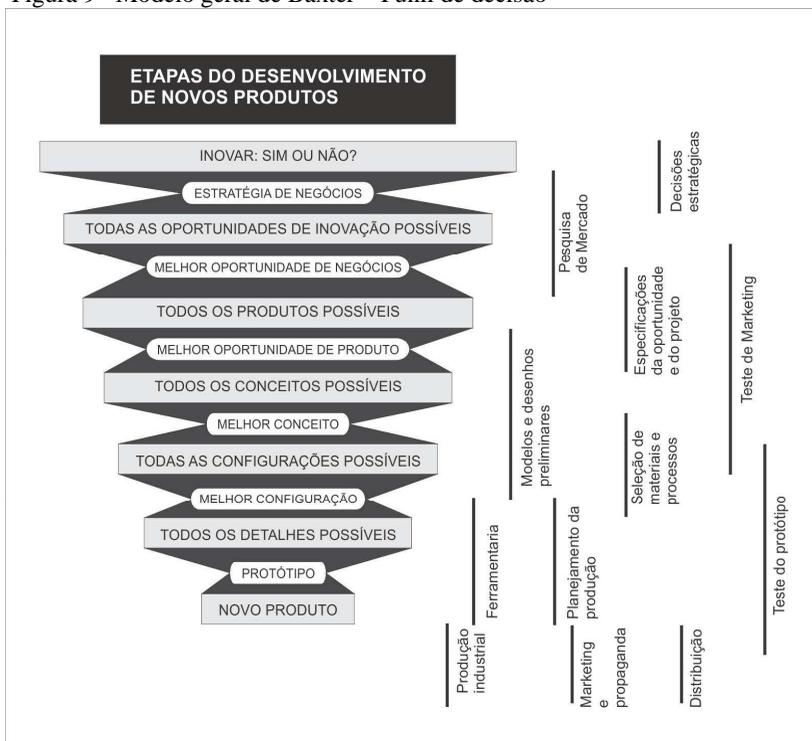
O uso de modelos, às vezes, é mais eficaz do que o próprio desenho para transmitir uma ideia, podendo ser usado para satisfazer clientes do designer que possuem limitações em compreender o objeto proposto (MUNARI, 1998).

#### **2.2.4 Metodologia de Baxter**

Na Figura 9 apresenta-se a metodologia projetual definida por Baxter (2000), como funil de decisões, onde cada uma das seis etapas que compõem o funil representa uma sequência útil e sensível no processo de desenvolvimento de produtos. O autor comenta que outros autores preferem desdobrar o processo em mais fases, já outros preferem mais simplificados. Isso não teria muita importância mais sim compreender que na utilização de uma metodologia, os riscos de fracasso do novo produto são progressivamente reduzidos avançando cada etapa.

Todo o processo de inovação é longo e complexo, e subdividido em etapas facilita o controle do desenvolvimento. Alguns designers não concordam com a divisão do projeto em etapas, justificam que o processo não segue uma ordem linear, tendendo a ser aleatório. A mente humana explora algumas ideias no nível conceitual enquanto pensa em detalhes de outras. As ideias e conceitos surgem aleatoriamente, não é possível delimitá-las em etapas definidas. O funil de decisões apresenta a tomada de decisões sequenciais e possíveis alternativas sem a pretensão de representar a complexidade do processo de desenvolvimento de um produto (BAXTER, 2000).

Figura 9– Modelo geral de Baxter – Funil de decisão



Fonte: Baxter (2000, p. 14).

Baxter (2000) posiciona a utilização de modelos na fase de conceituação, e os protótipos iniciam paralelamente ao uso dos modelos, avançando o seu uso até o início da produção do produto em desenvolvimento, conforme expressa a Figura 9.

Os modelos têm diversas utilidades no desenvolvimento de produtos. Constituído em um excelente meio para apresentar o novo produto aos consumidores potenciais e outras pessoas da empresa. Auxiliam o designer a desenvolver novas ideias, principalmente quando se tratam de produtos com complexidade tridimensional, que dificilmente são visualizados bidimensionalmente. À medida que o produto se desenvolve, as informações aumentam e os riscos tendem a diminuir. Surgem necessidades também de respostas a questões mais específicas. Nesse ponto, pode-se aumentar a sofisticação e complexidade dos protótipos (BAXTER, 2000).

O autor define claramente a diferença entre modelo e protótipo:

O termo modelo, no sentido técnico é a representação física ou matemática de um objeto.

O protótipo significa, literalmente, “o primeiro de um tipo”. No início da era industrial, o protótipo era o produto feito pelo mestre, que depois deveria ser produzido em massa. No sentido mais lato, o termo protótipo pode ser usado para qualquer tipo de representação física construída para realizar testes físicos.

Baxter (2000), apresenta no Quadro 7 alguns possíveis materiais, escala e funções para serem utilizados na construção de modelos e protótipos

Quadro 7 – Modelos e protótipos

	Escala	Materiais	Função
Modelo	Real/Reduzida/ Ampliada	Papelão/gesso/ madeira/espuma	Avaliação visual
Protótipo	Real	Material final	Testar mecanismos

Fonte: Adaptado, pelo autor, de Baxter(2000).

### 2.2.5 Metodologia Design Thinking

Design Thinking é uma metodologia centrada no ser humano, desenvolvida e aplicada pela IDEO (Consultoria de Design e inovação), e seu processo foi publicado por Tim Brown, presidente da empresa em 2009, com o título de *Change by Design*. No Brasil, a obra recebeu o nome de *Design Thinking* em 2010.

O *designer thinker* sabe que não existe uma melhor forma de percorrer o processo. Há pontos de partida e pontos de referência úteis ao longo do caminho, mas o processo de inovação pode ser visto como um sistema de espaços que se sobrepõem do que como uma sequência de passos ordenados (BROWN, 2010).

O autor estabelece o processo em três fases: Inspiração, Idealização e Implementação.

Pode-se compreender a Inspiração como o problema ou a oportunidade que motiva a busca de soluções; a Idealização como o processo de produzir, desenvolver e testar ideias; e a implementação como o caminho percorrido do projeto quando sai do estúdio de Design até o mercado. Os projetos passam por esses espaços mais de uma vez à medida que a equipe de projeto vai refinando suas ideias e explora novos direcionamentos.

A razão para a natureza iterativa e não linear da jornada, transforma o processo em exploratório levando a descobertas inesperadas. O risco de uma abordagem iterativa aparentemente estende o tempo necessário como costuma ser uma percepção imediatista. Uma equipe ciente do que está acontecendo não se sentirá pressionada a dar o próximo passo lógico em um caminho improdutivo. Uma equipe bem treinada de *design thinkers* terá elaborado e testado protótipos desde os primeiros dias e se corrigindo ao longo do caminho (BROWN, 2010).

Uma das principais ferramentas exploradas no processo da IDEO é a prototipação, aplicada em diversos momentos experimentando fisicamente as ideias.

Como a abertura à experimentação é a essência de qualquer organização criativa, a prototipagem – a disposição de seguir adiante e testar alguma hipótese construindo o objeto – é a melhor evidência de experimentação. Apesar de parecer que desperdiçar tempo em modelos e simulações atrasa o trabalho, a prototipagem gera resultados com mais rapidez. Quanto mais rápido tornamos nossas ideias tangíveis, mais cedo podemos avaliá-las, lapidá-las e identificar a melhor solução. Da mesma forma que pode acelerar um projeto, a prototipagem permite a exploração de muitas ideias paralelas (BROWN, 2010).

Os protótipos iniciais devem ser rápidos, rudimentares e baratos. Mais cedo ou mais tarde, os designers precisam apresentar o protótipo aos possíveis usuários do produto final para obter *feedback*. Neste momento, deve-se tomar mais cuidado com os acabamentos superficiais evitando distrair o futuro consumidor com bordas mal cortadas (BROWN, 2010).

Hoje em dia, alguns avanços tecnológicos estão disponíveis aos designers para criar protótipos rapidamente e com um nível elevado de fidelidade, usando, por exemplo, cortadoras a laser ou impressoras 3D. Entretanto, toda tecnologia pode levar a nada se a escolha da qualidade de acabamento do protótipo for inadequada ao momento do projeto (BROWN, 2010).

Ao alocar tempo para criar protótipos de ideias, evitamos erros custosos. De fato, uma das medidas de uma organização inovadora é o tempo médio para chegar ao primeiro protótipo (BROWN, 2010).

Conforme a sua experiência, Brown (2010) aloca a ferramenta de prototipagem em dois estágios, Idealização e Implementação, da seguinte forma:

- Prototipagem na Idealização: Constroem-se protótipos para desenvolver novas ideias visando assegurar que elas incorporem

os elementos funcionais e emocionais necessários para atender a demanda de mercado. À medida que o projeto avança, a quantidade de protótipo cairá.

- Prototipagem na Implementação: Tem a função de transmitir uma ideia com clareza suficiente para ser aceita por toda organização. Em diferentes estágios o protótipo pode validar. À medida que o projeto se aproxima da conclusão, aumenta a complexidade dos protótipos.

Nesta proposta projetual o nome protótipo é utilizado para determinar qualquer tipo de materialização, não importa como é feito ou qual o nível de acabamento, diferentemente das propostas metodológicas de desenvolvimento de produtos, apresentadas anteriormente, que definem claramente a diferença entre modelos e protótipos.

### 2.2.6 Metodologia de Mozota

Para profissionais de Design, criar significa que há um problema que primeiro precisa ser identificado para então ser resolvido. Uma vez identificado o designer segue um processo lógico, que ele aplica a cada fase do projeto. Esse processo é uma habilidade aprendida que corresponde a técnicas, e não um talento misterioso inato ao indivíduo. O processo de Design tem três fases principais: um estágio analítico de ampliação do campo de observação, um estágio sintético de ideia e geração de conceito e o último estágio de seleção da solução ótima (MOZOTA, 2011).

São

apresentadas, no Quadro 8, as fases propostas por Mozota (2011).

Quadro 8 - Processo de Design por Mozota

Etapas	Objetivo	Resultados Visuais
0. Investigação	Ideia	Reunião
1. Pesquisa	Conceito	Conceito visual
2. Exploração	Escolha de estilo	Esboços de ideias, rascunhos. Esboços de apresentação Modelo em escala reduzida
3. Desenvolvimento	Protótipo	Desenhos técnicos

	Detalhamento	Modelo Funcional Simulação 3D para correção visual Capacidades de funcionamento
4. Realização	Teste	Documentos de execução Protótipo
5. Avaliação	Produção	Ilustração do produto

Fonte: Mozota (2011, p. 27).

A seguir, detalham-se as fases do modelo de Mozota (2011).

#### Etapa preliminar (0): Investigação

A etapa inicial é uma fase de prospecção em que uma oportunidade ou necessidade potencial é identificada e ideias são geradas para serem convertidas em conceitos de Design.

#### Etapa 1: Pesquisa

O designer examina o briefing, identifica o problema e o objetivo do projeto de Design. Avaliando a importância e a oportunidade para a empresa. O objetivo desta fase é duplo: esboçar um diagrama do projeto e definir o conceito visual.

#### Etapa 2: Exploração

Depois de compreender todo o problema, o designer utiliza seus recursos criativos para concretizar o conceito, fazendo esboços das diferenças formas possíveis que o projeto pode adquirir. Esta fase termina com a seleção de uma ou duas diretrizes por um comitê que inclui o cliente.

#### Etapa 3: Desenvolvimento

Agora é o momento de formalmente representar as soluções escolhidas em três dimensões. Essa versão em 3D é indispensável porque permite o julgamento da qualidade do espaço formal no espaço. Um modelo em tamanho natural é produzido, podendo também ser funcional. O designer faz planos técnicos do protótipo para pré-teste. Esse modelo pode ser utilizado para testes de marketing, depois de várias verificações o modelo final é adotado e a fase criativa do processo termina.

#### Etapa 4: realização

Nesta fase o designer trabalha para a realização do protótipo para o projeto. Cria documentos de execução, define materiais, tratamentos superficiais, cores e diferentes elementos do produto. Consiste em uma fase demorada e necessita de colaboração de fornecedores.

#### Etapa 5: Avaliação

São executados os mais diversos tipos de teste: segurança, durabilidade e teste com consumidor avaliando o protótipo. Também é realizada a preparação da produção.

No processo proposto por Mozota (2011) são posicionados os modelos na fase de Exploração, no início do processo e protótipo na fase de realização, deixando clara a função e característica de cada tipo de materialização.

### **2.2.7 Considerações sobre os processos projetuais**

Esta etapa da revisão de literatura serviu para o pesquisador verificar nas metodologias projetuais suas fases e características, juntamente com a posição dos autores analisados frente ao uso da materialização.

De modo geral, a estrutura básica do desenvolvimento de produto é pautada em 3 fases: pesquisa informacional (compreensão do problema), geração e seleção de alternativas (conceitos/soluções) e detalhamento da alternativa selecionada.

As propostas de processo de desenvolvimento de produto apresentadas sistematizam as ações e fragmentam o problema maior em problemas menores, e este raciocínio favorece a solução dos problemas. À medida que o projeto vai avançando nas etapas, os riscos envolvidos vão sendo diminuídos. Elas concordam e recomendam a utilização de modelos físicos mais simples nas fases iniciais aplicando materiais com (papel e argila sintética) a fim de reduzir custos alocados no projeto. Tal sugestão possui também a finalidade de fazer com que a equipe não se prenda à ideia inicial.

Quando o modelo é construído em baixa fidelidade, sem um acabamento superficial de qualidade, o designer não fica apegado a materializações iniciais e enxerga as possibilidades de mudança.

As metodologias aqui apresentadas sustentam que o protótipo funcional é fundamental para a análise de problemas técnicos

construtivos e a análise de usabilidade com futuros usuários. Esse protótipo deve ser construído antes de iniciar a produção do lote piloto.

Com a finalidade de se ter um breve comparativo das metodologias de projeto apresentadas na revisão de literatura, optou-se por construir um Quadro 9, assinalando o posicionamento do uso de modelos e protótipos nas fases projetuais.

Utilizando o modelo desenvolvido por Back et al., (2008) a atividade projetual foi sintetizada em três fases distintas: Informacional, Conceitual e Preliminar, descartando o Projeto Detalhado por ser o momento do projeto no qual é realizada a documentação para a produção.

Na Fase Informacional são obtidas as especificações do projeto. Na Conceitual é o momento de concepção do projeto e na fase chamada de Projeto Preliminar determina-se a viabilidade técnica e econômica do produto.

Considera-se então que a fase conceitual é o momento de geração de alternativas quando decisões formais são tomadas. Nesta fase, oito das dez metodologias apresentadas utilizam o modelo como meio de representação das ideias, distinguindo claramente a diferença entre modelos e protótipos. Assim, modelos são construídos rapidamente com materiais de menor custo, já os protótipos possuem a característica de elevados valores e devem ter funcionamento e materiais finais ou similares.

Ressalta-se a abordagem do *Design Thinking*, que recomenda a materialização sistematizada por meios digitais como o corte a laser e a impressão 3D.

Desde o início da sistematização do processo de desenvolvimento de produto apresentado nesta tese pelo Modelo desenvolvido por Asimow (1968), existiu a preocupação com a materialização e a aplicação de modelos com baixa fidelidade nas fases iniciais. Evoluiu-se para uma era Digital, momento esse no qual pode-se utilizar os recursos agora mais acessíveis da Materialização Digital, antes restritos apenas as grandes indústrias.

Quadro 9 – Posicionamento dos modelos e protótipos nas metodologias projetuais

Autor	Ano	Informacional	Conceitual	Preliminar	Considerações
Asimow	1968		Modelos	Protótipos	
Pahl e Betitz	2005				Recomenda aplicar a materialização a qualquer

					momento
Rozenfeld	2006		<i>Mock-ups</i> Modelos	Protótipos	
Back	2008		<i>Mock-ups</i> Modelos	Protótipos	
Bonsiepe	1978		Modelos volumétricos	Protótipos	Existe o modelo volumétrico, estrutural, funcional, ergonômico e de apresentação
Munari	1998		Modelos	Protótipos	Modelos podem ser feitos com papel, argila sintética e até polímeros
Loback	2001		Modelos	Modelos	Não classifica entre modelos e protótipos
Baxter	2000		Modelos	Protótipos	Modelos função de avaliação visual. Protótipos para testar mecanismos
Design Thinking	2010		Protótipos	Protótipos	Protótipo significa qualquer materialização. Comenta o uso dos meios digitais para construir protótipos
Mozota	2011		Modelos	Protótipos	

Fonte: do Autor.

Em função da existência clara da diferença entre modelos e protótipos no processo metodológico, conforme se destacou neste capítulo, foi gerada a seção seguinte, com o intuito de subsidiar este estudo e esclarecer algumas finalidades e características dos Modelos e Protótipos.

### 2.3 FINALIDADES E CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS E PROTÓTIPOS

Esta seção objetiva ampliar a compreensão das finalidades e características dos modelos e protótipos, identificando como são utilizados e que informações podem ser obtidas com sua aplicação.

O estudo de Verlinden e Horváth (2009) apresenta as opiniões e reflexões dos designers quando questionados sobre os fatores que apoiam a inclusão de protótipos físicos na prática. São eles: facilidade de compreensão física de um produto, necessidade de avaliar o projeto com os usuários finais e colaborar para a tomada de decisão dos líderes do projeto.

Segundo Youmans (2011), o designer deve, em primeiro lugar, sentir a necessidade de experimentar fisicamente a forma projetada, sendo que sua pesquisa sugere a existência de benefícios importantes quando realizada a materialização. O mesmo autor comenta que no seu estudo a interação física com materiais melhorou a originalidade e a funcionalidade do projeto desenvolvido. Dependendo do meio de Design, "sujar as mãos" com os seus materiais pode, portanto, ser um método barato de melhorar o pensamento criativo.

Os dados da pesquisa de Youmans (2011) deixam claro que os designers que desejam evitar a fixação nas primeiras soluções devem se esforçar para trabalhar em ambientes de Design que facilitam a interação e as avaliações físicas dos projetos de produtos. Os protótipos simples que são criados rapidamente em uma oficina proporcionam a necessária interatividade, a qual pode levar a menos apego das ideias iniciais, que por sua vez leva a um dispositivo de melhor desempenho. Mesmo com os métodos virtuais que simulam alguns elementos de interações físicas, os seres humanos parecem funcionar melhor quando tocam e manipulam objetos diretamente.

A pesquisa de Bordegoni, Ferrise e Lizaranzu (2011) colabora para a aplicação da Materialização Digital quando afirma que embora a qualidade da percepção física que se tem simulado nos testes em um protótipo virtual seja relevante, a utilização de um puxador genérico que pretende simular o componente interativo é ineficiente.

Portanto, os mesmos autores chegaram à conclusão de que é importante para testes eficazes de usabilidade e ergonomia equipar o dispositivo háptico (relativo ao tato) com um instrumento físico que tenha exatamente a forma de um real. Isto pode ser facilmente resolvido por Prototipagem Rápida na qual o modelo impresso é adaptado no dispositivo háptico.

A Figura 10 ilustra uma situação, onde o usuário experimenta a abertura de uma máquina de lavar roupas virtualmente pelo dispositivo háptico. Observa-se que o sistema possui a capacidade de reproduzir o som dos mecanismos que estariam em funcionamento, favorecendo a imersão do usuário no ambiente. Porém, as considerações vão à direção de que a pega da tampa frontal poderia ser impressa

tridimensionalmente e adaptada no sistema háptico, contribuindo ainda mais na percepção do usuário.

Figura 10- Protótipo virtual



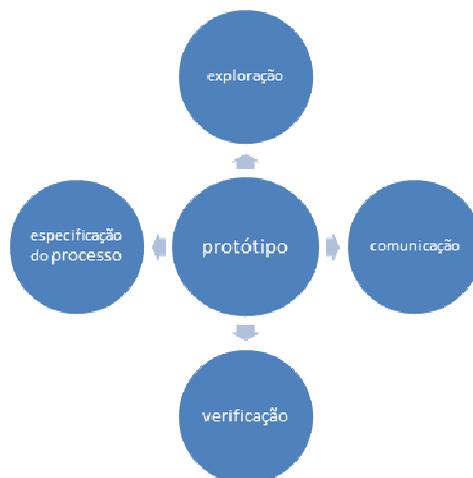
Fonte: Bordegoni, Ferrise e Lizaranzu (2011).

O uso de objetos tangíveis é primordial no Design Industrial. Durante todo o processo de concepção os protótipos físicos são utilizados para permitir a exploração, simulação, comunicação e especificação de projetos. Os diversos tipos de protótipos tangíveis desempenham um papel importante no projeto de artefatos físicos, atendendo ao Design Industrial, ergonomia, estética, mecânica e aspectos de fabricação. A prototipagem potencializa certos tipos de informação (por exemplo, expressão do material quando incluídas as texturas) e aumenta o sentimento de engajamento que é influenciado pela combinação de informação e comportamento dinâmico e interativo. Finalmente, tecnologias como impressão 3D e usinagem com CNC são empregadas para fabricar os protótipos físicos (VERLINDEN e HORVÁTH, 2009).

Como ponto de partida para conceituar a prototipagem física, apresentam-se os itens de Geurer (1996, *apud* Verlinden e Horváth, 2009) identificando quatro principais intenções do protótipo ilustrado na figura 11:

1. **Exploração:** apresentação de uma geometria espacial (modificável) auxilia no processo formal (relativo à forma global, características específicas e as características do material);
2. **Comunicação:** compartilhando a forma do artefato com outras partes interessadas no processo de Design para apoiar a tomada de decisão;
3. **Verificação:** verificar se a concepção dos produtos obedece aos critérios de projeto e outros requisitos pertinentes;
4. **Especificação do processo:** integração e propagação das especificações para as atividades no processo de Design.

Figura 11 – Intenções do protótipo



Fonte: Adaptado, pelo autor, de Geurer (1996).

Segundo Ankarbranth e Mårtensson, (2013), as exigências sobre os tipos de materialização diferem de acordo com o grau de progresso no desenvolvimento que o produto atingiu. As definições são frequentemente caracterizadas pela utilização prevista e pelas definições específicas para certas áreas, e isso contribui para um grande número de termos e definições de protótipos. O mesmo autor sugere classificações para os tipos de protótipos:

- **Modelo Proporcional** deve apoiar o intercâmbio rápido de comunicação sobre as propriedades do produto que se destina e permitir um rápido consenso sobre a ideia do produto. Ele deve mostrar a forma externa e as funções mais importantes.

- **Modelo Ergonômico** é destinado a apoiar a decisão rápida sobre viabilidade. Pode mostrar funções de certa importância.
- **Modelo Styling** tem a aparência exterior muito próxima ao produto real e deve ter excelente acabamento superficial. Pode permitir que clientes opinassem sobre o produto em um estágio inicial.
- **Modelo Funcional** mostra algumas ou todas as funções importantes, mas não é necessário ter a forma exterior final. Montagem, manutenção e cinemática, são alguns dos testes que podem ser realizados.
- **Protótipo** que se assemelha ao produto final. Uma das diferenças em relação ao produto produzido em série pode ser, por exemplo, o processo de produção. Permite ainda vários testes e prepara para a introdução no mercado.

Os protótipos de alta fidelidade reproduzem todas as características estéticas finais (materiais, cor, brilho e texturas), com todos os elementos funcionais (mecanismos, componentes, sistemas, aplicativos e botões) e com a possibilidade de realização de testes finais de usabilidade (ALCOFORADO, 2014).

Antes de se produzir um protótipo é importante definir a sua finalidade a fim de maximizar o valor com do uso e minimizar os recursos (Liou, 2008). Ulrich e Eppinger (2012) enumeram quatro fins diferentes de protótipos quando usados dentro de um processo de desenvolvimento de produtos listados abaixo:

- **Aprendizagem:** Protótipos são frequentemente usados para responder a perguntas: "Será que vai funcionar" ou "Como bem atender às necessidades dos clientes". Ao receber essas perguntas respondidas a equipe de desenvolvimento do produto vai acumular conhecimento para saber como proceder com o trabalho de desenvolvimento.
- **Comunicação:** O Protótipo é uma poderosa ferramenta para enriquecer a comunicação com as partes interessadas, tanto dentro como fora da organização. Ao utilizar protótipos será mais fácil se comunicar com gerentes, investidores, clientes e membros da equipe.
- **Integração:** Protótipos são utilizados para garantir que os subsistemas e componentes funcionem como pretendido. Protótipos físicos completos são mais eficazes para atingir o

objetivo de integração, isto porque ele força as diferentes partes da equipe de desenvolvimento coordenar e reunir os diferentes sub-sistemas certificando-se do seu correto funcionamento.

- **Milestones (marcos temporais):** protótipos podem ser utilizados em combinação com a estrutura de projeto. Ao integrar um protótipo como marcos no andamento do projeto é representada a fase de maneira tangível. Protótipos *Milestones* demonstram que determinada funcionalidade foi atingida ou outras exigências especificadas foram cumpridas.

Liou (2008) afirma que o protótipo pode ser utilizado para resolver a incerteza nas fases iniciais do processo de desenvolvimento, validar a evolução e os requisitos dos usuários, servindo também para uma demonstração de marketing. Testes preliminares, mesmo com um protótipo rudimentar, ajudam a identificar potenciais problemas e reduzir o risco. A estratégia de criação de protótipos iniciais permite uma maior adaptação no início do processo, enquanto a flexibilidade ainda é elevada e as mudanças possuem baixo custo.

Com base no que foi apresentado, pode-se sintetizar as funções dos protótipos em:

- 1- Exploração;
- 2- Verificação;
- 3- Aprendizagem;
- 4- Comunicação;
- 5- Integração;
- 6- Especificação de Processo;
- 7- Marcos Temporais.

É fato que existe uma diferença conceitual nas palavras protótipo e modelo, conforme se apresentou nas seções de 2.1.1 a 2.2.7. Há, entretanto, uma nomenclatura que adjetiva os protótipos como sendo rudimentares ou de Baixa Fidelidade, comumente utilizada para caracterizar materializações outrora conhecidas como modelos ou *Mock-ups*, tema este apresentado a seguir.

### 2.3.1 Modelos Físicos

Podemos definir modelo como sendo qualquer estado físico de um produto realizado em escala de ampliação ou de redução, no mesmo material do produto final ou em material alternativo, com ou sem recursos funcionais (ALCOFORADO, 2014).

Os modelos podem ser produzidos de duas formas: tradicional, desenvolvido manualmente ou com auxílio de qualquer ferramenta que não seja de controle numérico (CNC), e com a prototipagem rápida (ALCOFORADO, 2014).

Para Rodgers, Brodhurst, e Hepburn (2005), embora os modelos possam ser vistos apenas como um estágio de exploração de ideias dos produtos ou uma forma de Design conceitual, através deles pode-se apresentar os projetos aos clientes com materiais e acabamentos semelhantes. Os autores, concluem que através dos modelos podemos visualizar os conceitos do Design, comunicar ideias, estimular a criatividade, auxiliar a compreensão, identificar dificuldades de produção e permitir modificação da forma.

Retomando o Quadro 4 da seção 2.2.1, pode-se ter os seguintes tipos de modelos:

- 1-Volumétrico (função de visualização sem muitos detalhes);
- 2-Estrutural (assegurar integração das peças);
- 3-Funcional (verificar funcionamento de sistemas);
- 4-Ergonômico (teste com usuários-utilizar escala real);
- 5-Apresentação (comunicação a clientes e bom acabamento superficial).

Os modelos possuem diversas funções no processo projetual, algumas sendo similares às do protótipo. Destaca-se também a diferença pelo tipo de material a ser utilizado e níveis de acabamentos superficiais.

### 2.3.2 Mock-up

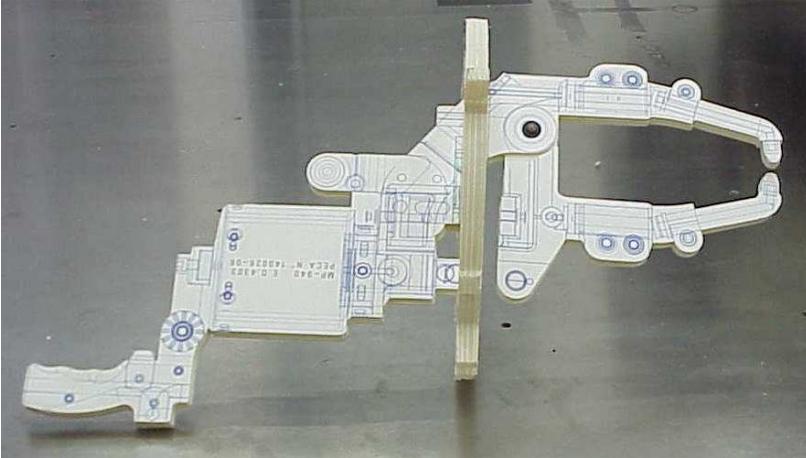
Qual o tipo de protótipo pode ser usado no processo de Design Industrial é influenciada por restrições que são inerentes a pressão do tempo de projeto e limitações orçamentais. Isso geralmente exige o emprego de protótipos de baixa fidelidade (protótipos de papel, simulação em computador e *Mock-up*), devido ao baixo custo e a velocidade para a sua construção, tornando esse tipo de materialização

mais utilizável em fases iniciais do ciclo de desenvolvimento de produto (SAUER, SEIBEL e RÜTTINGER, 2010).

*Mock-up* é um modelo preliminar em tamanho natural, construído em material de baixo custo e de rápida modelagem. Não requer moldes ou ferramentas. Segundo Macarrão (2003), seu principal atributo é o curtíssimo prazo, em geral horas ou no máximo poucos dias, em que é fabricado. Na figura 12, apresenta-se um exemplo de um *Mock-up* em cartolina para a representação física de uma pinça de solda. Este tipo de representação permite que sejam avaliados todos os movimentos da pinça em relação à carroceria de um veículo a ser soldada. Se a movimentação da pinça não for satisfatória, seu projeto poderá ser alterado antes que o veículo entre em produção.

Para Holmquist (2005), *Mock-ups* são objetos que possuem a aparência, mas não a função de certo artefato. O autor relembra que eles possuem uma longa história no Design tradicional, sendo uma representação simplificada através dos materiais disponíveis que permitem ao designer identificar problemas potenciais e explorar alternativas nas primeiras fases do projeto, sem o trabalho envolvido na criação de artefatos funcionais.

A finalidade de um *Mock-up* não é testar a funcionalidade do produto, mas a sua análise física, seu tamanho e espaço ocupado no conjunto. Também são realizadas avaliações de montagem e acesso de ferramentas. Por este motivo, o material a ser empregado não precisa oferecer grande durabilidade. O acabamento superficial de um *Mock-up* também é dispensável, pois isso aumenta o prazo de sua conclusão e proporciona custo adicional desnecessário (MACARRÃO, 2003).

Figura 12 – *Mock-up*

Fonte: Macarrão (2003).

O *Mock-up* tem sido bastante usado para reprodução e avaliação de aspectos de produtos no processo de Design. Realizados em escala 1:1, os materiais mais aplicados na sua construção são: chapas finas de PS (poliestireno), papel, papelão, espumas de poliuretano, madeira, isopor e gesso, juntamente com lápis e caneta, usados para colocar informações verbais e pictóricas em sua superfície (FERROLI e LIBRELOTTO, 2012); (ALCOFORADO, 2014).

A partir da categorização apresentada nesta seção, sobre Protótipos, Modelos e *Mock-ups*, foram abordadas suas funções no processo de Design de produtos. O foco da próxima seção se dá nos equipamentos que são utilizados na Materialização Digital.

## 2.4 MATERIALIZAÇÃO DIGITAL

Para compreender melhor a aplicação da Materialização Digital é interessante observar os elementos que compõem um FabLab (Laboratório de Fabricação Digital). Este tipo de laboratório é, geralmente, equipado com um conjunto de ferramentas flexíveis controladas por computador, que cobrem diversas escalas de tamanho e diferente material, com o objetivo de construir “quase tudo”. Isso inclui produtos tecnológicos geralmente vistos como limitados apenas para produção em massa ou protótipos. Embora os FabLabs ainda não compitam com a produção em massa e a economia de escala associada na fabricação de produtos amplamente distribuídos, eles já

demonstraram potencial para capacitar indivíduos a criar dispositivos inteligentes para si mesmos. Estes dispositivos podem ser adaptados às necessidades locais ou pessoais de maneira que não são práticos ou econômicos usando a produção em massa (ORCIUOLI, 2012).

O mesmo autor conclui que o termo comum entre os FabLabs é a materialização (manufatura de objetos) a partir de informação digital. Em resumo, um FabLab deve possibilitar, fomentar e viabilizar a construção de objetos desde um ponto de vista digital, mas ao mesmo tempo, físico. Nos EUA e na Europa, o termo começou a se popularizar no momento em que as universidades ou escolas começaram a adquirir equipamentos de fabricação digital, como máquinas de corte a laser, fresadoras CNC, máquinas de prototipagem rápida e, mais recentemente, a robótica.

A pesquisadora Celani (2008) corrobora com isto quando afirma que a diferença entre os antigos métodos de produção em massa e os novos métodos de produção baseados em modelos tridimensionais digitais é que estes não se destinam a produzir cópias idênticas de um mesmo produto. Pelo contrário, constituem-se em sistemas suficientemente adaptáveis para produzir um grande espectro de formas diferentes. Esse novo conceito tem sido chamado de “*mass customization*” ou personalização em massa.

Além destes aspectos, a aplicação mais recente das tecnologias de prototipagem rápida estão associadas a sistemas de fabricação, manufatura, ou produção de produtos finais. A esta aplicação se deu o nome de Manufatura Rápida (*Rapid Manufacturing*), que permite uma customização individual na produção industrial, mantendo a sustentabilidade econômica da indústria (SALES e RIOS, 2012).

Com as afirmações de Orciuoli (2012), Celani (2008) e Sales e Rios (2012), acredita-se que esses equipamentos de Impressão 3D, corte a laser e fresadoras CNC colaboram para a personalização em massa e para a materialização, podendo, desta maneira, ser também utilizados por designers antecipadamente no processo projetual de desenvolvimento, materializando as primeiras alternativas de produto. Existe, aí, a possibilidade para produzir novos conceitos de objetos e solucionar problemas formais e construtivos antecipadamente.

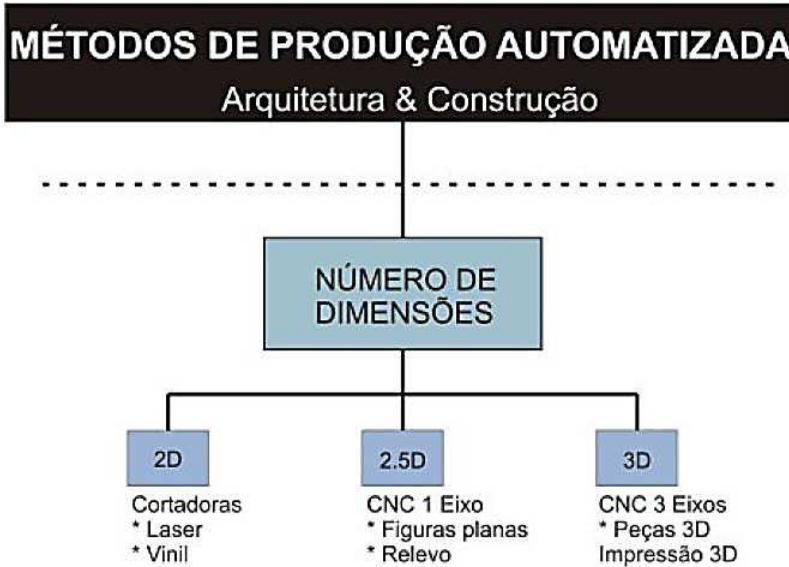
### **2.4.1 Métodos automatizados**

Com a finalidade de compreender a correta aplicação da Materialização Digital na fase de concepção de produtos é necessário

conhecer as possibilidades e limitações dos processos de produção automatizados e a suas aplicações.

Para Pupo (2009), os números de dimensões na produção automatizada existente são: duas dimensões (2D), duas dimensões e meia (2.5D) e três dimensões (3D), conforme apresenta a Figura 13.

Figura 13- Número de dimensões dos métodos automatizados



Fonte: Pupo (2009).

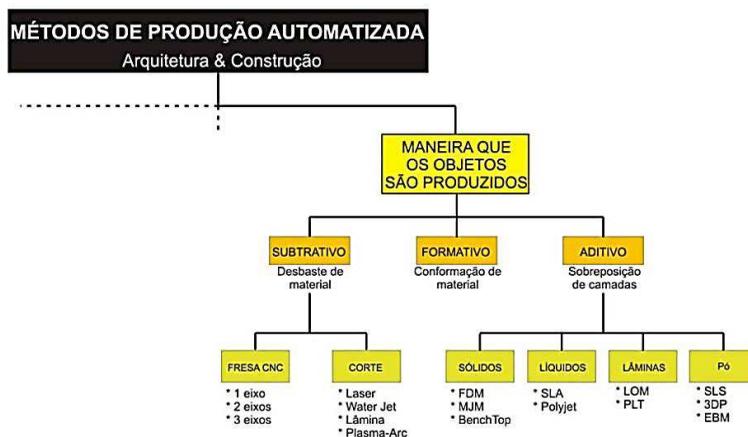
Os sistemas que produzem objetos em duas dimensões (2D) são compostos pelas cortadoras que simplesmente cortam placas de diversos materiais e espessuras. Dois exemplos de sistema de duas dimensões são: cortadoras de vinil (cortam papel ou outros materiais maleáveis e finos) e as cortadoras a laser (podem cortar MDF, acrílico, cortiça, papelão etc.), em espessuras maiores. O processo que caracteriza o método de produção em duas dimensões e meia (2.5 D) trabalha com uma fresa de controle numérico com um *spindle* (eixo) que pode “esculpir” figuras planas e executar relevos, porém não é capaz de produzir modelos tridimensionais complexos (PUPO, 2009).

Já as fresas de três, quatro ou cinco eixos, ou um sistema de impressão 3D, são considerados efetivamente métodos tridimensionais. Esses equipamentos podem produzir, em alguns casos, protótipos ou

peças em escala real 1:1, em três dimensões, sem a necessidade de montagem (PUPO, 2009).

Na Figura 14, estruturada por Pupo (2009), são apresentadas três maneiras nas quais os objetos são materializados com a produção automatizada, sendo os processos denominados subtrativo, formativo ou aditivo.

Figura 14- Processos automatizados



Fonte: Pupo (2009).

O sistema subtrativo é caracterizado pelo desbaste de material, até que a peça desejada seja produzida. Uma grande vantagem na utilização destas técnicas é que uma variedade de materiais pode ser utilizada em sua forma natural, como é o caso da madeira e do poliuretano. O bloco de material, nestas situações, é desbastado seletivamente por fresas que se movem automaticamente em diversas direções, determinadas por eixos, ou ainda com o auxílio de mais um eixo rotatório que movimenta o bloco para diminuir a necessidade de deslocamento da fresa.

Conforme Alcoforado (2014), Selhorst Jr. (2008) e Macarrão (2003), os processos de prototipagem por subtração de material baseiam-se no desbaste de um bloco de material até se obter o objeto desejado, utilizando-se, para isso, um equipamento específico. A possibilidade de uso de diversos materiais, somada à flexibilidade do processo e à velocidade de resposta a execução de protótipos, habilitam

este processo ao conceito de prototipagem rápida, defende o mesmo autor.

Máquinas fresadoras de controle numérico, classificam-se nos processos subtrativos, cujo objeto é cortado a partir de um bloco de material. Enquanto máquinas subtrativas são geralmente eficazes em produzir o objeto, uma grande quantidade de material de resíduos é gerada. Além disso, estes métodos geralmente precisam de ferramental específico de custos elevados. Existe a necessidade da criação de protocolos de usinagem, geração e programação de caminhos de ferramentas tridimensionais, exigindo tempo, além de julgamento e experiência do profissional (ALVES e BÁRTOLO, 2006).

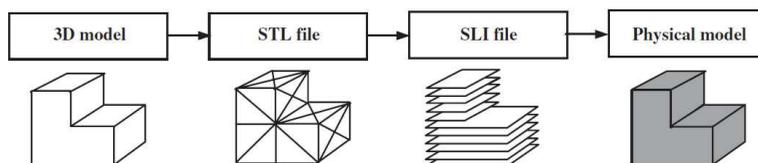
Segundo Alves e Bártolo (2006), a dificuldade para fazer configurações de objetos especiais é outro problema associado à fresadora (CNC). Efetivamente, esses métodos de subtração são geralmente mais adequados para a produção de objetos simétricos e objetos em que apenas o exterior é usinado. No entanto, quando um objeto desejado tem uma forma irregular ou características internas específicas, o processamento torna-se mais difícil e muitas vezes o objeto tem de ser dividido em segmentos, para produção.

## **2.4.2 Processos aditivos**

Por outro lado, os processos aditivos baseiam-se numa tecnologia de fabricação em camadas na qual os modelos são construídos numa série de seções transversais horizontais, cada uma sendo formada individualmente. Consequentemente, os processos de aditivos são semelhantes aos sistemas de impressão bidimensionais. Uma vantagem distinta destes processos é a fabricação de um modelo em uma única etapa, mesmo sendo um modelo complexo (ALVES e BÁRTOLO, 2006).

O fluxo de informação de um processo de aditivo em geral inclui várias fases, a partir do conceito para o protótipo final, como mostrado na Figura 15. Um modelo de computador (sólido ou modelo de superfície) é gerado pela primeira vez usando sistemas CAD. Uma vez que o modelo CAD é terminado e convertido para o formato STL padrão, que é então cortado por um software específico. O objetivo de fatiar é fornecer informação para a geração física de cada camada, a máquina de prototipagem rápida (GORNI, 2001) e (ALVES e BÁRTOLO, 2006).

Figura 15- Etapas do arquivo digital



Fonte: Alves e Bártolo (2006).

Vários sistemas aditivos de prototipagem estão disponíveis no momento para a produção de modelos utilizando diferentes materiais. Citam-se, a seguir, os mais comuns:

**SLA – StereoLitography Aparatus.** Utiliza resina termo fixa líquida fotossensível que é polimerizada por raio laser ultravioleta (UV).

**SLS – Selective Laser Sintering.** É semelhante ao processo SLA, porém o material utilizado é em pó e pode ser resina termo fixa fotossensível, cerâmica, ou pó metálico.

**FDM – Fused Deposition Modeling.** Os modelos são fabricados em resina termoplástica Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), poliéster ou policarbonato e o (PLA) Ácido Poliácido Lático, material biodegradável que vem sendo bastante utilizado.

### 2.4.3 Corte a Laser

Pode-se citar como exemplo o estudo de Florio e Tagliari (2008) no qual os autores produziram componentes planares a partir da técnica de fabricação digital denominada corte a laser. A intenção é de tornar tangível a análise de projetos de modo a intensificar a experiência tátil e conciliá-la à análise visual dos projetos. Como um meio complementar, estes modelos físicos fabricados tornam possível uma análise mais profunda sobre os projetos analisados graficamente e por modelos digitais 3D. O objetivo da pesquisa não é projetar apenas por meio de protótipos rápidos, mas de usar estes artefatos como meio complementar aos outros já utilizados, esboços e modelos físicos e digitais.

Os mesmos autores afirmam que para materializar um modelo fisicamente pelo “Corte a laser” deve-se seguir 7 etapas:

1. Gerar o desenho 2D no CAD de todos os componentes, separadamente;

2. Separar por *layers* e cores quais componentes serão cortados e/ou quais serão “vincados” apenas superficialmente;
3. Diagramar os componentes em pranchas, respeitando o tamanho máximo compatível com a máquina de corte a laser;
4. Ajustar a máquina de acordo com o material a ser utilizado, limpar a lente, ajustar o foco do laser;
5. Configurar os parâmetros no programa gráfico (AutoCad ou similar) como se fosse “plotar” o arquivo, designando a potência do raio laser, e enviar o arquivo para a máquina executar a tarefa;
6. A máquina executa os cortes e vincos nas peças;
7. Montagem manual dos componentes em três dimensões.

O processo de corte a laser requer a preparação de desenhos bidimensionais para construir modelos tridimensionais. Como a cortadora a laser permite frisar ou cortar os materiais, os desenhos são divididos em duas camadas (*layers*). Por fim, pode-se afirmar que a apreciação de projetos por meio de protótipos rápidos é eficaz, pois permite materializar e pormenorizar a análise (literalmente dividir em partes) decompondo e recompondo o objeto bi e tridimensionalmente (FLORIO e TAGLIARI, 2008).

Por meio dessa revisão de literatura foi possível apresentar os processos que estão ligados a Materialização Digital: Processos subtrativos, aditivos e corte todos controlados por uma prévia programação (CNC).

## 2.5 CRITÉRIO DE SELEÇÃO

Devido ao número de possibilidades que o designer tem no momento de escolha do processo de Prototipagem Rápida, algumas características como, por exemplo: tempo, acabamento superficial, custos e dimensões, devem ser considerados.

A seleção de um processo adequado exige uma boa compreensão das interações entre as seguintes características: custo, tempo, qualidade, precisão, espessura da parede e propriedade do material (BYUN e LEE, 2005); (BORILLE et al., 2010).

Deve-se ponderar além dos aspectos citados anteriormente, características específicas de cada processo de impressão 3D. Apresenta-se o Quadro 10, desenvolvido pela pesquisa de (Selhorst Junior e Canciglieri Junior, 2007), a qual avalia os processos aditivos de (SLA - Estereolitografia), (SLS - Sinterização Seletiva a Laser) e (FDM

- Modelagem por Fusão e Deposição) em vários aspectos que pode-se usar nas tomadas de decisões quanto a utilização de cada procedimento.

Quadro 10 – Características do Processo Aditivo

Processo/ Características	SLA	SLS	FDM
Variedade de Materiais	Pequena	Grande	Média
Translucidez	Sim	Não	Sim
Qualidade Superficial	Regular	Boa	Regular
Pós-Acabamento Superficial	Regular	Boa	Regular
Precisão	Excelente	Boa	Regular
Resistência ao Impacto – Simulando polímeros	Regular	Boa	Boa
Resistência a Flexão – Simulando polímeros	Baixa	Excelente	Excelente
Custo do Protótipo – no Brasil	Alto	Médio	Médio
Pós-Processo	Sim	Sim	Sim
Pós-Cura	Sim	Não	Não

Fonte: Adaptado de (Selhorst Junior e Canciglieri Junior, 2007).

Para (Canciglieri Junior, Selhorst Junior e Sant’anna, 2015), as principais características que devem ser consideradas para a produção de protótipos utilizando os meios digitais de fabricação são:

- Propósito: define precisamente para que o protótipo será construído. Por exemplo, um protótipo que será exaustivamente testado deve ser considerado de maneira diferente de um protótipo que receberá avaliação estética, pois as tecnologias e processos de prototipagem rápida existentes no mercado possuem acabamentos superficiais diferentes.

- **Material:** característica necessária que delimita quais materiais podem ser utilizados para a confecção do protótipo, pois cada tecnologia de prototipagem conta com uma gama específica de materiais que pode utilizar como substrato na construção do protótipo. Por exemplo, a Prototipagem por Subtração, que pode usar uma infinidade de materiais, conta com o problema de disponibilidade de materiais poliméricos para usinagem.
- **Dimensão:** atributo que estabelece as dimensões do protótipo a ser desenvolvido. As dimensões da geometria são pontos importantes para a definição de qual tecnologia utilizar e como utilizá-la, pois cada equipamento que pode ser usado para prototipagem rápida tem área de trabalho definida. Ademais, o tamanho do protótipo (volume) tem impacto direto no tempo de execução do protótipo e no custo.
- **Custos:** parâmetro fundamental para a equipe de desenvolvimento ter em mãos para a confecção do protótipo. Este item deve especificar o custo que cada peça-protótipo representa, de forma que seja possível comparar os custos das peças entre as tecnologias e processos de prototipagem rápida.
- **Tempo:** característica avaliada para execução de cada protótipo em cada tecnologia, incluindo-se o tempo de *setup*, execução dos protótipos e o pós-acabamento das peças.
- **Detalhamento:** expõe com precisão os detalhes da complexidade e da geometria do protótipo. Deve-se avaliar se cada tecnologia e processo de prototipagem rápida são capazes de reproduzir com precisão os detalhes geométricos existentes nos protótipos, e se estes estão de acordo com os requisitos de projeto. Ademais, deve-se considerar o quanto o protótipo pode fugir das dimensões especificadas em projeto.
- **Acabamento Superficial:** relacionado diretamente com as informações referentes ao propósito do protótipo. No caso de um protótipo de apresentação estética, o acabamento superficial é importantíssimo, pois é ele que definirá o futuro do projeto; já para o caso de um protótipo funcional, nem sempre o acabamento superficial é fundamental.

Cada aspecto apontado anteriormente pode ser considerado tanto para a construção de protótipos, modelos como de *mock-ups* utilizando a Materialização Digital.

## 2.6 TOMADA DE DECISÃO

Diversas são as decisões tomadas ao longo de um projeto de produto, e muitas incertezas estão nas fases iniciais do processo projetual. No momento em que o designer pode utilizar a Materialização Digital para colaborar efetivamente no desenvolvimento de soluções formais, surge a dúvida de qual processo utilizar. Dessa maneira procura-se compreender quais são as dificuldades na tomada de decisão.

Segundo Macgee e Prusak (1994), a informação é a matéria-prima das decisões. E, na teoria da decisão, o valor da informação é o valor da mudança de comportamento da decisão causado pela informação menos o custo de obter a informação. Caso a nova informação não gere uma decisão diferente, o valor da nova informação é zero (OLIVEIRA, 1999).

Genericamente, pode-se afirmar que a decisão possui dois objetivos: a ação e a descrição de um futuro. A ação possui uma qualidade imperativa, pois seleciona um estado de coisas futuras (SIMON, 1965).

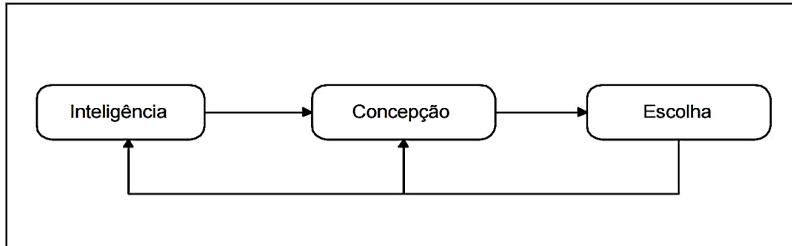
O mesmo autor propõe um modelo do processo decisório dividido em três fases com uma constante revisão entre elas (*feedback*).

- **Inteligência ou investigação:** neste momento ocorre a exploração do ambiente e é feito o processamento dos dados em busca de indícios que possam identificar os problemas e oportunidades. As variáveis são coletadas e postas em evidência;
- **Desenho ou concepção:** nesta fase ocorre a criação, desenvolvimento e análise dos possíveis cursos de ação. É formulado o problema e analisadas as alternativas disponíveis avaliando a sua aplicabilidade;
- **Escolha:** É a etapa de escolha da alternativa ou o curso da ação entre as disponíveis.
- **Feedback:** entre as fases que constituem o modelo, podem acontecer eventos em que fases já vencidas do processo sejam resgatadas. Este “retorno” pode ocorrer entre fases de escolha e

concepção ou inteligência ou ainda entre a fase de concepção e inteligência.

Na figura 16, apresentam-se as três fases do processo de tomada de decisão segundo Simon (1965) e as linhas representam os *feedbacks* que podem ocorrer no modelo proposto.

Figura 16- Modelo de Simon



Fonte: Simon (1965).

No momento da tomada de decisão, o projetista pode encontrar várias dificuldades, sendo, na verdade, fatores restritivos que direcionam para diversos caminhos a serem tomados. Kendall & Kendall (1991) identificam estas dificuldades, relacionando-as com as fases do processo decisório:

### Fase de inteligência ou investigação

- **Dificuldade para identificar o problema** - esta dificuldade está relacionada com a percepção do problema pelo projetista. Um problema é um desvio de alguma situação desejada, portanto necessita-se de medições apropriadas para que se possa identificar sua existência.
- **Dificuldade para definir o problema** - a definição do problema consiste na delimitação e reconhecimento de suas características e limites.
- **Dificuldade para categorizar o problema** - a categorização do problema está relacionada com sua priorização. O problema pode ser do tipo que exige uma ação imediata ou uma oportunidade futura de se alcançar por meio da resolução de outros problemas.

- **Dificuldade de gerar alternativas** - a geração de alternativas está relacionada com a capacidade de se propor diferentes alternativas para um mesmo problema. O projetista, quando possui várias alternativas, pode projetar cenários futuros e optar pela alternativa mais adequada.
- **Dificuldade para quantificar ou descrever alternativas** - as alternativas geradas necessitam ser bem definidas quanto à sua estrutura e conteúdo. Precisam ser bem descritas e quantificadas para que o projetista, no momento da escolha, tenha um conhecimento satisfatório das alternativas disponíveis.
- **Dificuldade para estabelecer critérios de desempenho** - depois que as alternativas estão quantificadas e descritas deve-se estabelecer critérios de desempenho para cada uma das alternativas. O projetista poderá estabelecer metas quantificadas a serem alcançadas.

### Fase de escolha

- **Dificuldade de identificar o método de seleção** - um momento importante no processo de tomada de decisão é a escolha da alternativa a ser seguida. Neste momento é importante que o projetista tenha bem claro qual método será utilizado para escolher entre as alternativas disponíveis.
- **Dificuldade de organizar e apresentar a informação** - as alternativas disponíveis devem estar dispostas de maneira a facilitar a escolha do projetista.
- **Dificuldade de selecionar alternativas**- logo que todas as alternativas estiverem disponíveis, o projetista deve selecionar a alternativa mais adequada para a solução do problema.
- **Feedback** – durante o decorrer do processo decisório novas informações podem ser agregadas, podendo alterar todo o processo.

Existem três elementos que interessam na formulação de decisões críticas, quando elas surgem no processo de projeto: as alternativas, os benefícios e as dificuldades de execução. Uma decisão crítica repousa principalmente numa comparação de vantagens e dificuldades associadas a cada uma das soluções propostas. As vantagens são avaliadas, em princípio, em uma escala de utilidades. As dificuldades

surgiram como subproblemas em que devem ser resolvidos (ASIMOW, 1968).

A alternativa escolhida normalmente representa apenas a mais adequada entre as disponíveis, portanto não representa a intenção de se atingir os objetivos visados em toda a sua plenitude (March & Simon, 1966, p.174).

## 2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Toda a etapa da revisão bibliográfica contribuiu para construir uma compreensão da problemática em estudo. Primeiramente, com as análises das metodologias de projeto de produto, tanto as aplicadas na engenharia quanto no Design, foram identificadas as fases que costumeiramente são utilizados os *mock-ups*, modelos e protótipos. Os modelos são considerados de baixa fidelidade, construídos com materiais simples e aplicados nas fases iniciais. Os protótipos devem ter funcionalidade e normalmente são testados com usuários, utilizados nas etapas finais do processo de desenvolvimento. Ficou evidente a importância que a materialização tem para a resolução de problemas projetuais, juntamente com a aplicabilidade dos processos de Fabricação Digital (2D e 3D), podendo ser inseridos para a construção de protótipos, modelos e *mock-ups*.

Certamente, os riscos são constantes no processo de escolha nas fases do projeto; tomar a decisão correta no momento adequado para a aplicação da Materialização Digital constitui o objetivo proposto da tese, que, identificando e estruturando os critérios de tomada de decisão dos processos de materialização em um Protocolo, sistematiza uma etapa do processo de projeto, facilitando a materialização de *mock-ups*, modelos ou protótipos.

A seguir, são apresentados os Materiais e Métodos da tese.

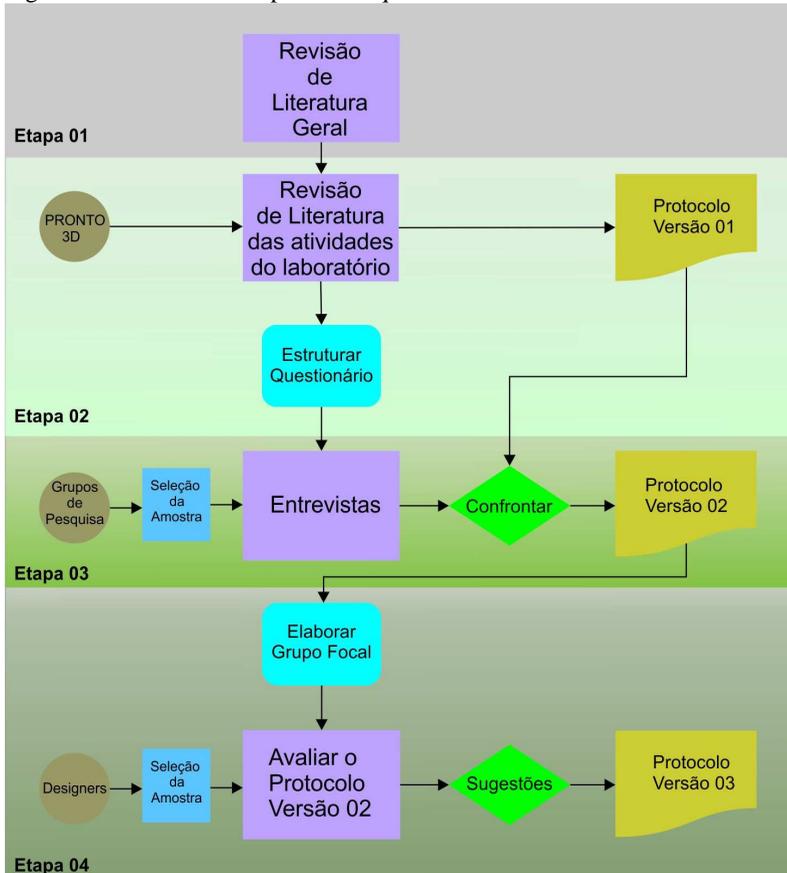
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo tem-se por objetivo detalhar os materiais e os métodos utilizados na pesquisa. Os procedimentos adotados para gerar um Protocolo que otimize a decisão sobre o uso de Ferramentas de Materialização Digital na fase de conceituação do Design de Produto foram divididos em quatro momentos específicos, aqui denominados de Etapas. Cada uma delas utiliza métodos diferenciados para, ao final, desenvolver o referido Protocolo de Tomada de Decisão.

A pesquisa descrita a seguir, foi devidamente submetida ao comitê de ética da UFSC e pode ser consultado seu parecer por meio do Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE: 57259716.5.0000.0121) no site da Plataforma Brasil.

A Figura 17 apresenta uma visualização global dos Materiais e Métodos desta pesquisa, de forma simplificada, constando de uma Revisão de Literatura Geral (Etapa 01); Revisão de Literatura específica sobre critérios usados nas tomadas de decisão na hora de prototipar (Etapa 02); entrevistas semiestruturadas com professores atuando na educação superior, guiadas por um roteiro (Etapa 03); e um grupo focal para identificar a aceitabilidade de profissionais do mercado em relação ao Protocolo (Etapa 04).

Figura 17- Síntese das Etapas da Pesquisa utilizadas na Tese



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A seguir, são detalhados os procedimentos adotados em cada Etapa e os critérios de seleção amostral desta pesquisa.

### 3.1 ETAPAS DA PESQUISA

#### Etapa 01

A primeira etapa consta de uma revisão de literatura com uma abordagem mais generalista sobre o tema, procurando identificar a importância e técnicas da Materialização mediada por meios digitais, processos de desenvolvimento de produto e a importância da materialização para designers.

## **Etapa 02**

Essa etapa se concentra em análises das atividades da Materialização Digital partindo de uma leitura dos artigos e projetos de conclusão de curso realizados na UFSC que tiveram ações de construção de modelos e protótipos desenvolvidos no Laboratório Pronto3D. Este laboratório encontra-se instalado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus de Florianópolis. Essa revisão teve como objetivo identificar os critérios de seleção que foram aplicados nos processos de Manufatura Digital. Essas informações são encontradas no depositório de publicações no site [www.redepronto3d.com](http://www.redepronto3d.com), e no Departamento de Design da UFSC.

A partir da leitura e avaliação supracitadas foram confrontados os critérios adotados para selecionar e aplicar as tecnologias de Materialização Digital, com informações obtidas na Revisão de Literatura Geral (Etapa 01), visando estruturar a Primeira Versão do Protocolo e, ao mesmo tempo, identificar questionamentos relativos aos critérios de seleção da Materialização Digital.

## **Etapa 03**

Esta fase da pesquisa destinou-se a reunir informações acerca dos procedimentos utilizados por equipes de pesquisadores que atuam no mesmo tema desta tese. Deste modo, após a seleção da amostra, foi investigado como são tomadas as decisões para o uso da Materialização Digital na perspectiva desses especialistas e a sua importância no processo de desenvolvimento de produtos.

Para realizar tal tarefa, foram selecionados docentes de instituições de ensino superior brasileiras, pertencentes a grupos devidamente cadastrados no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

A busca no diretório dos grupos se deu com a palavra-chave Fabricação Digital, habilitando na aba por busca exata deste termo. Foram feitas algumas seleções dentro da própria plataforma: Apenas grupos de todas as regiões e instituições sem limites de tempo de existência.

O site do CNPq possibilita a seleção de busca nas grandes áreas do conhecimento. Para esta tese utilizou-se Ciências Sociais Aplicadas e ampliou-se o rastreamento para duas áreas específicas de conhecimento: Arquitetura e Urbanismo e Desenho Industrial. Obtendo-se sete grupos para Arquitetura e dois grupos cadastrados em Desenho Industrial a pesquisa foi realizada no dia 19 de maio de 2016, apresentada no Quadro 11.

Quadro 11 – Seleção dos Grupos de Pesquisa

Instituição	Grupo	Líder	2º Líder	Área
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	Algoritmo	Gilfranco Medeiros Alves	-	AU
Universidade Presbiteriana Mackenzie	Arquitetura, processo de projeto e análise digital	Wilson Florio	-	AU
Universidade Federal de Juiz de Fora	LEAUD - Laboratório de Estudos das Linguagens e Expressões na Arquitetura, no Urbanismo e no Design	Juliane Figueiredo Fonseca	Frederico Braida Rodrigues de Paula	AU
Universidade de Brasília	LFDC - Laboratório de Fabricação Digital e Customização em Massa	Neander Furtado Silva	-	AU
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	NDP - Núcleo de Desenvolvimento de Produtos	Júlio Carlos de Souza van der Linden	Maurício Moreira e Silva Bernardes	AU
Universidade Federal da Paraíba	Projeto, Tectônica e Mídias Digitais	Isabel Amalia Medero Rocha	Carlos Alejandro Nome	AU
Universidade Estadual de Campinas	Teorias e tecnologias contemporâneas aplicadas ao projeto	Regiane Trevisan Pupo	Maria Gabriela Caffarena Celani	AU
Universidade de São Paulo	DIGI FAB - Tecnologias digitais de fabricação aplicadas à produção do Design e Arquitetura	Paulo Eduardo Fonseca de Campos	-	DI
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Grupo de Pesquisa Modelos e Protótipos para o Design	Marilzete Basso do Nascimento	-	DI

Fonte: do Autor.

Para complementar a busca por grupos que possam contribuir para a pesquisa utilizou-se outra palavra-chave agora procurando o termo “prototipagem”, novamente sem limites de data de criação ou estados, limitando apenas na área de Desenho Industrial. Essa outra pesquisa possibilitou encontrar outros 12 grupos cadastrados, visualizados no Quadro 12.

Quadro 12 – Seleção dos Grupos de Pesquisa na área de Desenho Industrial

Instituição	Grupo	Líder	2º Líder	Área
Universidade do Estado de Minas Gerais	Design & Tecnologia de Materiais Poliméricos e Compósitos	Carlos Alberto Silva de Miranda	Artur Caron Mottin	DI
Universidade de Brasília	Design e Prototipagem Automatizada	Francisco Leite Aviani	-	DI
Universidade Federal de Santa Catarina	Design Multidisciplinar	Ana Verónica Paz y Mino Pazmino	Paulo Cesar Machado Ferroli	DI
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	Design, Tecnologia, Projeto e Inovação	Francisco de Alencar	-	DI
Universidade do Estado de Minas Gerais	Estudos em Design de Gemas e Jóias	Maria Bernadete Santos Teixeira	-	DI
Faculdade SATC	Grupo de Pesquisa em Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D - PRONTO 3D	Daniel Fritzen	Jovani Castelan	DI
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Laboratório de Design e Seleção de Materiais	Wilson Kindlein Júnior	Liane Roldo	DI
Universidade Federal do Cariri	Laboratório de prototipagem rápida e computação gráfica	Deborah Macêdo dos Santos	Cristina Rejane Feitosa Silva	DI
Universidade da Região de Joinville	LABORATÓRIO ÍRIS	João Eduardo Chagas Sobral	-	DI
Universidade Federal de Pernambuco	LaCA2I - Laboratório de Concepção e Análise de	Walter Franklin Marques Correia	Fabio Ferreira da Costa Campos	DI

	Artefatos Inteligentes			
Universidade Federal do Maranhão	NIDA - Núcleo de pesquisas em imagem, Design e antropologia	Raquel Gomes Noronha	-	DI
Universidade Federal de Campina Grande	REDES - Grupo de pesquisa em estudos de Engenharia Reversa aplicada ao Design e	Luiz Felipe de Almeida Lucena	-	DI

Fonte: do Autor.

Foram incluídos nessa amostragem treze professores que pesquisam o tema abordado nesta tese e não apareceram na busca do diretório de grupos do CNPq, esse grupo foi sugestão da Professora Dra. Regiane Trevisan Pupo, todos compoem a amostra para as entrevistas e apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 – Sugestão de Pesquisadores

Instituição	Nome
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Gonçalo Henriquez
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Andres Pássaro
USP - São Carlos	Marcelo Tramontano
USP - São Carlos	Anja Pretche
USP - São Carlos	Marcio Minto Fabricio
USP - São Carlos	David Sperling
Universidade Federal do Ceará	Daniel Cardoso
Universidade Federal de Pernambuco	Ney Dantas
Universidade Federal de Pernambuco	Leticia Teixeira Mendes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Fabio Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Fabio Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Underléia Bruscato
Universidade Federal do Espírito Santo	Jarryer Andrade de Martino

Fonte: do Autor.

Para realizar a entrevista foram convidados os coordenadores de cada grupo de pesquisa identificados anteriormente nas tabelas 11 e 12. Como também os professores da tabela 13. Na primeira aproximação foi utilizado o e-mail para agendar a realização das entrevistas. No segundo momento o contato com a amostra selecionada foi por meio de ferramentas de comunicação digitais (vídeo conferência).

O termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) apresentado no Apêndice D foi encaminhado por e-mail e solicitado aos entrevistados que realizassem a leitura e se estiverem em acordo assinar e encaminhar uma versão digitalizada ao pesquisador.

De posse dos dados coletados, e em conjunto com informações da Etapa 1, foi elaborada a segunda versão do Protocolo para a selecionar os processos de Materialização Digital na fase conceitual de desenvolvimento de produtos.

Com uma versão do Protocolo melhorado pode-se organizar as próximas etapas da pesquisa.

#### **Etapa 4**

Objetivando avaliar o Protocolo desenvolvido na terceira etapa, o pesquisador apresentou o Protocolo a um Grupo Focal de designers de produto. O grupo trouxe a sua visão sobre os critérios utilizados na tomada de decisão para a construção de *mock-ups*, modelos e protótipos e os critérios expostos no Protocolo desenvolvido, bem como as respostas sugeridas pelo sistema. Nesta etapa, foi avaliado como tais profissionais, habituados à aplicação de procedimentos de desenvolvimento de produto, utilizaram o Protocolo verificando a sua aplicabilidade e como os resultados das respostas contribuirão para a materialização de alternativas na fase de concepção de produtos.

Foi utilizada, uma amostragem por conveniência, composta por designers possuindo mais de dois anos de experiência projetual e com disponibilidade para participar do experimento em Joinville-SC, convidou-se dez profissionais atuantes no mercado de trabalho.

Para os participantes do Grupo Focal foi disponibilizado o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) Apêndice E, solicitada a leitura e aquele que estavam em acordo deveriam assinar e entregar ao pesquisador.

Nesta atividade, o pesquisador buscou identificar a concordância com os critérios na tomada de decisão para o desenvolvimento de *mock-ups*, modelos e protótipos, como também o grau de satisfação com o uso do Protocolo. Desta maneira, pretendeu-se compreender as percepções

dos participantes frente aos procedimentos de escolha e critérios identificados no Protocolo.

No próximo capítulo são apresentadas as informações pertencentes a fase de observação das atividades práticas executadas no Laboratório PRONTO 3D.

## **4. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO**

A seguir são apresentados casos de aplicação dos processos de Materialização Digital, realizados no laboratório PRONTO 3D. Esse estudo contribuiu para identificar os critérios de seleção dos processos de Corte a Laser, Impressão 3D e Usinagem com CNC, permitindo que esta pesquisa gerasse regras decorrentes dessas aplicações.

Após isto, são apresentados os resultados do questionário aplicado a especialistas brasileiros que estudam o mesmo tema desta tese. Tais resultados contribuíram para aprofundar o desenvolvimento do Protocolo.

### **4.1 ANÁLISE BANCO DE DADOS DO PRONTO3D**

Conforme site (redepronto3d, 2016), o Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D - PRONTO 3D - é um espaço de ensino, pesquisa e extensão na área da materialização da forma por meio de técnicas automatizadas, tais como impressão 3D, corte laser e usinagem em máquinas CNC. Na UFSC, este laboratório integra professores pesquisadores, alunos de graduação e de pós-graduação, participantes de programas de iniciação científica e similares, além de profissionais envolvidos em projetos que se desdobram em aplicações de atividades de pesquisa e extensão. Este ambiente faz parte de uma Rede de laboratórios de prototipagem rápida e fabricação digital, denominada REDE PRONTO 3D, a qual tem como objetivo a estruturação de centros estrategicamente localizados no estado de Santa Catarina, atualmente nas cidades de Lages, Criciúma e Chapecó.

A REDE PRONTO 3D atende cursos de Design e Arquitetura, Engenharias, bem como todas as áreas que envolvam criação, desenvolvimento e produção de modelos, protótipos, maquetes e produtos em escala real, auxiliando as diferentes etapas do processo de projeto. Recentemente, a REDE PRONTO 3D se afiliou à REDE FabLab Brasil, que faz parte da rede internacional FabLab e é composta por mais de 1000 laboratórios ao redor do mundo. No site do laboratório são armazenados artigos resultantes das pesquisas e relatos das atividades ali desenvolvidas.

Os equipamentos existentes no laboratório são:

- Impressora 3D: Project 1000 – Polijet

- Impressora 3D: Cliever CL1 – processo FDM
- Impressora 3D: Bee The First – processo FDM
- Impressora 3D: Cube – processo FDM
- Impressora 3D:Sethi – processo FDM
- CNC: Router 3.00 x 2.00 m
- Corte Laser: 60w 900x600 cm

Com o início do Doutorado, em Agosto de 2013, existiu uma aproximação do pesquisador com as atividades executadas no PRONTO 3D. Entre Março de 2014 e Abril de 2016 foram realizados acompanhamentos de atividades da aplicação da Materialização Digital, dentro do Laboratório. Essas atividades estavam ligadas às disciplinas de Prototipagem, Projeto de Produto 21 (baixa complexidade); e Projeto de Produto 23 (alta complexidade) do curso de Design da UFSC. Os trabalhos que resultaram em artigos e alguns projetos de conclusão de curso (Design – UFSC), e material bibliográfico serviram como um banco de dados para análise, construindo o objeto de estudo desta tese.

Para compreensão da problemática do uso da Materialização Digital e ter a possibilidade de comparar com ações similares realizadas em outros laboratórios de pesquisa atuantes na área da Fabricação Digital, serão apresentados, a seguir, oito relatos de atividades realizadas no PRONTO 3D, seguidas de uma análise, enfatizando os aspectos relevantes que foram considerados por aqueles que aplicaram as técnicas de Materialização Digital.

Cada um destes relatos é apresentado a partir de cinco aspectos:

1° Contexto e Demanda;

2° Identificação dos critérios de seleção;

3° Descrição dos procedimentos técnicos aplicados;

4° Análise descritiva dos procedimentos;

5° Extração das regras de seleção dos processos de Materialização Digital.

#### **4.1.1 Veículo Elétrico**

##### **Contexto e Demanda**

O projeto aqui apresentado teve como proposta desenvolver um conceito formal de um veículo automotivo supercompacto, no âmbito de um Projeto de Conclusão de Curso (Cabral, 2014) no curso de Design da UFSC.

### Identificação dos Critérios de Seleção

Os critérios utilizados para a materialização foram:

- Complexidade da forma;
- Dimensão do produto;
- Custo baixo;
- Tempo de execução - curto.

### Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados

Inicialmente, os arquivos da modelagem 3D foram fatiados em quatro partes para adequar-se as dimensões do material disponível no laboratório sendo este uma placa de PU (Poliuretano), possibilitando a usinagem do veículo e assim materializar o produto em uma escala 1:8, ou seja, oito vezes menor que o real, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Usinagem do Veículo Elétrico



Fonte: Cabral (2014).

Depois da usinagem, grande parte dos detalhes foi executada manualmente, assim como o acabamento superficial, realizado com massa plástica seguida de pintura (Figura 19).

Figura 19 – Pós-processamento do modelo do veículo



Fonte: Cabral (2014).

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

O processo de materialização por CNC possibilitou uma rápida construção do modelo de apresentação com uma alta complexidade formal.

Anteriormente ao acesso às tecnologias de Materialização Digital, a velocidade de construção de um modelo como este demoraria mais e ensinaria, também, experiência e habilidade da pessoa que materializa.

### **Extração das Regras**

Para a atividade do veículo, obteve-se a seguinte regra:  
Se desejar visualizar uma forma de alta complexidade, possuir pouco recurso financeiro para ser gasto em materiais e houver pouco tempo, deve-se usar o material PU (Poliuretano) em uma CNC.

## 4.1.2 Óculos de Sol

### Contexto e Demanda

Na disciplina de Projeto de Produto (Projeto 21 - Baixa Complexidade) realizada no segundo semestre de 2014, ofertada para o curso de Design da UFSC, existiu o contato com uma empresa fabricante de óculos de sol, licenciada pelas marcas Mormaii, Colcci e Absurda.

Depois desse contato com a empresa o tema de projeto do semestre foi definido com o desenvolvimento de óculos de sol para as três marcas.

A demanda de materialização dessa atividade educacional estava ligada a produção de um modelo de apresentação dos óculos de sol. Sua finalidade era avaliação dos aspectos formais e estéticos do objeto desenvolvido por cada equipe.

### Identificação dos Critérios de Seleção

Os critérios de aplicação da Materialização Digital utilizados pelos professores da disciplina estavam associados, principalmente em:

- Complexidade da forma;
- Material;
- Forma do objeto;
- Facilidade de acabamento superficial;
- Dimensão do produto;
- Tempo;
- Custo baixo.

Os processos selecionados foram corte a laser e impressão 3D, quando observada a forma do objeto, os óculos com mais detalhes e relevos (linha esportiva) foram direcionados para a Impressão 3D, e aqueles óculos com superfície de menor complexidade formal, sem relevos, foram guiados para serem cortados a laser.

### Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados

No corte a laser foi utilizado o acrílico, por ser acessível aos alunos na questão custo e fornecedor, e também por possuir características físicas semelhantes ao material utilizado na produção de óculos de sol.

Na Figura 20 é possível ver os resultados dos projetos materializados via corte a laser.

Figura 20 – Óculos de sol cortados por laser

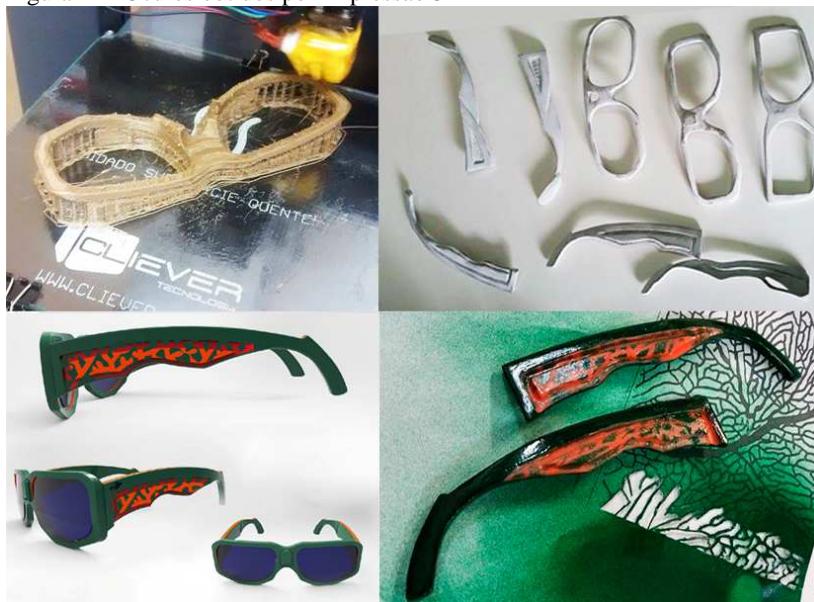


Fonte: PRONTO 3D.

A decisão tomada quanto ao uso do corte a laser possibilitou a rápida construção de diversos modelos, otimizando o corte com o projeto de várias equipes. A dimensão do objeto não era maior que a área de corte da cortadora laser, o que possibilitou a construção em escala real. No pós-processamento, a atividade foi realizada com tranquilidade pelas equipes, pois a superfície do material não apresentava irregularidades, sendo também possível conformar o objeto depois de aquecido utilizando uma pistola de ar quente, gerando curvaturas necessárias às hastes dos óculos.

Para os óculos com desenho esportivo, possuindo curvaturas e geometrias de maior complexidade, foi aplicada a impressão 3D, conforme Figura 21. As dimensões dos modelos propostos dos óculos estavam dentro do envelope da impressora (volume útil de impressão) isso garantiu a materialização em escala real.

Figura 21– Óculos obtidos por Impressão 3D



Fonte: PRONTO 3D.

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

Ocorreu uma demanda maior de tempo para o pós-processamento, principalmente por ser necessário construir muitos suportes nas peças para viabilizar a impressão no processo FDM, disponibilizado aos alunos, decisão esta tomada principalmente pelo custo do filamento (material utilizado). O tempo destinado ao acabamento das peças impressas excedeu ao tempo utilizado pelas equipes que optaram pelo corte.

### **Extração das Regras**

Com as ações de materialização dos óculos, identificaram-se algumas regras para aplicar na seleção dos processos de fabricação digital:

- Se a forma do objeto for de baixa complexidade e houver pouco tempo de execução, deve-se utilizar o corte a laser;
- Se as dimensões do objeto estiverem dentro da área útil da cortadora e for desejável um excelente acabamento superficial e houver pouco tempo para execução da

materialização, deve-se utilizar a cortadora laser e o acrílico como material;

- Se as dimensões do objeto estiverem dentro do envelope da impressora 3D e o objeto a ser materializado for de alta complexidade (curvas e relevos), deve-se utilizar a impressão 3D;
- Se for utilizar a impressão 3D e houver pouco recurso financeiro, deve-se optar pelo processo FDM;
- Se o acabamento superficial for considerado Ruim, Regular ou Bom, pode-se utilizar o processo FDM.

### **4.1.3 Equipamentos de Tecnologia Assistiva**

#### **Contexto e Demanda**

Apresenta-se a seguir o relato do Projeto de Conclusão de Curso (PCC), publicado em artigo por Medeiros et al., (2014), cujo objetivo foi o desenvolvimento de um produto que auxiliasse o deslocamento de pessoas com deficiência visual.

#### **Identificação dos Critérios de Seleção**

Este projeto foi selecionado para análise, pois levou em conta a necessidade de adequar a forma do objeto aos componentes eletrônicos internos. As práticas da aplicação da Materialização Digital foram divididas em três fases, cada uma com necessidades específicas, apresentadas a seguir:

##### **Fase 1**

- Dimensão do produto;
- Complexidade da forma;
- Verificar forma e dimensões;
- Testar a montagem das peças e componentes;
- Testar com usuários;
- Baixo custo.

##### **Fase 2**

- Dimensão do produto adequada ao equipamento;
- Complexidade da forma;
- Verificar forma e dimensões;
- Testar a montagem de peças e componentes;
- Testar com usuários;

- Demonstrar bom acabamento superficial.

### Fase 3

- Gerar um Protótipo funcional.

### **Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados**

Para a construção dos modelos e protótipo utilizados nas três fases, o processo selecionado foi a Impressão 3D, porém variando as tecnologias em cada momento.

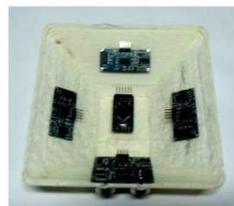
Em duas etapas, a materialização foi produzida dentro do PRONTO 3D, sendo que em outra ocorreu auxílio do CTI – Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, de Campinas-SP. O CTI é uma unidade de pesquisa em tecnologia da informação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

A seguir, apresentam-se os aspectos relacionados aos resultados da aplicação da Materialização Digital em cada fase.

### *Fase 1*

A partir da modelação tridimensional foi dado início à produção do primeiro modelo de baixa fidelidade, produzido com a técnica FDM (*Fused Deposition Modeling*). Por ter sido impresso em baixa resolução (Figura 22) e sem material de suporte (estrutura auxiliar produzida no mesmo momento que a peça sustentando partes da mesma), a qualidade de impressão foi baixa, impossibilitando analisar a informação em braille inserida no modelo, devido à deformação causada pela impressão. Entretanto, o protótipo foi fundamental para posicionar os sensores e compreender questões relacionadas às dimensões, ângulos e suportes dos componentes.

Figura 22– Protótipo Fase 01



Fonte: Medeiros et al., (2014).

### ***Fase 2***

O protótipo gerado nesta fase, apresentado na Figura 23, foi criado com a técnica aditiva SLS (*Selective Laser Sintering*), possuindo qualidade de impressão superior à versão anterior, mas não foram feitos ajustes nas dimensões, somente incluíram-se as torres para fixação dos parafusos e o encaixe para a tampa traseira.

Neste modelo foi possível perceber que as dimensões dos furos onde seriam acoplados os sensores não estavam com as dimensões adequadas, ocorrendo o mesmo com as dimensões da cela braille, inferiores às da norma.

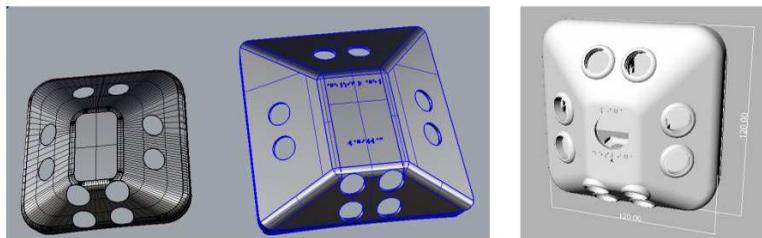
Figura 23– Protótipo Fase 02



Fonte: Medeiros et al., (2014).

Após a análise do segundo protótipo, na alternativa final, apresentada na Figura 24, optou-se pela redução de tamanho do modelo (de 150x150x40mm para 120x120x43mm). Conseqüentemente, os elementos frontais foram reposicionados devido à redução das dimensões. Os raios dos cantos foram aumentados e as quinas frontais foram eliminadas. As torres da cela braille foram ajustadas às normas e tiveram as pontas arredondadas. Para dar suporte e melhorar a aparência da parte visível dos sensores, foram inseridas bordas ao redor, na parte externa do protótipo, e no seu interior foram inseridos suportes e travas para os componentes. Ainda, foi criado um espaço para o botão liga/desliga e para o *buzzer* (buzina).

Figura 24– Ajuste da modelagem tridimensional



Fonte: Medeiros et al., (2014).

### ***Fase 3***

Após os ajustes necessários, foi possível fazer uma terceira prototipagem com o processo aditivo, já em uma impressora Project100, 3DSystems, como ilustrado na Figura 25.

Figura 25– Protótipo Fase 03



Fonte: Medeiros et al., (2014).

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

Nesse trabalho, a aplicação da Prototipagem Rápida fez com que resoluções ergonômicas e adequações funcionais fossem encontradas por meio dos protótipos. Os requisitos de projeto foram direcionados a partir da identificação das necessidades dos usuários, sendo possível solucionar problemas encontrados no decorrer do processo de desenvolvimento de produto aplicando a Materialização Digital com os diversos processos de impressão 3D.

A possibilidade de uso das técnicas de prototipagem rápida nas

etapas iniciais de projeto se deu com a aplicação de processos mais simplificados e de menor custo. A qualidade do acabamento do protótipo foi aumentando à medida que novos problemas iam surgindo, e sua qualidade de resolução da impressão 3D foi gradativamente melhorando a partir da evolução e soluções do projeto.

### **Extração das Regras**

Nessa ação de aplicação da Materialização Digital as considerações foram restritas à aplicação da Impressão 3D.

- Se for testar o protótipo com usuários e/ou fazer testes de montagens, deve-se materializar em escala real;
- Se o objeto a ser materializado for de alta complexidade e suas dimensões estiverem dentro do envelope da impressora 3D e possuir detalhes internos, deve-se utilizar a Impressão 3D;
- Se for testar montagens e componentes internos e houver pouco recurso financeiro, deve-se utilizar a Impressão 3D no processo FDM;
- Se for testar montagens e componentes internos e tiver médio recurso financeiro, deve-se utilizar a Impressão 3D no processo SLA;
- Se for testar montagens e componentes internos e tiver muito recurso financeiro, deve-se utilizar a Impressão 3D no processo SLS;
- Se o acabamento superficial desejado for Ruim, Regular ou Bom, usar o processo FDM;
- Se o acabamento superficial desejado for Bom ou Muito Bom, usar o processo SLA;
- Se o acabamento superficial desejado for Muito Bom ou Excelente, usar o processo SLS.

#### **4.1.4 Veículo Ultra Compacto**

##### **Contexto e Demanda**

A atividade descrita a seguir está associada ao Grupo de Pesquisa MultiDesign da UFSC, que atua em uma linha com foco no desenvolvimento de veículos Ultracompactos (para o transporte de um ocupante).

A demanda pela materialização da proposta do veículo tinha como objetivo a construção de um modelo físico para o grupo de

pesquisa discutir o aspecto formal do objeto e verificar a adequação dimensional com as dimensões humanas por meio de um manequim antropométrico.

### **Identificação dos Critérios de Seleção**

Os critérios utilizados pelo grupo para a seleção dos processos de Materialização Digital foram:

- Dimensão do produto;
- Custo baixo de produção;
- O processo de construção não deveria demandar um tempo maior que dois dias.

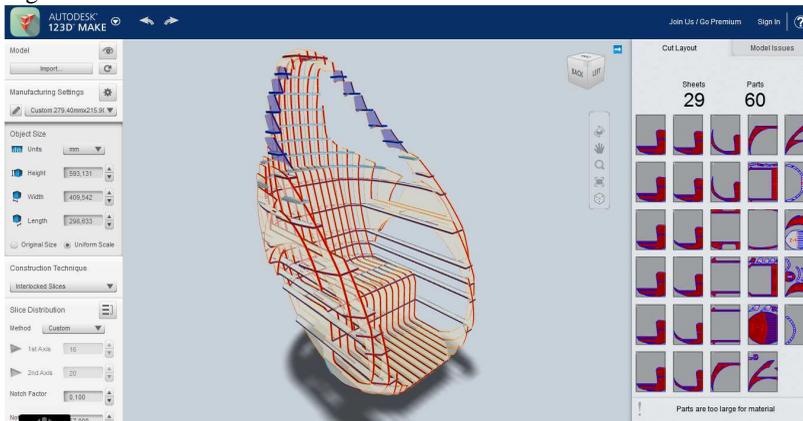
A partir destes elementos, observaram-se três critérios a serem levados em conta: Equipamentos Disponíveis, custo de produção e tempo de produção.

### **Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados**

Para a realização da atividade, o modelo foi desenhado em software de modelagem 3D. Este arquivo tridimensional foi exportado no formato STL, (esteriolitografia), possibilitando a importação no software 123DMake, da Autodesk, capaz de produzir de forma rápida e intuitiva a configuração de planos interligados, que posteriormente são utilizados para serem cortados. Dentre as possibilidades existentes no Laboratório PRONTO 3D, foi selecionada a utilização da Cortadora Laser, levando em conta o tamanho do objeto escalonado, material, tempo e acabamento superficial. O material utilizado foi MDF (placa de fibra de madeira de média densidade) com espessura de três milímetros. Na figura 26, apresenta-se o resultado utilizado para fazer o arquivo de corte.

Este software possibilita exportar no formato DXF, facilmente reconhecido pelo software utilizado na cortadora laser.

Figura 26– Modelo do veículo software 123D Make



Fonte: Pazmino, Pupo e Medeiros (2014).

Na etapa seguinte, foi realizado o corte a Laser e, posteriormente, efetuou-se a montagem, como ilustra a Figura 27. Para preenchimento e construção da superfície, utilizou-se papel banhado em cola branca, sobre o qual, depois de seco, foi aplicada uma camada de Massa Plástica.

Figura 27– Modelo do veículo cortado e montado



Fonte: Pazmino, Pupo e Medeiros (2014).

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

O modelo de baixa fidelidade, construído em escala reduzida, juntamente com o manequim antropométrico na mesma escala, (Figura 27) possibilitou analisar o dimensionamento do veículo em relação ao usuário. A opção pela redução da escala foi indicada pela redução de custos e tempo.

A escala do modelo foi ajustada para caber nas dimensões da área de corte do equipamento disponível, viabilizando a materialização. Para o pós-processamento a intenção foi de construir um volume possibilitando a equipe de projeto visualizar a forma tridimensional, sem preocupações com o acabamento superficial do objeto.

Nessa atividade foi possível identificar algumas soluções aplicadas à materialização desenvolvidas pelo grupo.

- A produção do modelo em escala reduzida;
- Montar uma estrutura em *Interlocking*;
- Utilizar a cortadora laser pela disponibilidade e velocidade do processo;
- O material foi o MDF de baixo custo;
- Acabamento superficial não foi relevante nesta fase.

### **Extração das Regras**

Desta maneira, verificou-se que a equipe utilizou as seguintes regras no processo de Materialização Digital:

- Se o objeto a ser materializado for maior que as dimensões do equipamento e existe pouco recurso financeiro para a produção do modelo, deve-se materializar em escala reduzida;
- Se o objeto for destinado a testes com usuários, deve-se utilizar escala real. Porém se não houver recursos financeiros e/ou tempo disponível, pode-se produzir um manequim antropométrico em escala compatível com o protótipo;
- Se for desejável uma rápida construção, deve-se utilizar a cortadora laser;
- Se for utilizada a cortadora laser, existir pouco recurso financeiro e não desejar-se transparência no protótipo, deve-se utilizar como material de corte o papel couro; compensado ou MDF;
- Se o acabamento superficial não for relevante, pode-se fatiar o modelo.

## **4.1.5 Torneira**

### **Contexto e Demanda**

Este projeto foi realizado na disciplina de Projeto de Produto da Universidade Federal de Santa Catarina, ocorrido no primeiro semestre de 2015. Neste semestre os alunos tinham como tema de projeto o desenvolvimento de torneiras. Como demanda para a materialização, os acadêmicos tiveram que produzir um modelo de apresentação na escala real da alternativa final.

### **Identificação dos Critérios de Seleção**

Os critérios para seleção da técnica a ser aplicada na construção do modelo foram:

- Complexidade da forma;
- Custo baixo;
- Dimensão do produto.

### **Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados**

Para essa tese foi selecionada a produção do modelo de apenas uma das equipes, escolha feita devido à complexidade das ações realizadas. O processo escolhido para aplicar a Materialização Digital foi o de impressão 3D (FDM). As dimensões dos equipamentos disponíveis no laboratório são um envelope de 150mm no eixo X, 150mm no eixo Y e 150mm no eixo Z. Com base nesses dois limitantes (impressão em FDM e dimensões do equipamento), a equipe teve que preparar os arquivos digitais para a impressão.

Como as dimensões das torneiras superavam as limitações do equipamento a equipe fracionou o objeto em partes menores, possíveis de serem impressas, para posteriormente serem unidas formando o produto em escala real (Figura 28).

Figura 28 – Peças da torneira impressas e montadas



Fonte: PRONTO 3D.

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

A equipe teve que realizar no pós-processamento a colagem das peças e o acabamento superficial com massa plástica e pintura. O resultado final da materialização serviu tanto para uma análise ergonômica simples, simulando a pega, quanto para a apresentação do produto final.

### **Extração das Regras**

Com a análise dessa atividade projetual e aplicação da materialização no projeto de torneira, pode-se obter as seguintes regras:

- Se for testar o objeto com usuários, deve-se usar escala real do produto;
- Se for um objeto de alta complexidade e medir até três

vezes mais que o envelope (área de impressão), deve-se seccioná-lo em partes menores.

- Se for um objeto de alta complexidade, deve-se utilizar a Impressão 3D;
- Se estiver sendo materializado um objeto de alta complexidade e houver pouco recurso financeiro, deve-se utilizar a Impressão 3D com o processo FDM;

#### **4.1.6 Contraabaixo Elétrico**

##### **Contexto e Demanda**

O projeto a seguir é referente a um PCC (Alló, 2015), que tinha como objetivo desenvolver um Contraabaixo Elétrico (instrumento musical de cordas), utilizando os processos de Materialização Digital.

A demanda da materialização foi, no primeiro momento, apenas visualizar a forma do objeto (Fase 1) para, posteriormente, construir um protótipo (Fase 2).

##### **Identificação dos Critérios de Seleção**

Os critérios utilizados para a aplicação dos processos de Materialização Digital foram:

Fase 1- Visualização da forma

- Dimensão do produto;
- Agilidade;
- Custo baixo.

Fase 2 – Construção do Protótipo

- Complexidade da forma;
- Dimensões do objeto;
- Possibilitar a montagem de componentes;
- Testes com usuários;
- Custo baixo.

##### **Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados**

A seguir serão descritos os processos utilizados para a materialização nos dois momentos.

### ***Fase 1***

O primeiro modelo foi produzido em escala 1:4, apenas para verificar o aspecto formal, conforme ilustra a Figura 29, o processo utilizado foi impressão 3D (FDM).

Figura 29– Modelo escala reduzida do Contrabaixo



Fonte: Alló (2015).

### ***Fase 2***

Depois da análise formal do modelo impresso, a ação de materialização foi direcionada para a aplicação da CNC, usinando em MDF o Protótipo do Contrabaixo. Primeiro foi usada a espessura de 6mm, objetivando verificar as áreas do objeto que teriam encaixes com outras peças padrões de um Contrabaixo, e, posteriormente, a usinagem foi realizada em uma placa de 30mm de espessura, conforme Figura 30.

Figura 30 – Usinagem do Contrabaixo



Fonte: Alló (2015).

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

Algumas estratégias de aplicação da Materialização Digital no caso do Contrabaixo poderiam ter sido otimizadas, na percepção do pesquisador, pois as técnicas foram aplicadas em fases posteriores à geração de alternativas, já que a alternativa final do produto estava definida. Seria, portanto, interessante avaliar a aplicação do corte a laser na fase anterior à utilização da impressão e usinagem.

Mesmo assim, o processo utilizado propiciou a produção de um protótipo funcional (Figura 31), com possibilidade de um pós-processamento com pintura e montagem de componentes.

Figura 31 – Protótipo do Contrabaixo



Fonte: Alló (2015).

### **Extração das Regras**

A seguir, são apresentadas as regras identificadas com a ação de materialização do contrabaixo elétrico:

- Se o objetivo é apenas a visualização da forma, podendo o acabamento superficial ser regular, deve-se utilizar a impressão 3D no processo FDM com o modelo em escala reduzida;
- Se existe interesse em testar a montagem de componentes e avaliar o objeto com usuários e com baixo investimento em materiais, deve-se usar em escala real utilizando como material o MDF;

### **4.1.7 Banheira de Imersão**

#### **Contexto e Demanda**

O pesquisador pode trabalhar com o desenvolvimento de uma banheira de imersão, projeto destinado a uma empresa particular que faz a manufatura de banheiras e cubas comercializadas no território nacional.

O projeto consistiu no desenvolvimento de uma banheira com características especificadas pelo proprietário.

A necessidade de materialização surgiu em dois momentos, nos quais foram aplicados processos de materialização mediados por meios

digitais.

A demanda no primeiro momento (Fase 1) existiu pela necessidade da apresentação do projeto ao cliente, sendo nesta reunião discutidos os aspectos formais e estéticos da alternativa final do produto em desenvolvimento.

A segunda ação de materialização (Fase 2) ocorreu devido ao fato tanto do cliente quanto da equipe de projeto necessitarem fazer uma avaliação ergonômica e, novamente, verificarem os aspectos formais e estéticos do projeto em desenvolvimento.

### **Identificação dos Critérios de Seleção**

Os critérios utilizados para a aplicação da materialização foram:

Fase 1

- Complexidade da forma;
- Dimensão do produto;
- Tempo de execução;
- Custo baixo.

Fase 2

- Complexidade da forma;
- Dimensão do produto;
- Custo baixo;
- Qualidade do acabamento superficial.

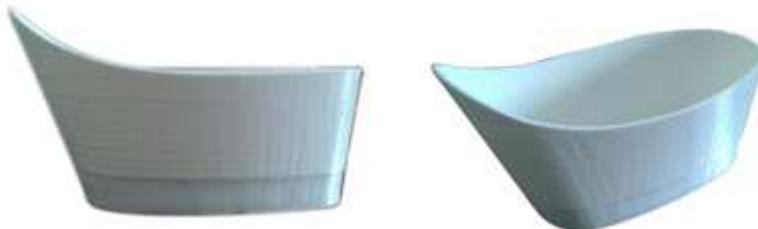
### **Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados**

Serão descritos a seguir os processos aplicados na materialização e os resultados obtidos.

#### ***Fase 1***

Depois da geração de alternativas optou-se por fazer a impressão 3D da proposta em escala dez vezes reduzida, apresentando para o cliente além das imagens (*renderizadas*) o objeto físico para avaliação do Design (Figura 32).

Figura 32 – Banheira impressa em escala reduzida



Fonte: do Autor.

### ***Fase 2***

Como resultado dessa conversa com o fabricante, teve-se a aprovação da forma principal do produto e partiu-se para a construção do modelo em escala real.

O objetivo do modelo construído em escala real seria a avaliação geral da proporção da banheira e a interação homem-produto, levando em conta os aspectos antropométricos. Uma limitação da escolha do processo e material foi o custo final do modelo. Dessa maneira, optou-se por produzir a banheira usando o EPS (Poliestireno Expandido) como material.

Uma característica desta materialização foi o equipamento utilizado, a CNC disponível no laboratório PRONTO 3D, que tem como altura limite do eixo Z 250 mm. Devido a essa característica do equipamento disponível, a banheira foi usinada em oito partes, cada camada com 100 mm, altura limite do material EPS disponível no mercado. Desta maneira, pode-se obter a altura final do objeto somando as placas usinadas (Figura 33).

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

O processo de impressão 3D utilizado foi de baixo custo e, mesmo sendo em escala reduzida, o modelo da banheira pôde sanar dúvidas no momento da reunião com o cliente externo.

A escolha do material a ser usinado e a maneira de processamento/montagem puderam oferecer um resultado materializado do objeto em estudo adequado ao custo e tempo disponíveis.

Figura 33 – Usinagem e Montagem do Modelo da Banheira



Fonte: do Autor.

No modelo da banheira produzido em escala real, foi realizado um simples acabamento superficial para que o produto materializado em escala real pudesse passar por uma análise ergonômica com usuários.

### **Extração das Regras**

A seguir apresentam-se as regras obtidas dos dois momentos de materialização por meios digitais utilizados no projeto da banheira de imersão:

- Caso o produto seja de alta complexidade e se deseja visualizar a forma, apresentar para o cliente, pouco recurso financeiro e não for testar com usuários, deve-se trabalhar com escalas de redução, utilizando a impressão 3D no processo FDM;
- Se for testar com usuários, o objeto tem que ser produzido em escala real;
- Se o projeto for considerado de alta complexidade e necessitar testes com usuários e o acabamento superficial não for relevante e suas dimensões forem até três vezes o envelope da impressora 3D, deve-se optar pelo processo

de usinagem na CNC;

- Se for utilizar o processo de usinagem por CNC e houver poucos recursos financeiros para aquisição de materiais, pode-se utilizar o EPS como material a ser desbastado.

#### **4.1.8 Mobiliário Urbano**

##### **Contexto e Demanda**

O presente trabalho está relacionado a um projeto de pesquisa do PET (Programa de Educação Tutorial) do curso de Arquitetura da UFSC, realizado no ano de 2015 e início de 2016. Foram aplicadas diversas técnicas de Materialização Digital: impressão 3D, corte a laser e corte com a CNC. Todos os três processos foram aplicados ao longo das fases projetuais e não inseridos apenas na etapa final. O projeto consistia em desenvolver um mobiliário que atendesse às características do espaço físico escolhido (praça da cidadania na UFSC) e aos aspectos relacionados pelo público que frequenta tal espaço.

As demandas de materialização foram separadas em três fases específicas: na Fase 1, o modelo deveria auxiliar a verificação estética formal do produto em desenvolvimento; no segundo estágio de aplicação da Materialização Digital, ou seja, a Fase 2, a materialização teve como finalidade auxiliar a compreensão dos encaixes a serem utilizados bem como avaliar a forma e a estética do objeto; e, por último (Fase 3), foi aplicado o processo mais adequado para a construção do protótipo em escala real.

##### **Identificação dos Critérios de Seleção**

Os critérios de seleção da aplicação da Materialização Digital utilizados pelos alunos e professores envolvidos no projeto foram:

###### Fase 1

- Complexidade da forma;
- Dimensão do produto;
- Custo baixo;
- Tempo.

###### Fase 2

- Dimensão do produto;
- Testar encaixes;
- Custo baixo;
- Tempo.

### Fase 3

- Dimensão do produto.

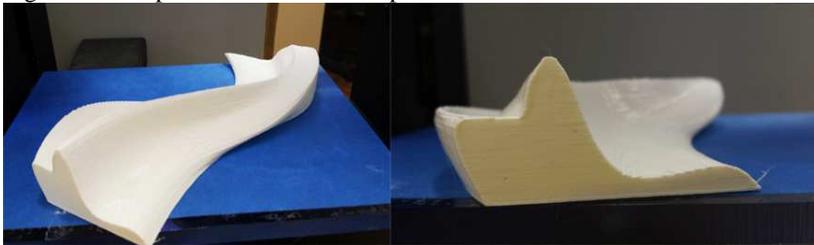
### **Descrição dos Procedimentos Técnicos Aplicados**

A seguir apresentam-se as soluções encontradas para a utilização dos processos mediados por meios digitais.

#### ***Fase 1***

A partir da modelagem da primeira etapa do mobiliário, foram fabricados protótipos na impressora 3D (Figura 34). Nesta etapa do processo, tornaram-se evidentes os erros de modelagem: áreas curvas, pouco espaço de assento e encosto insuficiente.

Figura 34— Proposta do Mobiliário Impressão 3D



Fonte: Ryberg et al.,(2015).

#### ***Fase 2***

Depois de executados os ajustes na proposta do mobiliário, estudaram-se os seus meios de construtibilidade. O primeiro teste realizado objetivou verificar a estrutura da peça, simulando o mobiliário na escala 1:5.

A execução do *interlocking* (cortes realizados na peça que possibilitam o encaixe e montagem) e sua planificação foi realizada no software 123DMake, com a primeira tentativa de corte das peças em Papel Paraná, espessura 1mm, em cortadora laser. Nesta etapa, encontraram-se dificuldades de montagem da peça, devido à irregularidade na espessura do material e aos encaixes justos. Portanto, foi necessário fazer um novo teste ainda na escala reduzida, com MDF e encaixes mais frouxos. Foi utilizado, então, o MDF com espessura de 3 mm, ainda na cortadora a laser (Figura 35).

O processo de utilização do corte a laser foi rápido e preciso. A construção do objeto em escala reduzida permitiu verificar as dificuldades futuras na construção do mobiliário no tamanho real.

Figura 35– Mobiliário cortado a laser em escala reduzida



Fonte: Ryberg et al.,(2015).

### ***Fase 3***

Depois de realizados todos os testes necessários para o refinamento do produto, foi feito o corte na escala 1:1, em MDF 6 mm, com a utilização de fresadora CNC. Com um total de 30 peças, a montagem se deu com o auxílio visual do modelo em escala menor, já utilizado anteriormente durante o processo projetual (Figura 36).

Figura 36 – Montagem do Mobiliário



Fonte: do Autor.

### **Análise Descritiva dos Procedimentos**

No primeiro momento de materialização, utilizando a impressão 3D em um modelo de escala reduzida, obteve-se uma avaliação formal do resultado da modelagem digital, proporcionando uma percepção física da forma do objeto em desenvolvimento.

Já na segunda Fase, com o uso do software 123DMake e da cortadora Laser, produzindo um modelo em escala reduzida do objeto

final, pôde-se conduzir a montagem do produto final e compreender as dificuldades futuras de montagem das peças cortadas.

A maior dificuldade obtida durante a montagem final ocorreu devido às espessuras dos "interlocks". Como a espessura do material era de 6mm, uma fresa com a mesma medida foi utilizada para o corte dos encaixes. Isso ocasionou uma resistência destes encaixes, especialmente naqueles em que sua quantidade era maior. Entretanto, o material e sua configuração responderam favoravelmente à montagem do mobiliário.

### **Extração das Regras**

Nesta atividade, apenas os elementos relativos ao primeiro momento de materialização serão levados em conta na construção do Protocolo a ser desenvolvido, já que as fases posteriores compreendiam especificamente a construção do mobiliário utilizando os planos seriados. A seguir, apresentam-se as regras extraídas desta etapa:

- Quando se deseja visualizar a forma do objeto, e este for de alta complexidade, não sendo realizado nenhum teste com usuários e, além disso, o tempo está limitado a três dias de produção, deve-se utilizar a impressora 3D;
- Se o processo a ser utilizado é a impressão 3D e houver pouco recurso financeiro, deve-se optar pela técnica FDM.

## **4.2 A CONSTRUÇÃO DOS CRITÉRIOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DO PRONTO 3D**

A partir da análise das ações de Materialização Digital realizadas no PRONTO 3D, foi possível extrair os critérios passíveis de uso no desenvolvimento do Protocolo. Estes elementos são a base da elaboração dos temas a serem tratados nas entrevistas (Apêndice C) aplicadas aos participantes dos grupos de pesquisa brasileiros na área de Desenho Industrial e Arquitetura e que realizam pesquisas e ações no campo da Fabricação Digital e Prototipagem.

Os critérios identificados nos itens 4.1.1 até 4.1.8, listados na Figura 37, poderiam ter sido decompostos em 8 ações, contudo, objetivando auxiliar a compreensão dos entrevistados, na próxima etapa desta pesquisa, optou-se por efetuar algumas separações. Assim, o caso descrito em 4.1.2 (óculos de sol) foi desmembrado em dois, levando em conta a utilização do corte a Laser e da impressora 3D; o caso descrito

em 4.1.6 (ContraBaixo elétrico) foi desmembrado na aplicação da impressão 3D e na usinagem com CNC; e o caso descrito em 4.1.7 (banheira de imersão) foi reestruturado levando em conta a utilização da impressão 3D e da usinagem. Ao todo, foram geradas 11 ações.

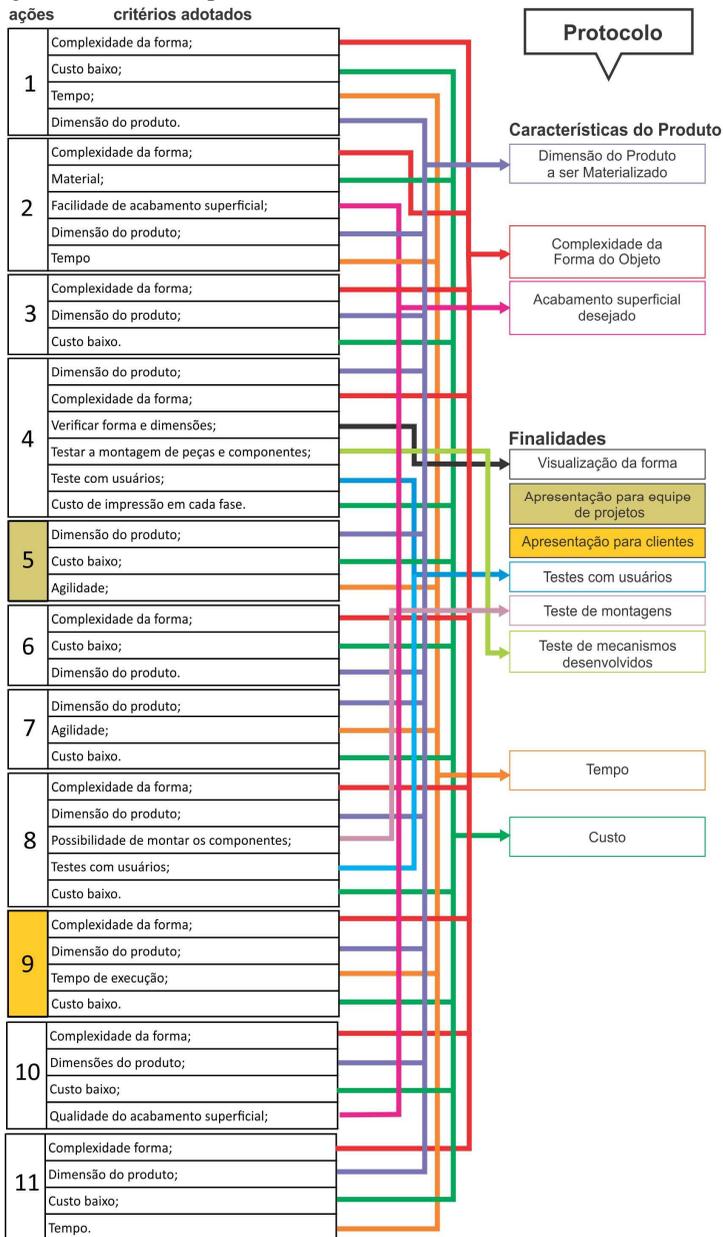
Decidiu-se agrupar os critérios repetidos nestas ações, de modo a identificar cada item a integrar o Protocolo. Três grupos estruturantes foram gerados:

- Grupo 01 – Características do Produto;
- Grupo 02 – Finalidades da Materialização;
- Grupo 03 – Tempo e Custo.

Ressalta-se que dois outros itens, em especial sinalizados por cores na (Figura 37), não foram estabelecidos através das regras, mas sim pelo objetivo específico dos casos apresentados: no Caso n°5, identificou-se a finalidade específica “Apresentação para a equipe de projeto”; e no Caso n°9, vislumbrou a ação de “Apresentação para clientes”.

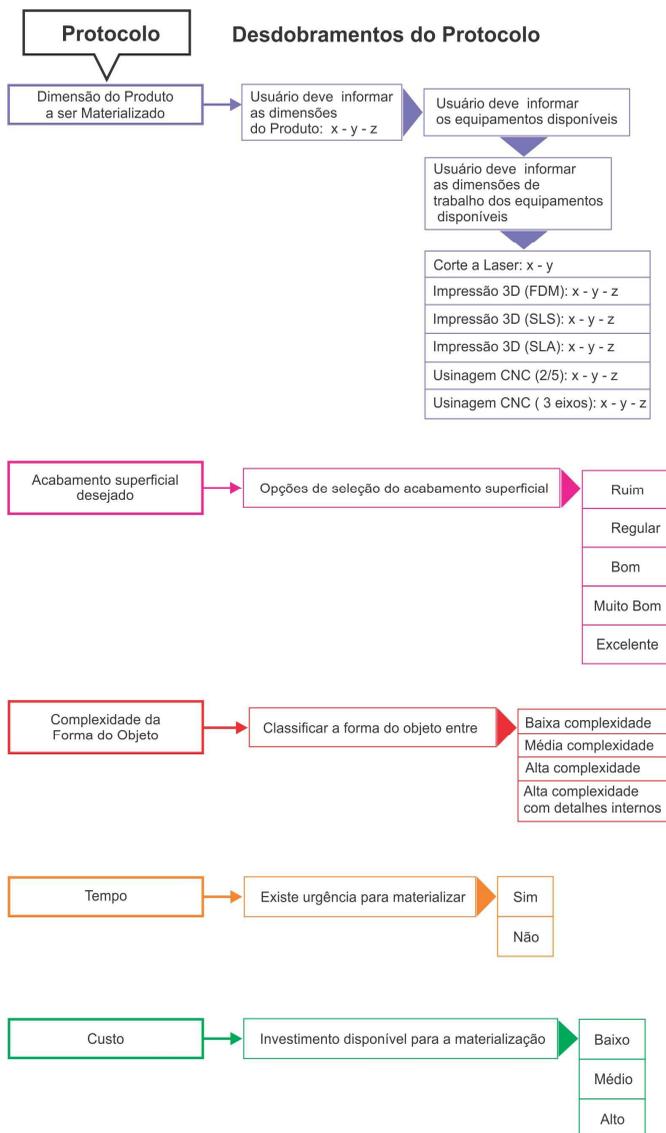
A Figura 38 representa o desdobramento da Figura 37, demonstrando as ações necessárias para a continuidade do Protocolo.

Figura 37 – Critérios para o Protocolo



Fonte: do Autor.

Figura 38 – Definição dos critérios do Protocolo



Fonte: do Autor.

Com o desdobramento dos critérios identificados, apresentados na Figura 38, percebeu-se a necessidade do Protocolo apresentar uma área para o preenchimento de dados de entrada, tais como a dimensão total do objeto que se deseja materializar e as dimensões dos equipamentos disponíveis.

Conhecer as dimensões e o tipo de equipamentos que o usuário tem acesso fornecerá possibilidades diferentes frente a cada problemática. Para tanto, foram considerados os processos mais acessíveis atualmente: Corte a Laser, Impressão 3D (FDM, SLS e SLA) e usinagem por CNC 3 eixos (desbaste 2.5) e 4 eixos.

Para uma resposta mais assertiva do Protocolo, o usuário também deve indicar duas características básicas do objeto que deseja materializar. São elas:

- O grau de complexidade da forma, que deverá corresponder a: baixa complexidade, média complexidade, alta complexidade ou alta complexidade com detalhes internos.
- O nível de acabamento superficial, que estará vinculado diretamente ao material aplicado na construção dos *mock-ups*, modelos e protótipos, deverá ser identificado como: Ruim, Regular, Bom, Muito Bom e Excelente.

O estudo das aplicações da Materialização Digital realizadas no laboratório PRONTO 3D permitiu estabelecer diversas finalidades relevantes para serem consideradas no Protocolo. São elas: visualização da forma, apresentação para a equipe de projetos, teste do objeto com usuário, apresentação para clientes, teste de componentes em montagens e teste de mecanismos desenvolvidos. Tais finalidades funcionam individualmente ou combinadas com outras, gerando respostas diferentes frente às necessidades estabelecidas.

Dois outros aspectos, também identificados nesta análise, necessitaram de uma escala mais aberta em termos de resposta: tempo para execução e recursos financeiros disponíveis. Optou-se que para o tempo, será necessário que o usuário sinalize se existe ou não urgência para realizar a materialização. Quanto aos recursos financeiros disponíveis para a materialização, estabeleceram-se três possibilidades: Pouco, Médio e Alto, evitando que as variações em valores da moeda corrente gerem a necessidade de modificar o sistema constantemente.

A partir das regras extraídas de cada caso apresentado nas seções 4.1.1 a 4.1.8, e agrupadas, é possível construir uma lista de respostas para a aplicação da Materialização Digital na fase de concepção de produtos, mediante a combinação e seleção de critérios supracitados.

Contudo, para que estas respostas possuam grau de confiabilidade maior, os resultados das entrevistas com especialistas da área de Fabricação Digital e Prototipagem também serão levados em conta. Desta forma, apresenta-se, a seguir, o resultado das referidas entrevistas.

#### 4.3 APRIMORAMENTO DOS CRITÉRIOS E REGRAS

Com o objetivo de aprofundar a construção dos critérios e o aprimoramento das regras construídas, foram realizadas entrevistas com especialistas pesquisadores de universidades brasileiras.

Para tanto, contou-se com os integrantes do Quadro 11 (sete equipes pertencentes à área da Arquitetura e Urbanismo e dois grupos da área do Desenho Industrial) e 12 integrantes do Desenho Industrial do Quadro 12, totalizando 21 grupos. Optou-se por excluir o MultiDesign da UFSC, do qual o pesquisador participa, restando, então, 20 grupos. Para a amostra final, adicionaram-se os 13 professores listados no Quadro 13, resultando em 33 possíveis entrevistados.

O convite para participar da entrevista se deu por e-mails, todos enviados a partir de 15 de agosto de 2016. À medida que respostas positivas eram recebidas, as entrevistas se realizavam. Esta etapa terminou em 16 de setembro do mesmo ano. Dos 33 convidados, nove não responderam ao e-mail e cinco negaram a participação por julgarem não atuar em campo aderente ao tema abordado. Obtiveram-se, portanto, 19 aceites no primeiro contato, mas ocorreram cinco desistências, sem motivo justificado, totalizando, ao final do processo, 14 entrevistas.

Na Figura 39, é apresentada a localização geográfica dos participantes desta etapa (três da região nordeste, oito do sudeste e três da região sul do país).

Figura 39 – Localização dos entrevistados



Fonte: do Autor.

O roteiro das entrevistas, apresentado no Apêndice C, foi desenvolvido de forma que todas ocorressem via vídeo conferência. Cada entrevista foi devidamente gravada com o software *Free Video Call Recorder for Skype*, com autorização prévia dos participantes. Sua duração variou entre 40 minutos e uma hora. Os entrevistados foram convidados a observar o relato das ações de Materialização Digital de cada ação aqui apresentada, ao final de cada caso, opinaram sobre os resultados e critérios adotados.

As primeiras questões eram sobre o conhecimento dos entrevistados a respeito dos processos de Materialização Digital abordados nesta tese (corte a laser, impressão 3D e usinagem por CNC) e as fases de desenvolvimento de produto. Todos declaram conhecer as técnicas citadas e também o processo de desenvolvimento de produto. Essas perguntas tiveram como objetivo deixar claro que a abordagem desta pesquisa limita-se à fase de concepção do processo de Design e também às técnicas de Materialização Digital utilizadas para realizar as ações de construção de *mock-ups*, modelos e protótipos.

Quando perguntados sobre os equipamentos disponíveis nos laboratórios onde atuam, dois entrevistados informaram ter acesso apenas a impressoras 3D, porem afirmaram conhecer e já ter trabalhado com Cortadora Laser e usinagem por CNC.

A seguir, no Quadro 14, apresenta-se a compilação das respostas, onde se indicam as situações em que o entrevistado concorda e não concorda com os critérios utilizados para a aplicação dos equipamentos e com os resultados obtidos na materialização em cada caso apresentado.

Quadro 14 – Respostas dos entrevistados quanto às ações apresentadas

entrevistado Casos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	C	C	C	C	C	C	C	C	N	N	C	C	N	C
2	C	C	C	C	C	C	C	N	C	N	C	C	C	C
3	C	C	C	C	C	-	C	C	C	C	C	C	C	C
4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
5	N	N	N	C	C	C	C	C	C	N	N	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	N	C
8	C	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C	C	C
9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
11	N	C	C	C	C	N	C	C	N	C	C	C	C	C

C - concorda

N - não concorda

Fonte: do Autor.

É possível visualizar no Quadro 14 que os casos 4, 6, 9 e 10 apresentaram concordância de todos os entrevistados quanto aos resultados e critérios utilizados. O caso número 3 foi considerado correto por 13 participantes, mas um entrevistado preferiu não opinar, pois não considerou que a imagem apresentada fosse suficientemente explicativa para compreender os resultados alcançados. O Caso número 8, obteve apenas uma discordância do Entrevistado 9 quanto à aplicação da Materialização Digital.

Já no Caso 2 a técnica utilizada foi considerada inadequada por dois participantes. Também, os Casos 1 e 11 tiveram três opiniões diferentes quanto à aplicação das técnicas apresentadas. Os dois Casos que mais tiveram discordância, quando apresentados, foram o de número 5, com cinco respostas negativas, e o Caso 7, com doze discordâncias.

Aqueles que não concordavam, indicavam qual processo seria mais adequado frente aos seus conhecimentos sobre as técnicas investigadas nesta pesquisa. Pode-se, desta maneira, estruturar o Quadro 15, que apresenta as indicações dos entrevistados nos casos de discordância.

Quadro 15– Sugestão dos entrevistados quanto aos processos apresentados

Caso	sugestão	sugestão													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Usinagem cnc									●	●			●	
2	Laser								▼		●				
3	Impressão 3D														
4	Impressão 3D														
5	Laser	●	▼	▼								●			
6	Impressão 3D														
7	Impressão 3D	■	▼	▼	■	■	■	■	▼	■	■	▼		■	
8	Usinagem cnc									■					
9	Impressão 3D														
10	Usinagem cnc														
11	Impressão 3D	▼					▼			▼					

Legenda    Impressão 3D ●    Laser ■    Usinagem cnc ▼

Fonte: do Autor.

Conforme as respostas sintetizadas no Quadro 15, observa-se no Caso 1 a sugestão dos três entrevistados que discordaram da técnica aplicada, unânime, sugerindo a aplicação da impressão 3D. Essa opinião foi baseada no custo, segundo o Entrevistado 9, afirmando que esta opção sairia mais barata que usar, evitando a produção de sobras. Os Entrevistados 10 e 13 comentaram que se poderia ajustar a escala para a impressão 3D e obter um modelo com acabamento superficial melhor, necessitando de menos tempo para o pós-processamento.

No Caso 2, a técnica utilizada foi o corte a laser, mas o Entrevistado 8 sugeriu usar, enquanto o Entrevistado 10 indicou o uso de impressão 3D. As justificativas foram baseadas na complexidade da forma.

O Quinto Caso foi avaliado pelo Entrevistado 1 e considerado ineficiente para realizar uma avaliação ergonômica em um modelo com escala reduzida, sendo muito mais interessante a avaliação formal, e, para isso, a impressão 3D daria um acabamento superficial com mais regularidade. Essa consideração foi corroborada pelo Entrevistado 11, principalmente no aspecto do acabamento superficial. Já a avaliação dos Entrevistados 2 e 3 indicaram o uso da usinagem na CNC. Na visão

desses entrevistados, deveria se fatiar a modelagem e usinar o material EPS.

No Caso 7 (contra baixo elétrico), de maior discordância relativa à aplicação da Impressão 3D, foi indicado pelos Entrevistados que por se tratar de um objeto de baixa complexidade (ângulos retos – simples extrusão) este poderia ser produzido sempre em escala real, aplicando a cortadora Laser ou usinando com a CNC. Ressalta-se a fala do Entrevistado 1, ao argumentar: “...dispensável, deveria cortar na laser em papelão na escala real e obter modelos mais interativos...”.

A fala transcrita desse Entrevistado reflete a opinião geral dos outros participantes, principalmente quando observada a complexidade do objeto materializado. Quanto à produção em escala reduzida do contra baixo, segundo os entrevistados, não teve função avaliativa do produto, e como a dimensão do objeto adequava-se as dimensões da Cortadora Laser, sua utilização seria rápida e eficiente neste caso.

A recomendação feita pelo Entrevistado 9 no Caso 8 é de utilização do corte a laser, seguido de um empilhamento de planos de MDF, resultando na altura final do produto. O principal motivo apontado foi o tempo de produção da cortadora laser, que seria mais ágil que a preparação e usinagem na CNC.

No último caso apresentado, o Caso 11, onde se obtiveram três respostas semelhantes, foi sugerido pelos entrevistados aplicar a usinagem por CNC, e o principal critério para alterar o processo seria a complexidade da forma.

Todos estes aspectos apontados pelos entrevistados serão, a seguir, considerados, gerando uma adaptação das regras do Protocolo propostas anteriormente.

#### **4.3.1 Ampliação das Regras**

Com a etapa de entrevistas realizada, foi possível fazer uma adaptação, com ampliações e exclusões, de algumas regras elaboradas nas ações relatadas nos itens 4.1.1 a 4.1.8. A seguir, apresenta-se como cada ação divergente pôde ser reavaliada.

##### **Caso 1**

- Se desejar um modelo com acabamento superficial Bom ou Muito Bom e menos de três dias de produção, deve-se utilizar a Impressão 3D.

Caso 2: Considera-se que foi adequado o uso da cortadora laser principalmente devido ao fato de ser baixa complexidade a forma.

Caso 5

- Se desejar visualizar a forma e um acabamento superficial Bom, deve-se utilizar a impressão 3D;
- Se o objeto tiver alta complexidade e desejar um acabamento superficial regular e for maior que 3 vezes o envelope da impressora, deve-se usinar na CNC com material EPS.

Caso 7

- Se o produto for de baixa complexidade e acabamento superficial ruim, deve-se utilizar a cortadora Laser com papel chumbo ou papelão;
- Se o produto for de baixa complexidade e acabamento superficial Bom, deve-se utilizar a usinagem CNC com MDF.

Além das regras adicionadas pelo resultado das entrevistas considerou-se relevante o comentário do Entrevistado 1, que argumenta a funcionalidade e a necessidade de se construir modelos interativos, aqueles que possam ser alterados pelo designer. Desta forma, foi adicionado mais um item ao Protocolo, especificamente sobre a finalidade: Modificar manualmente o objeto materializado.

Caso 8: Considera-se mais adequado o uso da CNC no caso estudado devido ao fato de ser uma peça única para a produção.

Caso 11

- Se o produto for de alta complexidade e acabamento superficial regular, deve-se utilizar a usinagem CNC com o material PU.

### **4.3.2 Comentários Finais do Capítulo**

Esta fase de coleta de dados gerou elementos para a estruturação das questões a serem usadas na entrevista (seção 4.3) com os 14 pesquisadores brasileiros das áreas de arquitetura e desenho industrial.

Essas duas fases da pesquisa também subsidiaram a identificação dos critérios necessários para a aplicação dos processos (corte a laser, impressão 3D e usinagem por CNC) e o estabelecimento de regras que serão utilizadas para o desenvolvimento do Protocolo.

Desta maneira, com estes elementos estabelecidos teve início a fase de estruturação do sistema a ser testado com profissionais da área do Design de produtos.

Esta fase de aprimoramento e geração de soluções para o sistema, bem como criação da sua *interface*, são apresentadas no próximo capítulo.



## 5 DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO

Neste quinto capítulo, apresenta-se a estrutura de combinações elaboradas para fornecer a resposta de qual processo da Materialização Digital é mais adequado frente às diversas situações e combinações de critérios desses equipamentos.

Esta proposta de Protocolo foi criada com base na revisão de literatura (Capítulo 2), na análise de ações realizadas no laboratório PRONTO 3D (Capítulo 4, na seção 4.1 até 4.2) e nas entrevistas (Capítulo 4, a partir da seção 4.3 até 4.3.1) realizadas com pesquisadores atuantes na área. O Protocolo de tomada de decisão aqui proposto foi desenvolvido e programado em uma plataforma eletrônica e posteriormente publicado em forma de um *website*. Sua estrutura e desenvolvimento digital são originários da complexidade e quantidade de combinações possíveis que o Protocolo proposto pode ter. Para viabilizar a execução dessa estrutura, optou-se por uma plataforma eletrônica.

### 5.1 ESTRUTURA DO PROTOCOLO

Objetivou-se criar um Protocolo de tomada de decisão cujo fluxo das informações gere sugestões frente às possibilidades da aplicação da Materialização Digital na etapa de concepção de novos produtos.

Dessa maneira, definiu-se a necessidade do usuário fornecer as informações das dimensões do objeto que deseja materializar, juntamente com as dimensões dos equipamentos disponíveis.

Levando-se em conta esses dados, estabeleceu-se uma regra para o limite máximo da dimensão adequada para a utilização da cortadora Laser e a impressora 3D. Para tanto, foi proposto o limite do tamanho do objeto a ser materializado em até três vezes o tamanho do envelope de impressão e também três vezes a área da cortadora Laser. Como a usinagem por CNC pode ser mais adequada a objetos com dimensões maiores, não foi estabelecido este parâmetro para a usinagem (Figura 41), decisão esta tomada frente a uma avaliação de tempo e custo de produção.

Com esta definição, o Protocolo estará apto a fornecer para o usuário a informação de quando será necessário seccionar o objeto, respeitando a viabilidade da materialização e o equipamento mais adequado a sua problemática, sendo inevitável a ação de se fazer a montagem em uma etapa de pós-processamento.

Decidiu-se elaborar uma tabela de hierarquização dos processos de Materialização Digital, combinando a complexidade da forma com os investimentos disponíveis e a urgência ou não da materialização. Esta tabela está apresentada nas Figuras 42 e 43, sendo possível observar todas as combinações. Essas alternativas, previamente hierarquizadas, recebem um primeiro filtro de resposta quando o sistema analisa as dimensões do objeto e os equipamentos disponíveis, liberando apenas as sugestões possíveis.

Para o Protocolo, foi estabelecida uma relação direta entre o nível de acabamento superficial e o material em que vai ser confeccionado o objeto, conforme a Tabela da Figura 44.

Dessa maneira o sistema constrói a informação que compõe parte da primeira resposta, elaborada pela combinação de possibilidades que será apresentada ao usuário.

Dentro do fluxo de informação, essa primeira resposta será avaliada com a finalidade sinalizada pelo usuário. Para cada finalidade definiram-se regras que estão intrinsicamente associadas ao objetivo da materialização (Figura 45) também ficou definido o estabelecimento de critérios de maior peso para cada finalidade, hierarquizando com grau de importância conforme listagem a seguir, já ordenada, sendo 1 o de maior importância e 7 o de menor importância.

- 1- Testar com usuários;
- 2- Testar mecanismos desenvolvidos;
- 3- Testar componentes em montagens;
- 4- Apresentar para clientes;
- 5- Apresentar para equipes de projetos;
- 6- Visualizar a forma;
- 7- Modificar manualmente o objeto materializado.

Essa hierarquia de importância foi determinada pelo nível de complexidade de cada finalidade. Assim, 'Testar com usuários' implica que a materialização deve ser realizada sempre na escala real, sendo este o critério de partida no sistema.

O segundo item da escala é 'Testar mecanismos desenvolvidos', porque implica no uso de equipamento que permita a realização de tal teste, minimizando critérios como tempo disponível e verba, por exemplo. Para contornar as possíveis compatibilidades entre necessidades e equipamentos disponíveis, ao final do processo, caso não haja solução que se adeque à demanda, o sistema oferta ao usuário a

solução ideal e aquela que se apresenta como melhor, dentre as que ele tem acesso.

Tal lógica de hierarquização se estende aos demais itens.

O Quadro 16 apresenta as finalidades que o usuário identifica como importantes na sua demanda, e, para cada uma delas, o sistema leva em conta regras relacionadas à sugestão que apresentará.

Quadro 16 – Regras para as finalidades da materialização

<b>Finalidade</b>	<b>Regra</b>
Testar com usuário	Sempre materializar em escala real
Testar mecanismos desenvolvidos	Prioridade por equipamentos com maior precisão
Testar componentes em montagens	Prioridade por equipamentos com maior precisão
Apresentar para clientes	Pode ser produzido em escala reduzida
Apresentar para equipe de projetos	Pode ser produzido em escala reduzida
Visualizar a forma	Pode ser produzido em escala reduzida
Modificar manualmente o objeto materializado	Utilizar materiais mais simples

Fonte: do Autor.

Para uma melhor visualização do sistema de funcionamento do Protocolo foi desenvolvida a Figura 40, esta apresenta a estrutura global que foi desenvolvida, estando os detalhes internos do sistema representados nas Figuras 41 até 45.

Essa imagem do macroprocesso objetiva explicitar como cada etapa se conecta para fornecer a resposta ao usuário. Nela, são ilustrados os pontos de conexões de dados de entrada, fornecidos pelo usuário com a tabela de combinações entre as complexidades da forma do produto, investimento financeiro disponível e a urgência da realização da materialização.

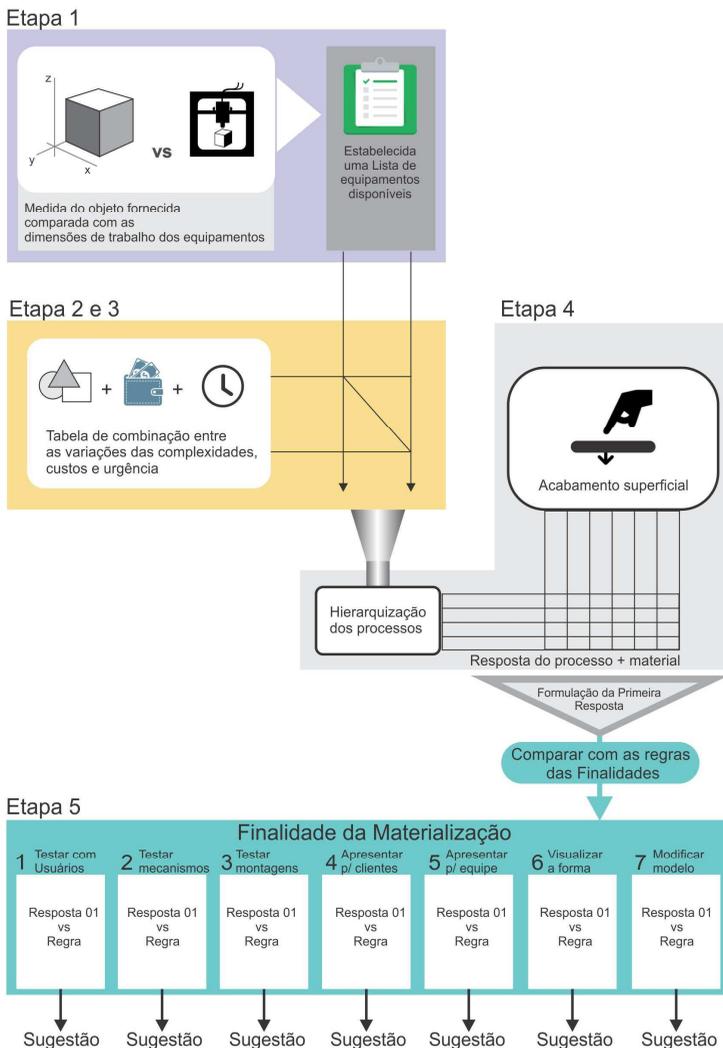
Na Etapa 1, está representado o microsistema de entrada de dados do usuário em relação ao dimensionamento do objeto e à definição dos equipamentos disponíveis.

As Etapas 2 e 3 geram duas tabelas pré-definida, combinando os fatores de complexidade da forma, investimento financeiro e urgência. Conforme a combinação desses três critérios, os processos de Materialização Digital serão hierarquizados. Essa informação é comparada com o resultado do processo da Etapa 1.

Assim, o sistema oferece uma classificação, por prioridade, dos processos sugeridos. O filtro seguinte, determinado pela Etapa 4, leva em conta o tipo de acabamento superficial.

Na Etapa 5 consideram-se as finalidades da materialização, sendo que cada uma delas possui regras claras e definidas, além de uma hierarquia de importância.

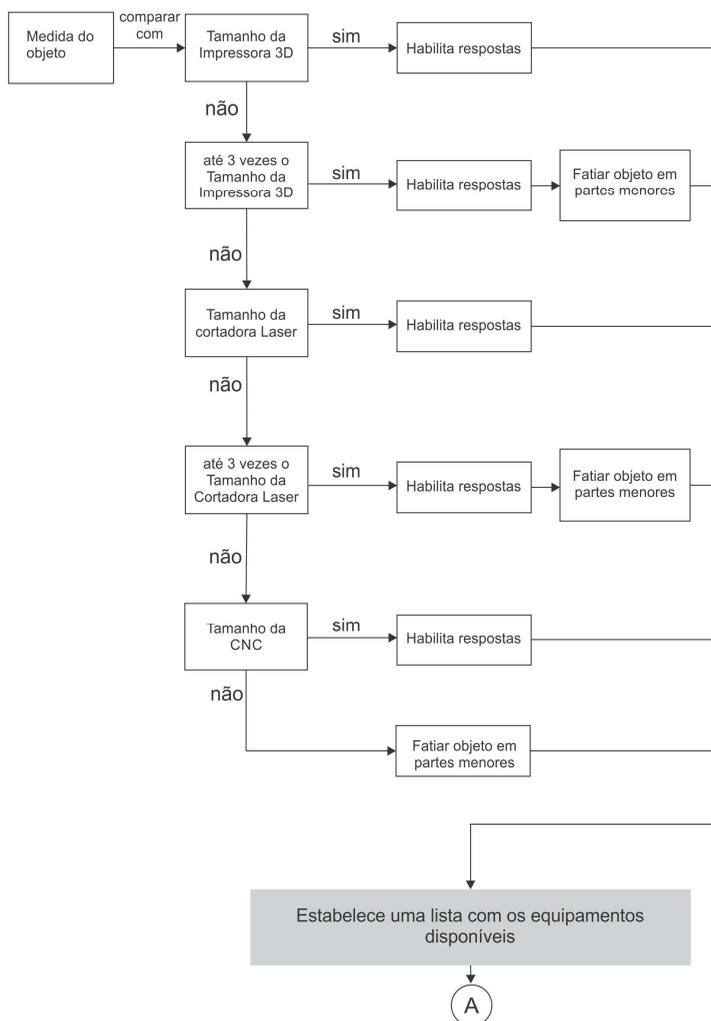
Figura 40 – Macro fluxo do Protocolo



Fonte: do Autor.

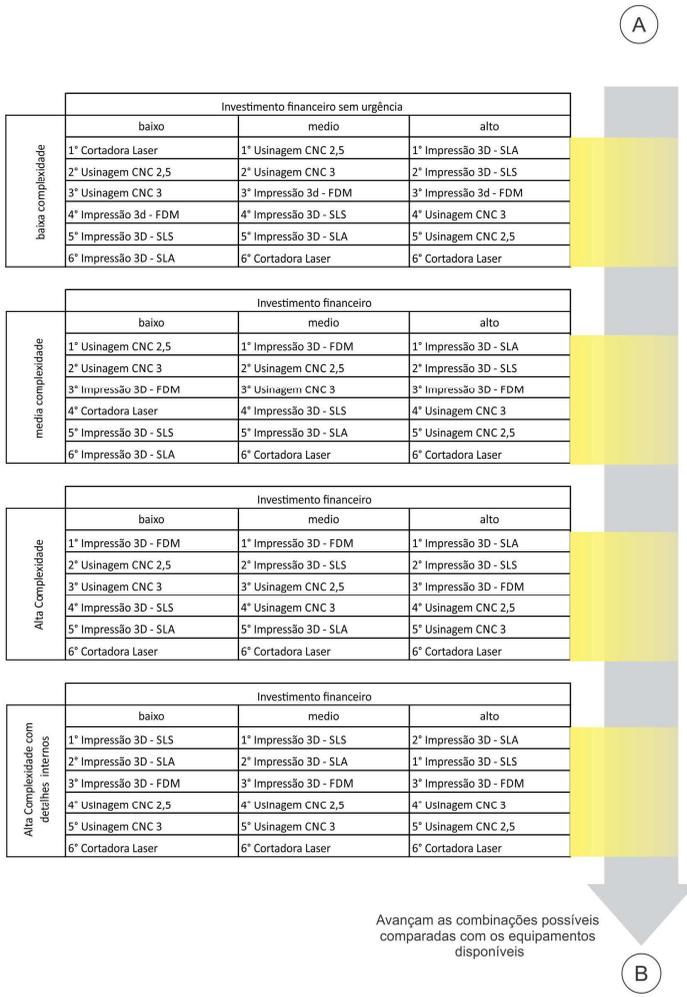
Para ilustrar os detalhes de cada etapa, foi desenvolvida uma sequencia detalhada das etapas nas Figuras 41 até 45. Nessas imagens, é possível acompanhar o fluxo de informação estruturado para o Protocolo.

Figura 41 –Fluxo do Protocolo Etapa 1



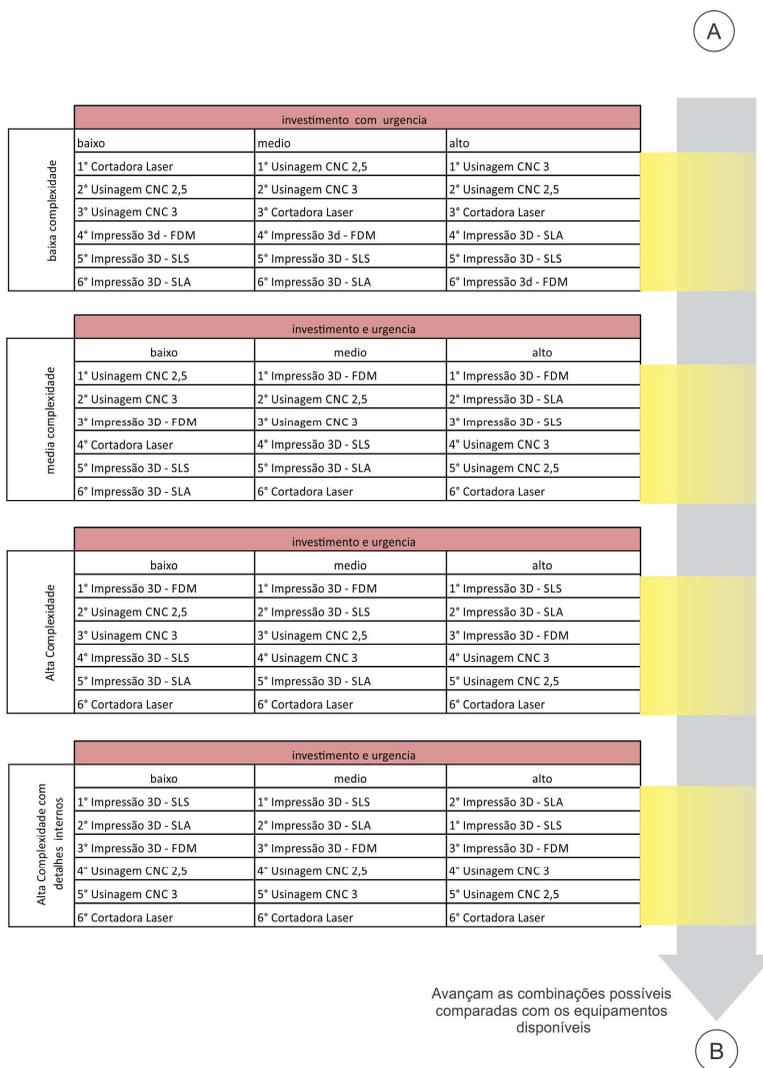
Fonte: do Autor.

Figura 42 - Fluxo do Protocolo Etapa 2



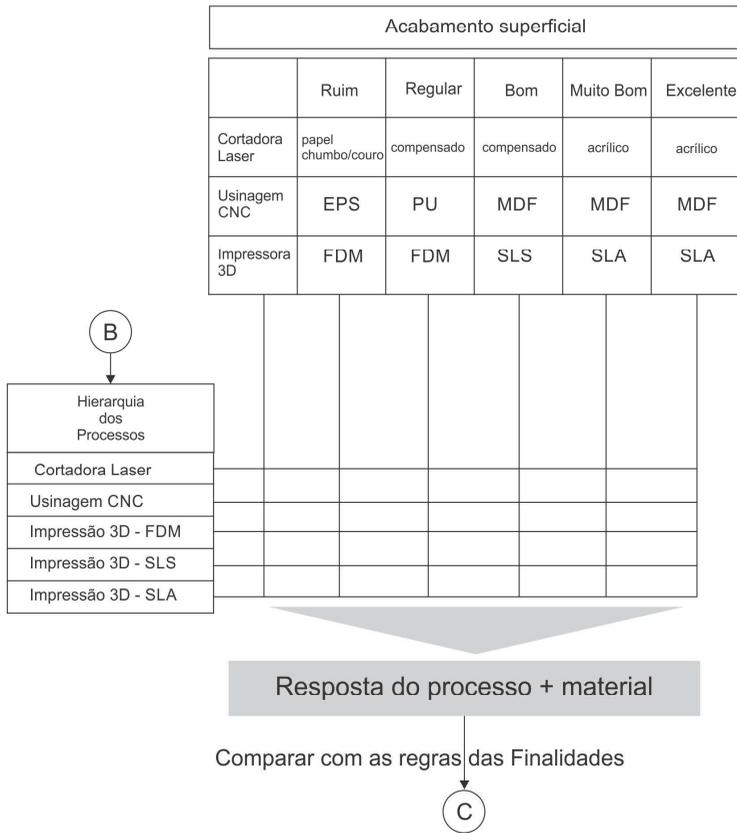
Fonte: do Autor.

Figura 43 –Fluxo do Protocolo Etapa 3



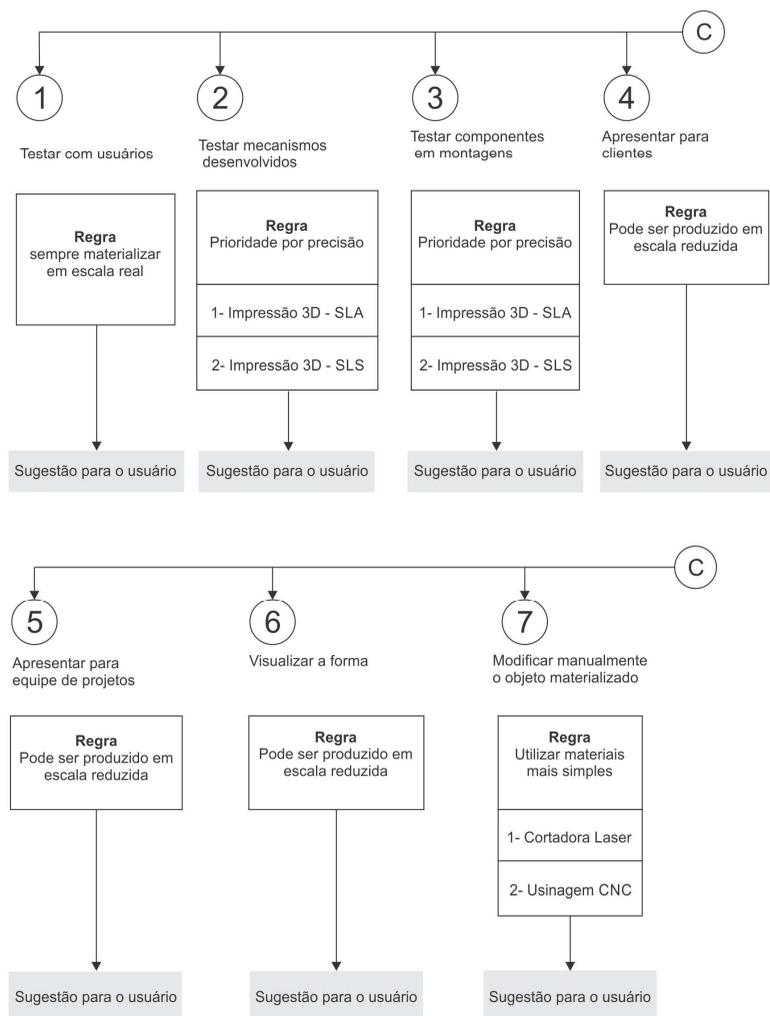
Fonte: do Autor.

Figura 44 –Fluxo do Protocolo Etapa 4



Fonte: do Autor.

Figura 45 –Fluxo do Protocolo Etapa 5  
Classificação de Importância das Finalidades



Fonte: do Autor.

A proposta estruturada e apresentada do Protocolo tem como objetivo dar uma sugestão coerente ao usuário do sistema, frente à aplicação dos processos de Materialização Digital. Essa estrutura foi

utilizada para fazer a programação, automatizando o processo de escolha visto que são inúmeras as combinações possíveis.

A seguir, será apresentada a *interface* gráfica criada para o Protocolo desenvolvido nesta pesquisa.

## 5.2 INTERFACE DO PROTOCOLO

Objetivou-se que a *interface* do Protocolo fosse o mais simples possível, pois este não é o foco principal desta pesquisa. Desta maneira, procurou-se gerar um fluxo contínuo na informação, tanto nos dados que são inseridos pelo usuário quanto nas opções de escolha das características do produto, acabamento superficial, finalidade, tempo e investimento financeiro disponível.

Definidas as informações do processo de escolha e a *interface* do Protocolo iniciou-se a programação do mesmo em uma plataforma digital. Foi adquirido um domínio na *web* com o nome de leopardpro.com.br para hospedar o site. Para programar o sistema foi contratado um profissional capacitado, devidamente creditado no Protocolo *on-line*.

O Sistema foi desenvolvido na linguagem de programação PHP (Hypertext Preprocessor). As possibilidades do PHP incluem geração de imagens, arquivos PDF e até animações, funcionando como o mediador entre o que o computador entende e o que o ser humano consegue escrever. O PHP pode gerar esses padrões e os salvar no sistema de arquivos, em vez de mostrá-los em tela, utilizado um servidor<sup>4</sup> onde são processadas as regras de negócio.

As regras de negócio definem como o seu sistema funciona, o Protocolo desenvolvido tem as regras expostas na Figura 41 até 45.

Posteriormente, o servidor envia uma resposta para o cliente utilizando HTML e Javascript, que são linguagem de visualização que o navegador processa para mostrar os elementos visuais do sistema.

Na Figura 46, apresenta-se a proposta da primeira etapa do Protocolo, o local que o usuário deve fornecer algumas informações que direcionaram as suas respostas. São elas as dimensões do objeto e dos equipamentos disponíveis. Foi inserido um botão para adicionar mais equipamentos caso as dimensões de trabalho sejam diferentes.

---

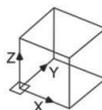
<sup>4</sup> Servidor é um computador na rede que espera por um pedido do cliente, quando um pedido é solicitado há uma entrada de dados, o mesmo então processa os dados, e retorna o resultado para o cliente.

Figura 46 –Interface Etapa 1

**1** Informe as dimensões totais de seu produto

Siga como referência a imagem para informar as medidas em "mm" de seu produto.

X ..... Y ..... Z .....



**2** Informe as dimensões dos equipamentos

Preencha com as informações dos equipamentos que você tem disponível (medidas em "mm"), não é necessário preencher todos os itens.

Cortadora a Laser

X ..... Y ..... Z .....

+ Adicionar

Impressora 3D | FDM

X ..... Y ..... Z .....

+ Adicionar

Impressora 3D | SLS

X ..... Y ..... Z .....

+ Adicionar

Impressora 3D | SLA

X ..... Y ..... Z .....

+ Adicionar

CNC Router 2,5 e 3

X ..... Y ..... Z .....

+ Adicionar

CNC4 Eixos

X ..... Y ..... Z .....

+ Adicionar

Fonte: do Autor.

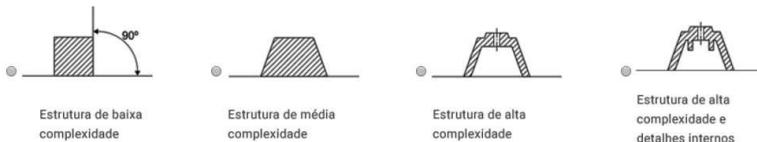
Na sequencia do Protocolo, o usuário deve selecionar as características do seu produto. Foi desenvolvida uma imagem pictórica que procura auxiliar na definição dessas características formais (Figura 47).

Figura 47 –Interface Etapa 2

**3** Características de seu Produto

É necessário informar as características do produto que se deseja materializar

## Forma do Objeto



## Nível de Acabamento da Superfície Desejável

- Ruim     
  Regular     
  Bom     
  Muito Bom     
  Excelente

Fonte: do Autor.

As últimas etapas do Protocolo foram divididas entre Finalidade da Materialização, Tempo disponível e Investimento financeiro. Ao término da seleção o usuário clica no botão enviar e sua resposta será apresentada. Ressalta-se que na finalidade da materialização pode-se selecionar apenas uma ou fazer diversas combinações entre elas (Figura 48).

Figura 48 –Interface Etapa 3

**4** Finalidade da materialização na fase de concepção

- Visualizar a formar
- Apresentar para a equipe de projetos
- Testar objetos com usuários
- Apresentar para clientes
- Testar componentes de montagens
- Testar mecanismos desenvolvidos
- Modificar manualmente o objeto materializado

**5** Tempo Disponível

- Não Urgente     
  Urgente

**6** Investimento Financeiro Disponível

- Baixo     
  Médio     
  Alto

ENVIAR

Fonte: do Autor.

Posterior aos ajustes de funcionamento realizou-se uma análise dos critérios utilizados pelo sistema e respostas sugeridas ao usuário.

Para essa atividade, optou-se por realizar um grupo focal com designers de produto com intuito de elencar elementos importantes advindos da visão destes profissionais, esta etapa da tese é apresentada na próxima seção.

### 5.3 AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO COM GRUPO FOCAL

Como critério de convite foi estabelecido que fossem designers de produtos e possuíssem mais de dois anos de experiência. Após a resposta positiva dos convidados foi encaminhado outro e-mail com uma atividade prévia (ver Apêndice F) a ser realizada individualmente, a qual subsidiou a discussão no grupo. O procedimento proposto englobava dois produtos óculos de sol e banheira de imersão, com descrição do contexto e da necessidade específica para realizar a materialização de cada produto. Solicitou-se que cada designer avaliasse a problemática e definisse os critérios que utilizaria para a tomada de decisão. Essa informação seria discutida no grande grupo.

Foi solicitado que após a realização desta primeira atividade, os participantes utilizassem o site [leopardpro.com.br](http://leopardpro.com.br), para resolverem a mesma problemática dos dois projetos apresentados. As anotações dos critérios utilizados por eles, e sugestões obtidas serviram de ponto de partida para a realização do grupo focal. A atividade do grupo focal (Figura 49), realizada no dia 21 de outubro de 2016, em uma sala cedida pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) na cidade de Joinville-SC, iniciou-se às 19 horas e contou com a presença de nove dentre os dez profissionais previamente confirmados. Um destes teve atraso de 30 minutos. Após a apresentação e leitura do TCLE (Apêndice E), foi solicitada a assinatura daqueles que concordassem. Todos o assinaram. Para gravar a reunião foram utilizados dois celulares com o aplicativo próprio de gravação de voz.

Figura 49 – Grupo Focal



Fonte: do Autor.

O Quadro 17 apresenta as características dos participantes desta atividade, sendo possível perceber que todos possuem mais de seis anos de atuação na área de projetos, chegando até a 35 anos.

Quadro 17– Características do Grupo Focal

	Tempo de atuação na profissão	Empresa	Expertise de atuação
Participante 01	35 anos	A+ Design	Produtos médicos e odontológicos
Participante 02	30 anos	Dirk Design	Utensílios domésticos/ embalagens/ eletrodomésticos
Participante 03	13 anos	Docol	Metais sanitários e acessórios de banheiro
Participante 04	11 anos	Whirlpool	Eletrodomésticos
Participante 05	9 anos	Fazdesign	Utensílios domésticos/ Embalagens
Participante 06	8 anos	CBDE (Centro Brasileiro de Design e Engenharias)	Projetos nauticos
Participante 07	6 anos	Luz e Forma	Produtos de Iluminação
Participante 08	6 anos	Stribus	Acessórios automobilísticos

Participante 09	6 anos	Whirlpool	Telecomunicação e eletrodomésticos
-----------------	--------	-----------	------------------------------------

Fonte: do Autor.

O início da conversa se deu pelo pesquisador, esclarecendo o tema da pesquisa, deixando claro que tem como objetivo identificar os critérios de tomada de decisão na fase de concepção do projeto de produto. Foram questionados se todos conheciam os processos de Materialização Digital e o Participante 02, interrogou sobre a diferença dos processos SLA e SLS. Esclarecida a dúvida, o pesquisador leu para o grupo a primeira atividade de materialização: óculos de sol.

### 5.3.1 Critério de seleção para o óculos de sol sem o Leopardpro

O Participante 03 foi o primeiro a informar os critérios que utilizaria na situação apresentada, fazendo um paralelo com a sua prática dentro da empresa. Afirmou que o principal critério de tomada de decisão é para quem vai ser apresentado o objeto materializado. Complementou a resposta informando que caso apresente para a equipe de projeto, com o intuito de validação da forma. O acabamento superficial não é um fator importante, procurando realizar a atividade com maior agilidade possível, mas caso o objetivo seja apresentar alternativas do produto para a diretoria, o acabamento superficial requer um maior cuidado, exigindo até mesmo uma pintura no modelo.

Dando continuidade ao assunto, o Participante 06, afirmou que pela sua experiência e realidade de mercado o fator **custo** é o primeiro critério de tomada de decisão. Complementou a resposta exemplificando que atuou com empresas de menor porte, com recursos limitados e pouco investimento em Design. Enfatizou que... “as empresas não veem esta fase (inicial) como uma fase natural e preferem gastar muito mais corrigindo lá na frente, do que investir durante o processo”... Dessa maneira, existe uma dificuldade de validar investimentos em *mock-ups*, existindo a necessidade de em muitas vezes o designer construir esses modelos à mão.

Sequencialmente, o Participante 04 retomou a atividade proposta do óculos de sol e afirmou que pela situação proposta na atividade encaminhada, o critério no qual utilizaria para decidir como materializar seria a utilização de um processo com **baixo custo e acabamento superficial** simplificado, pois a atividade solicitava validar as dimensões. Destacando ainda que deveria ser uma **ação rápida** de materialização.

Pela percepção do Participante 01 frente ao caso proposto, como o problema não especificava valores, a **complexidade formal** do óculos seria o principal critério; complementou que utilizaria um processo de impressão 3D SLS, obtendo uma peça com resistência estrutural para fazer **testes com usuários**.

O Participante 07 explicou que na situação proposta iria materializar apenas a armação do óculos, evitando a construção da lente e, ainda, avaliando a **complexidade da forma**, não realizaria essa materialização manualmente, aplicando um processo com menor tempo de pós-processamento. O Participante 05 complementou a resposta concordando com o participante anterior, e adicionando que para selecionar alternativas é necessário avaliar como critério o acabamento superficial desejado.

Seguindo a discussão, o Participante 09 apresentou seus critérios de maneira ordenada. Estabeleceu que para o óculos de sol seria necessário avaliar a **geometria** e o **material** do objeto, **custo e tempo** de produção envolvido para produzir cada peça.

O último a comentar quais critérios utilizaria para materializar a atividade 01 foi o Participante 02. Na sua percepção, selecionar alternativas, corresponde ao momento inicial do projeto do produto e tem que ser trabalhadas ainda muitas horas no projeto. Dessa maneira a sua decisão seria por um processo de **baixo custo e acessível** ao profissional. Comentou que utilizaria a Impressora 3D FDM, possibilitando validar as dimensões e selecionar as alternativas.

Em alguns momentos a discussão era direcionada pelos participantes para o relato de suas práticas e experiências dentro das empresas. Destaca-se aqui a fala do Participante 04 que comenta assim. “... como é a minha realidade no dia a dia, como é feita a demanda de um protótipo. Joga o modelo 3D para a área de protótipo e falo cara eu preciso desse acabamento aqui, é isso, nem defino o processo... ”. Ressalta-se também o comentário do Participante 01 quanto à importância da materialização, ele expressa-se destacando: “O cliente fica maravilhado no momento que vê o 3D do produto, com o giro do objeto modelado na tela do computador, mas ele não tem a noção do tamanho do objeto e para isso o modelo responde a aplicação”.

Na primeira fala transcrita, pode-se refletir sobre o afastamento do designer da área de prototipagem e manufatura, deixando a cargo de terceiros este processo que traz respostas e solução de problemas.

E o segundo relato mostra como a materialização, ainda que exista um avanço tecnológico de software 3D, carrega uma carga de importância para o processo de Design de produtos. Essas duas falas

obtidas nesta fase da pesquisa corroboram com a justificativa inicial desta tese, evidenciando a pertinência do tema.

No que diz respeito aos critérios de tomada de decisão expostos pelos participantes do grupo focal, não foi mencionado nenhum outro aspecto relevante que pudesse ser usado como nova regra ou alteração daquelas usadas.

A seguir, descrevem-se as opiniões geradas a partir do uso do Protocolo desenvolvido.

### **5.3.2 Critério de seleção para o óculos de sol com o Leopardpro**

Quando iniciada a etapa de discussão sobre a utilização do site leopardpro, os designers não se preocuparam se os critérios que cada um selecionou fosse igual ou próximo daquele anotado por outro participante. A atividade tomou um rumo de sugestões e opiniões para deixar o sistema mais amigável ao uso.

Cada integrante da atividade procurou mencionar aquilo que não ficou claro e de que maneira poderia ser corrigido o processo de seleção dos critérios já identificados no sistema.

Desta maneira, a seguir serão apresentados os pontos mais destacados pelo grupo.

O principal aspecto apontado por todos que estavam presentes, foi a necessidade do sistema ser mais didático. O termo didático adotado pelo grupo se referia à necessidade do site possuir mais imagens explicativas nos critérios apresentados, principalmente quando o usuário seleciona o tipo de acabamento. Seria relevante, na opinião do grupo, ter exemplos de tipos e características dos acabamentos de cada processo e material que são empregados na materialização abordada pelo sistema desenvolvido.

Foi recomendado também o uso de vídeos, mostrando exemplos dos processos com o intuito de auxiliar a compreensão das atividades que o Protocolo se dispõe a trabalhar.

No item Finalidade da materialização, ficou clara a possibilidade de selecionar mais de um item, porém recomendaram que para cada um deles devesse existir um texto descritivo do assunto, auxiliando aqueles que não têm experiência quanto ao uso dos processos de Materialização Digital.

Existiu consenso quando um participante comentou que apenas a sugestão da aplicação do processo não é suficientemente completa para quem utiliza o Protocolo. O leopardpro deveria gerar um relatório, passível de impressão e que indicasse os itens que foram anotados e

possibilidades de materialização sugeridas; este relatório poderia conter ainda uma descrição do processo indicado para a situação.

Neste sentido, destaca-se a fala do Participante 06: “Conheço os processos e a resposta recebida era o que eu tinha imaginado como correta, não foi novidade. Eu queria algo a mais... deveria aparecer o custo de quanto vai ser a utilização desse processo”.

Existiu a sugestão das respostas estarem condicionadas a uma listagem de possíveis empresas ou FabLabs que oferecem serviços de materialização, ou até mesmo listar empresas que produzem os equipamentos como Cortadoras a Laser e Impressoras 3D.

O Participante 09 sugeriu que no site leopardpro fosse possível fazer o *Upload* (inserir) do arquivo modelado em um software 3D para assim, fazer uma análise mais completa sobre a geometria do arquivo e desta maneira ter uma resposta mais precisa acerca a aplicação dos equipamentos destinados à Materialização Digital.

Quanto ao item tempo disponível, foi sugerida pelo grupo a possibilidade de utilizar uma escala em dias ou semanas.

### **5.3.3 Critério de seleção para banheira de imersão**

Dando continuidade à atividade, foi reiniciada a discussão sobre os critérios aplicados pelos participantes para realizar a segunda atividade de materialização proposta: banheira de imersão.

Inicialmente o Participante 05, comentou que para avaliar as dimensões seria obrigatório realizar em escala real a materialização e acrescentou que optaria por um modelo com um acabamento superficial de qualidade. O Participante 01 concordou com o critério de dimensão, que deveria ser realizado o modelo em escala 1:1 (real).

Na percepção do Participante 02, essa materialização poderia também proporcionar uma avaliação de usabilidade, verificando a interação do usuário e dimensões do objeto.

Esse aspecto relatado corrobora a regra estabelecida no sistema do site proposto, no momento que o usuário selecionar a finalidade ‘Testar com usuários’. O mecanismo de raciocínio irá informar ao usuário a obrigatoriedade de se materializar em escala real o produto.

O Participante complementou as opiniões acrescentando que avaliaria a dimensão do equipamento disponível para essa atividade.

O raciocínio estabelecido no sistema leopardpro utiliza esses princípios para sugerir uma melhor ação quanto aos processos disponíveis para o usuário do site.

Foi questionado pelo pesquisador se existia mais algum critério de tomada de decisão nesta atividade da banheira de imersão, e todos chegaram ao consenso que os critérios para se realizar a materialização do objeto proposto seriam a **dimensão do objeto**, o fator principal, e depois seria avaliado o nível de acabamento desejado. Este caso proposto não gerou tantas discussões como a anterior. Deu-se continuidade à atividade de grupo focal, objetivando analisar a aplicação do site leopardpro para este problema específico.

Visto que já se havia conversado sobre o site, alguns tópicos citados no item 5.3.2 foram retomados.

O Participante 04 enfatizou que seria útil caso ele estivesse realizando um projeto para um cliente e recorresse ao site, podendo usufruir da informação fornecida pela definição dos critérios aplicados; desta maneira seria relevante um auxílio na busca por empresas que pudessem oferecer o serviço indicado. Neste momento, foi novamente enfatizado a necessidade de se ter um relatório mais amplo sobre os processos.

Os designers participantes deste grupo focal informaram ter realizado outras experimentações no sistema e afirmaram que as sugestões se mostraram coerentes com os critérios selecionados.

Foi, também, elogiado o sistema quando eram obtidas algumas respostas que recomendavam fatiar o objeto e a aplicação dos materiais que possam ser utilizados para a materialização.

#### **5.3.4 Considerações sobre a atividade com o grupo focal**

Esta fase da pesquisa teve como objetivo avaliar o Protocolo desenvolvido e estruturado no site leopardpro.com.br. Resultados desta pesquisa, emergidos da literatura científica e da experiência de docentes, foram confrontados com o olhar mercadológico dos profissionais da área de projeto de produtos. Dessa prática procurou-se extrair experiências e verificar a adequabilidade dos critérios de seleção identificados anteriormente em conjunto com a aplicabilidade do sistema elaborado.

O uso de grupo focal para avaliar o Protocolo se mostrou um procedimento adequado já que possibilitou uma discussão sobre o tema da tese, reflexões sobre as experiências e dificuldades relatadas pelos participantes, bem como identificação de alguns anseios e contribuições para o site leopardpro. Essa oportunidade de discussão com profissionais trouxe novas perspectivas para a pesquisa desta tese, podendo-se

vislumbrar o Protocolo como uma ferramenta de auxílio a usuários com maior ou menor experiência,

Destacam-se, a seguir, sugestões apontadas pelo grupo:

- A utilização de mais imagens;
- Utilização de vídeos demonstrativos;
- Exemplos dos níveis de acabamento superficial;
- Possibilidade de impressão de um relatório das sugestões e critérios selecionados;
- Comparativo de tempo e custo dos processos;
- Software 3D incorporado no sistema para análise da geometria da peça a ser prototipada;
- Direcionamento e sugestão por meio de hiperlinks a Laboratório ou empresas de prototipagem.

Estes elementos indicam a possibilidade de evolução do sistema criado, até porque o objetivo desta pesquisa não se foca em aspectos de *Interface*. Todas as sugestões são relevantes para o desenvolvimento de novos estudos, a partir dos resultados gerados por esta tese.

Ressalta-se que os critérios de tomada de decisão identificados nos casos do Laboratório PRONTO 3D, corroborados e ampliados com as 14 entrevistas dos docentes de universidades, foram aceitos pelos nove participantes deste grupo focal. Também, as sugestões oferecidas pelas combinações dos critérios não foram desqualificadas. Contudo, sobre a ótica desses profissionais, a *interface* deve ser melhorada e evoluída, juntamente com a maneira de se oferecer as sugestões de aplicação dos processos de Materialização Digital.

## 6 CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve por finalidade identificar e hierarquizar os critérios necessários e prioritários na seleção das tecnologias e materiais apropriados para a construção de modelos físicos na etapa de conceituação do processo de desenvolvimento de produto.

Para isso, uma análise das metodologias projetuais na área da Engenharia e Design contribuiu para gerar um panorama das formas como vem sendo usada à materialização na geração de *mock-ups*, modelos e protótipos. Salienta-se que os resultados desse estudo podem ser aplicáveis as outras etapas de materialização do processo de desenvolvimento de produtos.

Assim, foi possível estabelecer uma abordagem coletiva dos três principais momentos: Informacional, Conceitual e de Detalhamento, mostrando que existe o consenso de que à medida que as fases vão avançando os riscos vão diminuindo. A partir desta percepção, o presente estudo recomenda que a utilização de modelos físicos seja feita já nas fases iniciais, com materiais mais simples.

Levando em conta as diferenças conceituais entre *mock-ups*, modelos e protótipos, bem como as principais funções de cada tipo de materialização, foram estudados os tipos de processos de Materialização Digital com potencial para contribuir efetivamente na fase de conceituação do processo de Design, sendo identificada a cortadora laser, a impressão 3D e a usinagem com CNC como as mais adequadas nesta ótica.

A partir da sistematização dos critérios de tomada de decisão observados em oito projetos realizados no laboratório PRONTO 3D de Florianópolis-SC, confrontados com a revisão de literatura, foram construídas regras específicas para a tomada de decisão relativa ao processo de Materialização Digital mais adequado às diversas demandas possíveis. Tais regras tiveram como base os critérios identificados como mais importantes, considerando as possíveis necessidades: visualização da forma, apresentação para a equipe de projetos, testagem do objeto com usuário, apresentação para clientes, testagem de componentes em montagens e/ou de mecanismos desenvolvidos. Também foram levados em conta o tempo para execução e os recursos financeiros disponíveis.

O Protocolo desenvolvido de acordo com tal metodologia foi aperfeiçoado a partir da visão de 14 pesquisadores de universidades, gerando a adaptação de algumas regras e a inclusão de um novo critério (modificação do objeto materializado). Três importantes resultados deste estudo apontaram que: a cortadora laser é mais adequada para

realizar a materialização de produtos com menor complexidade formal, variando a aplicação de materiais como o papel e o acrílico; as impressoras 3D oferecem versatilidade quanto ao uso, sobretudo para objetos com alta complexidade formal, contudo deve-se evitar impressões maiores que três vezes o volume de trabalho da impressora; e a flexibilidade de aplicação da usinagem com CNC também se adequa à construção de objetos de grande porte.

A partir dos resultados, foi desenvolvido um Protocolo para auxiliar designers de produto na tomada de decisão relativa à aplicação da Materialização Digital na fase de concepção do desenvolvimento de produto. Este Protocolo passou por uma avaliação da sua funcionalidade dos critérios adotados e das sugestões oferecidas ao usuário. Esta etapa da pesquisa se baseou nos resultados de um grupo focal composto por nove designers de produtos, todos com mais de seis anos de experiência profissional na área de projetos. Confirmou-se a adequação dos critérios utilizados no Protocolo, bem como as respostas oferecidas pelo mesmo aos usuários.

A partir dos dados obtidos e analisados, este estudo destacou que o momento de construção de objetos físicos sempre ofereceu respostas projetuais aos profissionais da área de Design. E atualmente quando aplicada a Materialização Digital na fase de concepção de produtos, selecionando os critérios corretos, mais rápida será a localização de problemas formais, ergonômicos e funcionais do produto, com um custo adequado a situação.

Esta pesquisa contribui com designers de produto, facilitando a tomada de decisão para aplicar a Materialização Digital, isso é possível na medida que foi identificado os critérios desejados e assim estabelecido sugestões para a utilização dos processos técnicos.

Ressalta-se que a materialização de um objeto constituído de diversas partes pode ser realizada aplicando técnicas diferentes, sendo esta decisão a ser tomada pelo designer, separando em partes ou construir de maneira única.

Como sugestões para futuros trabalhos, estabelecem-se alguns pontos do Protocolo que foram identificados no grupo focal como passíveis de aprimoramento: a *interface* do site desenvolvido, a utilização de mais imagens em cada critério de seleção, vídeos explicativos dos processos, a inserção de exemplos ilustrando diferentes tipos de acabamentos superficiais obtidos com os possíveis processos e materiais, a utilização de software que analise a complexidade geométrica do objeto, e, por fim, a apresentação e o direcionamento para empresas que possam oferecer os serviços de Materialização Digital.

Pode-se ainda determinar com maior precisão as escalas das variáveis custo e tempo.

Destaca-se também a possibilidade de testar o uso de redes neurais artificiais na construção do motor de análise proposto neste estudo. Sugere-se, finalmente, o estudo dos impactos da aplicação da estrutura proposta nesta pesquisa, quando a aplicação da Materialização Digital é usada em outras fases do processo de desenvolvimento de produto.

## REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, Manoel Guedes. **Metodologia de Design Mediada Por Protótipos**. Baurú: UNESP 2014. 460 p. Tese (Doutorado)-Programa de pós-graduação em Design Universidade Estadual Paulista, Bauru 2014.

ALLÓ, Letícia Dias. **Design de um Contrabaixo Elétrico e aplicação da prototipagem 3D**. 2015. 108 f. Projeto de Conclusão de Curso – Curso de Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

ALVARADO, R.G; BRUSCATO, U.M. **Evaluación de Experiencias de Fabricación Digital en la Enseñanza de Arquitectura**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ICBL, 3.,2009, Florianópolis. **Anais**.Florianópolis: UFSC, 2009.

ALVES, Nuno M.; BÁRTOLO, Paulo J. Integrated computational tools for virtual and physical automatic construction. **Automation in Construction**, v. 15, n. 3, p. 257-271, 2006.

ANKARBRANTH, C., MÅRTENSON, M., **Strategy for using Prototypes in the Product Development Process**. *Master of Science Thesis*.Department of Technology Management and Economics. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gothenburg, Sweden, 2013.

ARAYICI, Yusuf. An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. **Automation in Construction**, v. 16, n. 6, p. 816-829, 2007.

ASANOWICZ, Aleksander. Evolution of Computer Aided Design: three generations of CAD. In: **seventeenth conference of Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, Liverpool, Sept. 1999**.

ASHLEY, Steven. Rapid-response design. **Mechanical Engineering**, v. 119, n. 12, p. 72, 1997.

ASIMOW, Morris. **Introdução ao projeto: fundamentos do projeto de engenharia**. Editora Mestre Jou, 1968.

BACK, Nelson *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. Edgard Blucher, 2000.

BONSIEPE, Gui. **Teoria y práctica del diseño industrial: elementos para una manualística crítica**. Gustavo Gili, 1978.

\_\_\_\_\_. **Design como prática de projeto**. São Paulo: Blucher, 2012.

BORDEGONI, M., FERRISE, F., e LIZARANZU, J. **Use of Interactive Virtual Prototypes to Define Product Design Specifications: a Pilot Study on Consumer Products**. IEEE International Symposium on Virtual Reality Innovation, 2011 19-20 March, Singapore.

BORILLE, Anderson et al. Applying decision methods to select rapid prototyping technologies. **Rapid Prototyping Journal**, v. 16, n. 1, p. 50-62, 2010.

BROWN, Tim. **Design thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

BÜRDEK, B. E. **Design: História, teoria e prática do design de produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

BUSWELL, Richard A. et al. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 224-231, 2007.

BYUN, H. S.; LEE, K. H. A decision support system for the selection of a rapid prototyping process using the modified TOPSIS method. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 26, n. 11-12, p. 1338-1347, 2005.

CABRAL, Marcelo Eduardo. **Proposta de um Veículo Supercompacto de Baixo Custo**. 2014. 111 f. Projeto de Conclusão de Curso – Curso de Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CANCIGLIERI JUNIOR, Osiris; SELHORST JUNIOR, Aguilar; SANT'ANNA, Ângelo Márcio Oliveira. Método de Decisão dos processos de Prototipagem Rápida va Concepção de novos produtos. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 2, p. 345-355, 2015.

CARNIEL, Denize; AYMONE, José Luís Farinatti. Design Virtual de Produtos através de um Aplicativo de Banco de Dados. **Design & Tecnologia**, v. 1, n. 01, p. 113-125, 2010.

CELANI, Gabriela. **Prototipagem Rápida e Fabricação Digital para Arquitetura e Construção**: Definições e Estado da Arte no Brasil. Campinas: Unicamp, 2008.

CHANDRASEGARAN, Senthil K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-aided design**, v. 45, n. 2, p. 204-228, 2013.

COSTA-NETO, Waldo Luis et al. Tecnologias de Fabricação Digital para o Desenvolvimento de Artefatos Responsivos. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 3, p. 65-69, 2015.

FERREIRA, J. C., SANTOS, E., MADUREIRA, H., & Castro, J. (2006). Integration of VP/RP/RT/RE/RM for rapid product and process development. **Rapid Prototyping Journal**, 12(1), 18-25.

FERROLI, Paulo Cesar Machado; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Uso de modelos e protótipos para auxílio na análise da sustentabilidade no Design de Produtos. **Revista GEPROS**, v. 7, n. 3, p. 107, 2012.

FIALHO, Francisco Antonio Pereira; BRAVIANO, Gilson; SANTOS, Neri. **Métodos e técnicas em ergonomia**. Edição dos Autores, 2005.

FIGUEIREDO, André César; ROMEIRO, Eduardo. As práticas de sistemas CAD e sua contribuição: um survey na indústria metal-mecânica mineira. **Revista Produção**, v. 21, n. 2, p. 344-354, abr./jun. 2011.

FLORIO, Wilson; TAGLIARI, Ana. O uso de cortadora a laser na fabricação digital de maquetes físicas. **Anais Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital**. 2008. p. 256-263.

FRIEDEL, Robert; LIEDTKA, Jeanne. Possibility thinking: Lessons from breakthrough engineering. **Journal of Business Strategy**, v. 28, n. 4, p. 30-37, 2007.

GERBER, Elizabeth; CARROLL, Maureen. The psychological experience of prototyping. **Design studies**, v. 33, n. 1, p. 64-84, 2012.

GERHARDT T.E. e SILVEIRA, D.T; **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

\_\_\_\_\_. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2010.

GORNI, A. A. Prototipagem rápida: o que é, quem faz e por que utilizá-la. **Revista do Plástico Industrial**. São Paulo: Aranda Editora. Ano III, N° 31, março, p. 230-239, 2001.

GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. **Digital materiality in architecture**. Baden: Lars Müller Publishers, 2008.

HOLMQUIST, Lars Erik. Prototyping: Generating ideas or cargo cult designs? **Interactions**, Março-abril, p. 48-54, 2005.

KENDALL, K. E.; KENDALL, J. E. **Análisis y diseño de sistemas**. México: Prentice-Hall, 1991. 881p

KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: **Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC**. 2007.

LAKATOS, Eva M. E MARCONI, Maria de Andrade. **Metodologia do Trabalho Científico** /4 ed-São Paulo. Revista e Ampliada. Atlas, 1992.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 5 ed-  
São Paulo: Atlas, 2003.

LAN, Hongbo. Web-based rapid prototyping and manufacturing systems: a review. **Computers in Industry**, v. 60, n. 9, p. 643-656, 2009.

LIOU, F. W. **Rapid Prototyping and Engineering Applications**. 1st Edition. New York: CRC Press Taylor and Francis Group, 2008.

LÖBACK, B. **Desenho industrial: bases para a configuração de produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

MACARRÃO, Leonardo Junior. **Importância do Uso de Mock-Ups e de Técnicas de Prototipagem Rápida e Ferramental Rápido no Processo de Desenvolvimento de Produto na Indústria Automotiva**. São Paulo, USP 2003. Dissertação (mestrado profissional engenharia automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2003.

MAHR, Dominik; LIEVENS, Annouk. Virtual lead user communities: Drivers of knowledge creation for innovation. **Research Policy**, v. 41, n. 1, p. 167-177, 2012.

MARCH, J.G; SIMON, H.A. **Teoria das organizações**. Rio de Janeiro: FGV, 1966. 313p.

MAROPOULOS, Paul G.; CEGLAREK, Darek. Design verification and validation in product lifecycle. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 59, n. 2, p. 740-759, 2010.

McGEE, James; PRUSAK, Laurence. **Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica**. Tradução de Astrid Beatriz de Figueiredo. Rio de Janeiro: Elsevier, 1994.

MEDEIROS, Ivan Luiz et al. Prototipagem Rápida e Design de Produto Assistivo. **Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 4, p. 2468-2478, 2014.

MEDEIROS, Ivan L. et al. Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. **InfoDesign: Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 12, n. 1, 2015

MORRIS, R. **Fundamentos do design de produto** – Porto Alegre. Bookman, 2010.

MOZOTA, Brigitte; Borja de. **Gestão do Design**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem as coisas**. Tradutor Jose Manuel de Vasconcelos. – São Paulo: Martins Fontes, 1998.

OLIVEIRA, Maria. **Um Método para obtenção de indicadores visando a tomada de decisão na etapa de concepção do processo construtivo: A percepção dos principais intervenientes**. Porto Alegre, 1999. Tese (Doutorado). Universidade do Rio Grande do Sul. Programa de pós-graduação em Administração. Porto Alegre, 1999.

ORCIUOLI, A. Marcenaria Digital: design e fabricação sustentável. **Anais Congresso SIGRADI - Fortaleza 2012**.

OSTERHUIS, K. **File to Factory and Real Time Behavior in ONLArchitecture**. 2005. Disponível em: <Http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=457>

PAHL, G. *et al.* **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PARK, Hyungjun; MOON, Hee-Cheol; LEE, Jae Yeol. Tangible augmented prototyping of digital handheld products. **Computers in Industry**, v. 60, n. 2, p. 114-125, 2009.

PARK, YoungWon; FUJIMOTO, Takahiro; HONG, Paul. Product architecture, organizational capabilities and IT integration for competitive advantage. **International Journal of Information Management**, v. 32, n. 5, p. 479-488, 2012.

PAZMINO, Ana Veronica; PUPO, Regiane; MEDEIROS, Ivan; "MODELOS DE DIVERSAS FIDELIDADES NO PROCESSO DE DESIGN INTERATIVO", p. 1136-1143 . In:**Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [= Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014.

PUPO, R. T. **Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil**: definições e estado da arte. Campinas: UNICAMP 2009. 259 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Capinas, 2009.

\_\_\_\_\_. **A Prototipagem Rápida e a Fabricação Digital: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. Campinas: [s.n.], 2011.

RIGHI, T. e CELANI, G. Tecnologias de displays interativos no processo de projeto arquitetônico. **Anais Congresso SIGRADI – Cuba 2008**.

RODGERS, Paul; BRODHURST, Libby; HEPBURN, Duncan (Ed.). **Crossing Design Boundaries: Proceedings of the 3rd Engineering & Product Design Education International Conference**, 15-16 September 2005, Edinburgh, UK. CRC Press, 2005.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

RYBERG, Maria Candelária; STORCHI, Maurício; PUPO, Regiane; MEDEIROS, Ivan de; "A fabricação digital como ferramenta de processo de projeto: conectando design e arquitetura", p. 153-160 . In: . São Paulo: Blucher, 2015.

SALES, Rosemary; RIOS, Igor Goulart Toscano. Design para Experiência e Customização em Massa. **Anais P&D Design 2012**.

SASS, Larry; OXMAN, Rivka. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 325-355, 2006.

SAUER, Jürgen; SEIBEL, Katrin; RÜTTINGER, Bruno. The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. **Applied ergonomics**, v. 41, n. 1, p. 130-140, 2010.

SAURA, Carlos Eduardo. **Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SELHORST Jr., Aguilar.; CANCEGLIERI Jr, Osiris . Análise Comparativa entre os Processos de Prototipagem Rápida por Deposição ou Remoção de Material na Concepção de Novos Produtos. In: **4o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2007**, Estância de São Pedro/SP/ BR. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (4 : 2007 :Estância de São Pedro), 2007.

SELHORST Jr., A. **Análise Comparativa entre os Processos de Prototipagem Rápida na Concepção de Novos Produtos: um estudo de caso para a determinação do processo mais indicado.** 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

SIMON, Herbert Alexander. **Administrative behavior.** New York: Free Press, 1965.

SOKOVIC, M.; KOPAC, J. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 175, n. 1, p. 398-403, 2006.

SOUZA, Adriano Fagali de; COELHO, Reginaldo Teixeira. Tecnologia CAD/CAM-Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. **XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção-Ouro Preto, MG**, 2003.

STAPPERS, Pieter Jan et al. Designing for other people's strengths and motivations: Three cases using context, visions, and experiential prototypes. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n. 2, p. 174-183, 2009.

SUN, Jin et al. Template-based framework for nasal prosthesis fabrication. **Rapid Prototyping Journal**, v. 19, n. 2, p. 68-76, 2013.

TAKAGAKI L.K; **Tecnologia de Impressão 3d.** Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n.2, p.2840, jul./dez.2012.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** Atlas, 1987.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. **Product design and development.** 5st Edição McGraw-Hill, 2012.

VAYRE, Benjamin; VIGNAT, Frédéric; VILLENEUVE, François. Designing for additive manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 3, p. 632-637, 2012.

VERLINDEN, Jouke; HORVÁTH, Imre. Analyzing opportunities for using interactive augmented prototyping in design practice. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 23, n. 03, p. 289-303, 2009.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

WILLMANN, Jan et al. Digital by material. In: **Rob| Arch 2012**. Springer Vienna, 2013. p. 12-27.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

YOUMANS, Robert J. The effects of physical prototyping and group work on the reduction of design fixation. **Design Studies**, v. 32, n. 2, p. 115-138, 2011.

ZENG, Yong; HORVÁTH, Imre. Fundamentals of next generation CAD/E systems. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 10, p. 875-878, 2012.

## GLOSSÁRIO

Fabricação Digital – Este termo designa a utilização de equipamentos como a cortadora laser, impressora 3D e usinagem com CNC para a fabricação de peças ou objetos finais customizados. Podendo ser aplicados também para a prototipagem, utilizando fonte de dados gerados por um sistema CAD/CAM

Materialização Digital – referente a aplicação dos equipamentos de corte a laser, impressão 3D e usinagem com CNC para a produção de *mock-ups*, modelos e protótipos.

*Mock-up* – Materialização realizada em escala real com modelagem rápida utilizando materiais baratos como papel, papelão ou EPS.

Modelos – Qualquer estado físico de um produto, podendo ser em escala real, reduzida ou ampliada. Possuindo ou não funcionalidade. Produzido manualmente ou com o auxílio de equipamentos de controle numérico.

Prototipagem Rápida – Tecnologias de impressão 3D utilizada para fabricar objetos diretamente de fontes de dados gerados por um sistema CAD.

Protótipo – Significa “o primeiro de um tipo”, materialização do produto em escala real utilizando os materiais finais ou os mais semelhantes possíveis. Deve ter a aparência e funcionalidade do produto final.

## APÊNDICE A – Revisão Sistemática e Bibliometria da Tese

Para fazer a revisão sistemática e análise bibliométrica para esta tese inicialmente, seguiu-se os procedimentos do *Proknow-C* adaptados por Medeiros et al., (2015), com base na definição do objetivo geral e dos específicos foi elaborado o Quadro 18, com três eixos temáticos. No eixo 1 procurou-se mapear a área de manufatura digital explorando palavras chaves que contemplassem pesquisas com o mesmo assunto. No segundo eixo de pesquisa teve-se como meta identificar especificamente a área de Design de produtos e, por último, o terceiro eixo visou restringir a pesquisa aos artigos que abordassem o tema protótipos físicos.

**Quadro 18- Palavras chaves**

<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
<i>digital manufacturing</i>	<i>design process</i>	<i>physical prototypes</i>
<i>rapid manufacturing</i>	<i>product design</i>	
<i>digital fabrication</i>	<i>industrial design</i>	
<i>digital materiality</i>		
<i>rapid prototyping</i>		

Fonte: Do autor

Cada palavra chave definida foi avaliada no Google Acadêmico, identificando apenas numericamente quantos resultados a busca apresentava, podendo assim identificar qual termo teria mais impacto na pesquisa. Após o final desta etapa foi possível estabelecer o descritor de pesquisa para aplicação nas bases de dados internacionais, ficando estabelecido como: (“*digital manufacturing*” or “*rapid manufacturing*” or “*digital fabrication*” or “*digital materiality*” or “*rapid prototyping*”) and (“*design process*” or “*product design*” or “*industrial design*”) and (“*physical prototypes*”).

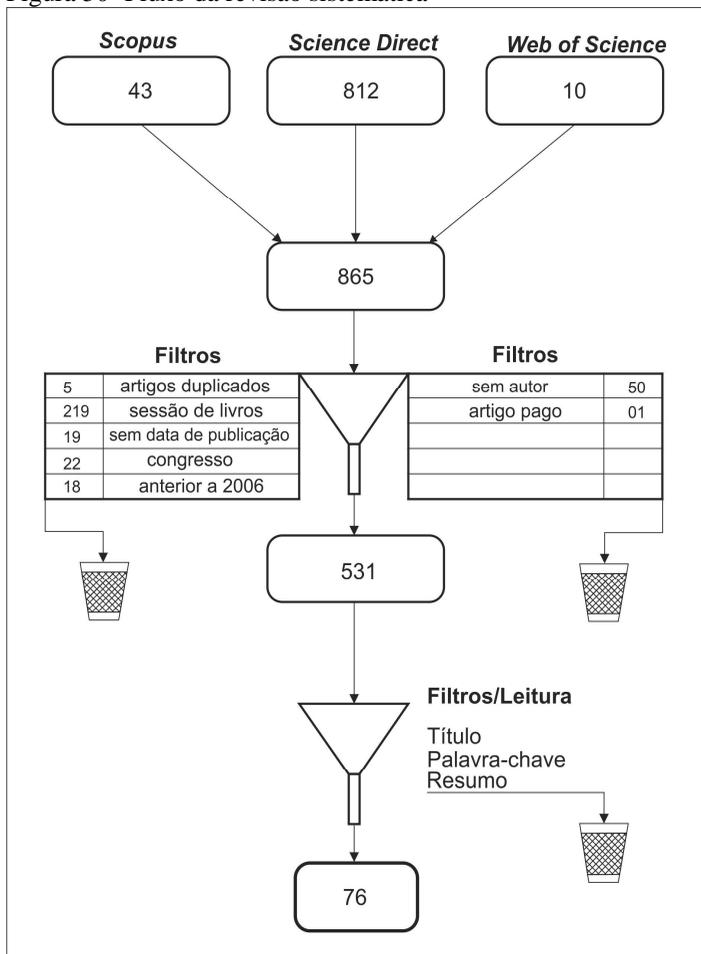
Seguindo as recomendações de Medeiros et al., (2015) utilizou-se o descritor nas bases de dados com o limitador de período de 2006 até 2015. Na base do *Science Direct*, obteve-se um resultado de 812 artigos e, sequencialmente, utilizou-se o mesmo descritor na plataforma do *Scopus* obtendo 43 artigos. Por último, no portal *Web of Science*, a busca gerou 10 resultados. Esta pesquisa foi realizada no dia 11 de maio de 2015, totalizando 865 artigos.

Após a primeira coleta dos artigos brutos, aplicaram-se alguns filtros: excluir artigos de congressos, sem data, sem autor, sessão de livros, artigos duplicados e com data anterior a 2006, limitando em

artigos de periódicos internacionais de acesso gratuito pela rede UFSC. Ao final desta fase, restaram 531 artigos. Todos esses filtros fazem parte dos critérios adotados pela sistemática do *Proknow-C*.

Na próxima etapa de seleção, os filtros utilizados foram: a leitura do título, palavras chave e resumo, identificando a pertinência com o tema da tese. Tal processo limitou em 76 artigos, todos indexados em periódicos internacionais com credibilidade científica. Essa sistemática na procura de material bibliográfico estabelece critérios de qualidade, identificando em uma grande massa de informações *on-line* material que possa colaborar para a revisão de literatura, processo este ilustrado na Figura 50. Para a próxima etapa, conforme sistemática do *Proknow-C*, os 76 artigos finais são avaliados sobre uma ótica bibliométrica, identificando assim aqueles de maior relevância. Como critério de avaliação para a análise bibliométrica é recomendado verificar o número de citações recebidas do artigo, informação esta obtida com o uso do Google Acadêmico.

Figura 50- Fluxo da revisão sistemática



Fonte: Do autor

Na Figura 51 apresentam-se os 30 artigos mais citados. No Apêndice A, planilha 01 pode-se verificar a lista completa com os 76 artigos finais.

Figura 51- Citações



Fonte: Do autor

Para iniciar a leitura dos artigos científicos, foi necessário estabelecer um critério de escolha. O pesquisador por meio da análise bibliométrica pode estabelecer uma faixa de corte acima de 20 citações selecionando

24 artigos dentre os 76, estabelecendo em aproximadamente 20% dos artigos finais selecionados. Esse critério foi proposto, pois existe uma queda considerável na quantidade de citações dos demais artigos.

## APÊNDICE B – Planilha Artigos Selecionados

Título do artigo	Número de citações
Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review SHEN, Weiming et al. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. <b>Advanced Engineering Informatics</b> , v. 24, n. 2, p. 196-207, 2010.	150
The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems CHANDRASEGARAN, Senthil K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. <b>Computer-aided design</b> , v. 45, n. 2, p. 204-228, 2013.	139
3-D printing: The new industrial revolution BERMAN, Barry. 3-D printing: The new industrial revolution. <b>Business horizons</b> , v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012.	97
RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development SOKOVIC, Mirko; KOPAC, J. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. <b>Journal of Materials Processing Technology</b> , v. 175, n. 1, p. 398-403, 2006.	95
Design verification and validation in product lifecycle MAROPOULOS, Paul G.; CEGLAREK, Darek. Design verification and validation in product lifecycle. <b>CIRP Annals-Manufacturing Technology</b> , v. 59, n. 2, p. 740-759, 2010.	92
An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment ARAYICI, Yusuf. An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. <b>Automation in Construction</b> , v. 16, n. 6, p. 816-829, 2007.	88
Virtual lead user communities: Drivers of knowledge creation for innovation MAHR, Dominik; LIEVENS, Annouk. Virtual lead user communities: Drivers of knowledge creation for innovation. <b>Research policy</b> , v. 41, n. 1, p. 167-177, 2012.	80
Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction BUSWELL, Richard A. et al. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. <b>Automation in construction</b> , v. 16, n. 2, p. 224-231, 2007.	70
Tangible augmented prototyping of digital handheld products PARK, Hyungjun; MOON, Hee-Cheol; LEE, Jae Yeol. Tangible augmented prototyping of digital handheld products. <b>Computers in</b>	67

<b>Industry</b> , v. 60, n. 2, p. 114-125, 2009.	
A versatile virtual prototyping system for rapid product development	
CHOI, S. H.; CHEUNG, H. H. A versatile virtual prototyping system for rapid product development. <b>Computers in Industry</b> , v. 59, n. 5, p. 477-488, 2008.	66
Web-based rapid prototyping and manufacturing systems: A review	
LAN, Hongbo. Web-based rapid prototyping and manufacturing systems: A review. <b>Computers in industry</b> , v. 60, n. 9, p. 643-656, 2009.	59
Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations	
RÜPPEL, Uwe; SCHATZ, Kristian. Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. <b>Advanced Engineering Informatics</b> , v. 25, n. 4, p. 600-611, 2011.	42
Designing for Additive Manufacturing	
VAYRE, Benjamin; VIGNAT, Frédéric; VILLENEUVE, François. Designing for additive manufacturing. <b>Procedia CirP</b> , v. 3, p. 632-637, 2012.	41
IDR: A participatory methodology for interdisciplinary design in technology enhanced learning	
WINTERS, Niall; MOR, Yishay. IDR: A participatory methodology for interdisciplinary design in technology enhanced learning. <b>Computers &amp; Education</b> , v. 50, n. 2, p. 579-600, 2008.	40
Participatory ergonomics in design processes: The role of boundary objects	
BROBERG, Ole; ANDERSEN, Vibeke; SEIM, Rikke. Participatory ergonomics in design processes: The role of boundary objects. <b>Applied ergonomics</b> , v. 42, n. 3, p. 464-472, 2011.	39
The psychological experience of prototyping	
GERBER, Elizabeth; CARROLL, Maureen. The psychological experience of prototyping. <b>Design studies</b> , v. 33, n. 1, p. 64-84, 2012.	32
Designing for other people's strengths and motivations: Three cases using context, visions, and experiential prototypes	
STAPPERS, Pieter Jan et al. Designing for other people's strengths and motivations: Three cases using context, visions, and experiential prototypes. <b>Advanced Engineering Informatics</b> , v. 23, n. 2, p. 174-183, 2009.	31
Concept design for quality in virtual environment	
DI GIRONIMO, Giuseppe; LANZOTTI, Antonio; VANACORE, Amalia. Concept design for quality in virtual environment. <b>Computers &amp; Graphics</b> , v. 30, n. 6, p. 1011-1019, 2006.	31
New tectonics: a preliminary framework involving classic and digital thinking	
LIU, Yu-Tung; LIM, Chor-Kheng. New tectonics: a preliminary framework involving classic and digital thinking. <b>Design Studies</b> , v. 27, n. 3, p. 267-307, 2006.	31
Developments in construction-scale additive manufacturing processes	
LIM, Sungwoo et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. <b>Automation in construction</b> , v. 21, p. 262-268, 2012.	30

Competing in engineering design—The role of Virtual Product Creation  STARK, Rainer et al. Competing in engineering design—The role of Virtual Product Creation. <b>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</b> , v. 3, n. 3, p. 175-184, 2010.	28
Product architecture, organizational capabilities and IT integration for competitive advantage  PARK, YoungWon; FUJIMOTO, Takahiro; HONG, Paul. Product architecture, organizational capabilities and IT integration for competitive advantage. <b>International Journal of Information Management</b> , v. 32, n. 5, p. 479-488, 2012.	27
Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology  CESARETTI, Giovanni et al. Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. <b>Acta Astronautica</b> , v. 93, p. 430-450, 2014.	22
Integrated computational tools for virtual and physical automatic construction  ALVES, Nuno M.; BÁRTOLO, Paulo J. Integrated computational tools for virtual and physical automatic construction. <b>Automation in Construction</b> , v. 15, n. 3, p. 257-271, 2006.	21
An Innovative Methodology of Product Design from Nature  WEN, Hui-I. et al. An innovative methodology of product design from nature. <b>Journal of Bionic Engineering</b> , v. 5, n. 1, p. 75-84, 2008.	20
Improvement of a computer-based surveyor-training tool using a user-centered approach  LU, Cho-Chien et al. Improvement of a computer-based surveyor-training tool using a user-centered approach. <b>Advanced Engineering Informatics</b> , v. 23, n. 1, p. 81-92, 2009.	19
A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance  SHEN, Weiming; HAO, Qi; XUE, Yunjiao. A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance. <b>Automation in Construction</b> , v. 25, p. 41-48, 2012.	19
A distributed and interactive system to integrated design and simulation for collaborative product development  WANG, Hongwei; ZHANG, Heming. A distributed and interactive system to integrated design and simulation for collaborative product development. <b>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</b> , v. 26, n. 6, p. 778-789, 2010.	19
Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation  WU, Dazhong et al. Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. <b>Computer-Aided Design</b> , v. 59, p. 1-14, 2015.	17
Qualification and certification for the competitive edge in Integrated Design  RIEL, Andreas; TICHKIEWITCH, Serge; MESSNARZ, Richard. Qualification and certification for the competitive edge in integrated design. <b>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</b> , v. 2, n. 4, p. 279-289, 2010.	16

Product form design using virtual hand and deformable models  YANG, Chih-Chieh; LIN, Pei-Ju; SUN, Chih-Cheng. Product form design using virtual hand and deformable models. <b>International Journal of Digital Content Technology and its Applications</b> , v. 6, n. 11, 2012.	15
Classification and mass production technique for three-quarter shoe insoles using non-weight-bearing plantar shapes  SUN, Shuh-Ping; CHOU, Yi-Jiun; SUE, Chun-Chia. Classification and mass production technique for three-quarter shoe insoles using non-weight-bearing plantar shapes. <b>Applied ergonomics</b> , v. 40, n. 4, p. 630-635, 2009.	14
3D, SF and the future  BIRCHNELL, Thomas; URRY, John. 3D, SF and the future. <b>Futures</b> , v. 50, p. 25-34, 2013.	14
A physical design grammar: A production system for layered manufacturing machines  SASS, Lawrence. A physical design grammar: a production system for layered manufacturing machines. <b>Automation in construction</b> , v. 17, n. 6, p. 691-704, 2008.	13
Immersive modeling system (IMMS) for personal electronic products using a multi-modal interface  LEE, Yong-Gu et al. Immersive modeling system (IMMS) for personal electronic products using a multi-modal interface. <b>Computer-Aided Design</b> , v. 42, n. 5, p. 387-401, 2010.	13
User evaluation of HCI concepts for defining product form  SENER, Bahar; WORMALD, Paul. User evaluation of HCI concepts for defining product form. <b>Design Studies</b> , v. 29, n. 1, p. 12-29, 2008.	13
Virtual prototyping enhanced by a haptic interface  HA, Sungdo et al. Virtual prototyping enhanced by a haptic interface. <b>CIRP annals-manufacturing technology</b> , v. 58, n. 1, p. 135-138, 2009.	12
Simulation-supported change process for product customization – A case study in a garment company  ZÜLCH, Gert; KORUCA, Halil Ibrahim; BÖRKIRCHER, Mikko. Simulation-supported change process for product customization–A case study in a garment company. <b>Computers in Industry</b> , v. 62, n. 6, p. 568-577, 2011.	11
Wind tunnel and CFD study of the natural ventilation performance of a commercial multi-directional wind tower  CALAUTTI, John Kaiser; HUGHES, Ben Richard. Wind tunnel and CFD study of the natural ventilation performance of a commercial multi-directional wind tower. <b>Building and Environment</b> , v. 80, p. 71-83, 2014.	10
Functional prototype development of multi-layer board (MLB) using rapid prototyping technology  IM, Y. G. et al. Functional prototype development of multi-layer board (MLB) using rapid prototyping technology. <b>Journal of materials processing technology</b> , v. 187, p. 619-622, 2007.	10
Smart things in the social loop: Paradigms, technologies, and potentials  ATZORI, Luigi; CARBONI, Davide; IERA, Antonio. Smart things in the	9

social loop: Paradigms, technologies, and potentials. <b>Ad Hoc Networks</b> , v. 18, p. 121-132, 2014.	
Informed tectonics in material-based design  OXMAN, Rivka. Informed tectonics in material-based design. <b>Design Studies</b> , v. 33, n. 5, p. 427-455, 2012.	8
Interface in form: Paper and product prototyping for feedback and fun  HANINGTON, Bruce M. Interface in form: Paper and product prototyping for feedback and fun. <b>interactions</b> , v. 13, n. 1, p. 28-30, 2006.	8
Rapid prototyping of high performance sportswear  CHOWDHURY, Harun et al. Rapid prototyping of high performance sportswear. <b>Procedia Engineering</b> , v. 34, p. 38-43, 2012.	8
An approach to assessing virtual environments for synchronous and remote collaborative design  GERMANI, Michele; MENGONI, Maura; PERUZZINI, Margherita. An approach to assessing virtual environments for synchronous and remote collaborative design. <b>Advanced Engineering Informatics</b> , v. 26, n. 4, p. 793-813, 2012.	7
Capability building through innovation for unserved lower end mega markets  LIM, Chaisung; HAN, Seokhee; ITO, Hiroshi. Capability building through innovation for unserved lower end mega markets. <b>Technovation</b> , v. 33, n. 12, p. 391-404, 2013.	7
Plastic Cubesat: An innovative and low-cost way to perform applied space research and hands-on education  PIATTONI, Jacopo et al. Plastic Cubesat: An innovative and low-cost way to perform applied space research and hands-on education. <b>Acta Astronautica</b> , v. 81, n. 2, p. 419-429, 2012.	6
Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction  PARK, Hyungjun; MOON, Hee-Cheol. Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction. <b>Computers in Industry</b> , v. 64, n. 7, p. 854-868, 2013.	5
Tools and techniques for product design  LUTTERS, Eric et al. Tools and techniques for product design. <b>CIRP Annals-Manufacturing Technology</b> , v. 63, n. 2, p. 607-630, 2014.	4
Mixed prototyping with configurable physical archetype for usability evaluation of product interfaces  BARBIERI, Loris et al. Mixed prototyping with configurable physical archetype for usability evaluation of product interfaces. <b>Computers in Industry</b> , v. 64, n. 3, p. 310-323, 2013.	4
Validation of Product-Service Systems – A Prototyping Approach  EXNER, Konrad et al. Validation of product-service systems—a prototyping approach. <b>Procedia CIRP</b> , v. 16, p. 68-73, 2014.	4
Physical query interface for tangible augmented tagging and interaction  SEO, Dong Woo; LEE, Jae Yeol. Physical query interface for tangible augmented tagging and interaction. <b>Expert Systems with Applications</b> , v. 40, n. 6, p. 2032-2042, 2013.	3
Third Wave Do-It-Yourself (DIY): Potential for prosumption, innovation,	3

and entrepreneurship by local populations in regions without industrial manufacturing infrastructure	
FOX, Stephen. Third Wave Do-It-Yourself (DIY): Potential for prosumption, innovation, and entrepreneurship by local populations in regions without industrial manufacturing infrastructure. <b>Technology in Society</b> , v. 39, p. 18-30, 2014.	
Parametric virtual laboratory development: A hydropower case study with student perspectives	
THOMAS, Andrew M. et al. Parametric virtual laboratory development: A hydropower case study with student perspectives. <b>Advances in Engineering Software</b> , v. 64, p. 62-70, 2013.	2
Virtual broker system to manage research and development for micro electro mechanical systems	
NAKASHIMA-PANIAGUA, Tetsuhei; DOUCETTE, John; MOUSSA, Walied. Virtual broker system to manage research and development for micro electro mechanical systems. <b>The Journal of High Technology Management Research</b> , v. 25, n. 1, p. 54-67, 2014.	2
Design for Disability: Integration of Human Factor for the Design of an Electro-mechanical Drum Stick System	
COTON, Justine et al. Design for Disability: integration of human factor for the design of an electro-mechanical drum stick system. <b>Procedia CIRP</b> , v. 21, p. 111-116, 2014.	2
Knowledge systematisation, reconfiguration and the organisation of firms and industry: The case of design	
D'IPPOLITO, Beatrice; MIOZZO, Marcela; CONSOLI, Davide. Knowledge systematisation, reconfiguration and the organisation of firms and industry: the case of design. <b>Research Policy</b> , v. 43, n. 8, p. 1334-1352, 2014.	2
Technological Forecasting and Social Change Special Section: Creative prototyping	
GRAHAM, Gary; GREENHILL, Anita; CALLAGHAN, Vic. Technological Forecasting and Social Change Special Section: Creative prototyping. 2014.	2
IPR training and tools for better handling of IPR topics by SMEs	
GENNARI, Udo. IPR training and tools for better handling of IPR topics by SMEs. <b>World Patent Information</b> , v. 35, n. 3, p. 214-223, 2013.	2
The use of virtual reality and physical tools in the development and validation of ease of entry and exit in passenger vehicles	
LAWSON, Glyn et al. The use of virtual reality and physical tools in the development and validation of ease of entry and exit in passenger vehicles. <b>Applied ergonomics</b> , v. 48, p. 240-251, 2015.	1
Building information modeling and discrete event simulation: Towards an integrated framework	
LU, Weizhuo; OLOFSSON, Thomas. Building information modeling and discrete event simulation: Towards an integrated framework. <b>Automation in Construction</b> , v. 44, p. 73-83, 2014.	1
Digital and physical models for the validation of sustainable design strategies	
PIGNATARO, Maria Annunziata; LOBACCARO, Gabriele; ZANI, Giulio. Digital and physical models for the validation of sustainable	1

design strategies. <b>Automation in Construction</b> , v. 39, p. 1-14, 2014.	
Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing  KIETZMANN, Jan; PITT, Leyland; BERTHON, Pierre. Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. <b>Business Horizons</b> , v. 58, n. 2, p. 209-215, 2015.	1
Development of a digital framework for the computation of complex material and morphological behavior of biological and technological systems  AHLQUIST, Sean et al. Development of a digital framework for the computation of complex material and morphological behavior of biological and technological systems. <b>Computer-Aided Design</b> , v. 60, p. 84-104, 2015.	1
A virtual prototyping system with reconfigurable actuators for multi-material layered manufacturing  CHOI, S. H.; CAI, Y. A virtual prototyping system with reconfigurable actuators for multi-material layered manufacturing. <b>Computers in Industry</b> , v. 65, n. 1, p. 37-49, 2014.	1
Evaluation of hydraulic excavator Human–Machine Interface concepts using NASA TLX  AKYEAMPONG, Joseph et al. Evaluation of hydraulic excavator Human–Machine Interface concepts using NASA TLX. <b>International Journal of Industrial Ergonomics</b> , v. 44, n. 3, p. 374-382, 2014.	1
The emergence of ‘zygotics’: Using science fiction to examine the future of design prototyping  GRIMSHAW, P.; BURGESS, T. F. The emergence of ‘zygotics’: Using science fiction to examine the future of design prototyping. <b>Technological Forecasting and Social Change</b> , v. 84, p. 5-14, 2014.	1
Flight results: Reliability and lifetime of the polymeric 3D-printed antenna deployment mechanism installed on Xatcobeo & Humsat-D  VILÁN, José Antonio Vilán et al. Flight results: Reliability and lifetime of the polymeric 3D-printed antenna deployment mechanism installed on Xatcobeo & Humsat-D. <b>Acta Astronautica</b> , v. 107, p. 290-300, 2015.	0
Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications  BEHZADAN, Amir H.; DONG, Suyang; KAMAT, Vineet R. Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. <b>Advanced Engineering Informatics</b> , v. 29, n. 2, p. 252-267, 2015.	0
A procedural framework for design to fabrication  RASPALL, Felix. A procedural framework for design to fabrication. <b>Automation in Construction</b> , v. 51, p. 132-139, 2015.	0
FabPod: Designing with temporal flexibility & relationships to mass-customisation  WILLIAMS, Nicholas et al. FabPod: Designing with temporal flexibility & relationships to mass-customisation. <b>Automation in Construction</b> , v. 51, p. 124-131, 2015.	0
Design and manufacture of customised protective facial sports splints  KITTUR, M. A. et al. Design and manufacture of customised protective	0

facial sports splints. <b>British journal of oral and maxillofacial surgery</b> , v. 50, n. 3, p. 264-265, 2012.	
Initiating a CAD renaissance: Multidisciplinary analysis driven design: Framework for a new generation of advanced computational design, engineering and manufacturing environments  RIESENFELD, Richard F.; HAIMES, Robert; COHEN, Elaine. Initiating a CAD renaissance: Multidisciplinary analysis driven design: Framework for a new generation of advanced computational design, engineering and manufacturing environments. <b>Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering</b> , v. 284, p. 1054-1072, 2015.	0
Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited  WELLER, Christian; KLEER, Robin; PILLER, Frank T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. <b>International Journal of Production Economics</b> , v. 164, p. 43-56, 2015.	0
The Role of Early Prototypes in Concept Development: Insights from the Automotive Industry  ELVERUM, Christer W.; WELO, Torgeir. The role of early prototypes in concept development: insights from the automotive industry. <b>Procedia CIRP</b> , v. 21, p. 491-496, 2014.	0

Fonte: desenvolvido pelo autor

## APÊNDICE C – Roteiro das Entrevistas

### A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Doutorando: Ivan Luiz de Medeiros

PósDesign - UFSC

## Roteiro da Entrevista

Olá meu nome é Ivan Luiz de Medeiros e sou Doutorando do programa PósDesign da UFSC. Minha pesquisa está intitulada: **A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.**

Essa entrevista procura descobrir quais são os critérios de seleção utilizados pela comunidade acadêmica para aplicar os processos de Fabricação Digital, destacando os principais processos: corte a laser, impressão 3D e usinagem por CNC.

A seguir serão apresentados alguns resultados da aplicação da Materialização Digital efetuados no Laboratório PRONTO 3D da UFSC, por alunos e pesquisadores.

Gostaria que fossem observados os critérios de seleção para a aplicação dos processos de Fabricação Digital e seus resultados, fornecendo a sua opinião sobre esses aspectos.

Agradeço desde já a sua participação, lembrando que não é necessário responder a todas as perguntas e se sentir incomodado pode interromper no momento desejado.

**As informações destinam-se ao desenvolvimento de um protocolo que auxilie a aplicação dos processos de Materialização Digital na fase de concepção de produtos.**

## Perguntas iniciais

Olá!

- 1- Qual o seu nome?
- 2- Qual o Grupo de pesquisa e laboratório que você está vinculado?
- 3- Poderia comentar quais os processos de Fabricação digital você conhece?
- 4 -E quais os processos disponíveis no laboratório que você participa?
- 5 -Conhece as fases e processo de desenvolvimento de produto?

A seguir serão apresentados 11 resultados de atividades efetuadas no Laboratório PRONTO 3D na UFSC.

Gostaria que fossem observados os processos aplicados e resultados obtidos.

## 01 – Veículo



**Problema:**

Desenvolver um modelo de apresentação do Veículo.

**Solução:**

Fatiar a modelagem 3D; usinar na CNC o material PU;  
Acabamentos e pintura manuais.

**Crítérios:**

Complexidade da forma;  
Custo baixo;  
Tempo;  
Dimensão do produto.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 02 – Óculos de Sol



**Problema:**

Desenvolvimento de Modelos de apresentação e testes ergonômicos.

**Solução:**

Modelagem 3D foi adaptada para 2D. Cortado o acrílico na cortadora laser e algumas curvas foram obtidas manualmente aquecendo o material. Pintura e acabamentos superficiais foram realizados manualmente.

**Crítérios:**

Complexidade da forma;  
Material;  
Facilidade de acabamento superficial;  
Dimensão do produto;  
Tempo.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 03 – Óculos de Sol



### Problema:

Desenvolvimento de Modelos de apresentação e testes ergonômicos.  
Projeto com muitos detalhes, relevos e curvas.

### Solução:

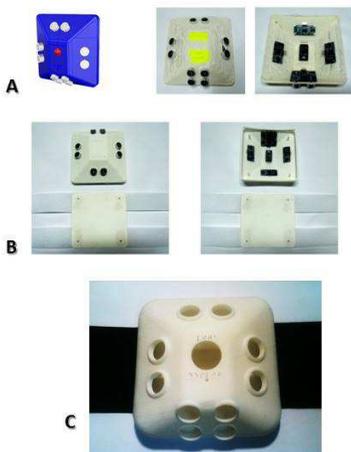
Modelagem 3D já com suportes e impressão no processo FDM.  
Acabamentos manuais.

### Critérios:

Complexidade da forma;  
Dimensão do produto;  
Custo baixo.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 04 – Aparelho de Locomoção



### Problema:

Desenvolver um Aparelho de auxílio a locomoção para cegos. Modelos para testes mecânicos, ergonômicos e um a construção de um protótipo final.

### Solução:

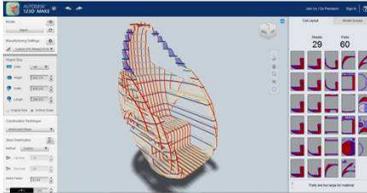
Processos mais baratos nas fases iniciais;  
a) 1ª FDM; (Pronto 3D)  
b) 2ª Sinterização Seletiva a Laser; (CTI - Renato Acher)  
c) 3ª Sinterização de resina líquida; (Pronto 3D)

### Critérios:

Dimensão do produto;  
Complexidade da forma;  
Verificar forma e dimensões;  
Testar a montagem de peças e componentes;  
Teste com usuários;  
Custo de impressão em cada fase.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 05- Veículo Ultracompacto



### Problema:

Desenvolvimento de um Modelo do veículo ultracompacto, para avaliação formal e ergonômica.

### Solução:

Modelagem 3D exportada para o software 123DMake, aplicação de *interlocks*. Cortado na laser e montado manualmente. Acabamento superficial com massa plástica. Dimensão do modelo: 600mm.



### Critérios utilizados:

Dimensão do produto;  
Escala do objeto;  
Custo baixo;  
Agilidade;

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 06- Torneira



### Problema:

Desenvolvimento de modelos para apresentação e avaliação ergonômica.

### Solução:

Modelagem 3D foi seccionada em partes menores para se adequar ao envelope da impressora. Impressão no processo FDM. Acabamentos superficiais feito a mão.

### Crítérios:

Complexidade da forma;  
Custo baixo;  
Dimensão do produto.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 07 – Contra Baixo elétrico



**Problema:**

Verificação da forma e modelagem de um contra baixo.  
Dimensão 100mm

**Solução:**

Imprimir em escala reduzida no processo FDM.

**Critérios:**

Dimensão do produto;  
Agilidade;  
Custo baixo.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 08 – Contra Baixo elétrico



**Problema:**

Construção do objeto final (conta baixo).

**Solução:**

Usinar em MDF o objeto final.

**Critérios:**

Complexidade da forma;  
Dimensão do produto;  
Possibilidade de montar os componentes;  
Testes com usuários;  
Custo baixo.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 09 – Banheira de Imersão



**Problema:**

Validar a forma do projeto de uma banheira de imersão com o cliente.

**Solução:**

Imprimir em escala reduzida a proposta final do design do projeto. Processo FDM.

**Critérios:**

Complexidade da forma;  
Dimensão do produto;  
Tempo de execução;  
Custo baixo.

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 10 – Banheira de Imersão



**Problema:**

Construção de um modelo de baixo custo para validar o design do projeto e realizar teste ergonômicos .

**Solução:**

Usinagem de EPS, na CNC. A modelagem foi fatiada em oito partes para se adequar a dimensão do material e limitações do equipamento utilizado. Acabamentos realizados manualmente

**Critérios:**

Complexidade da forma;  
Dimensões do produto;  
Custo baixo;  
Qualidade do acabamento superficial;

**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

## 11- Mobiliário Urbano

**Problema:**

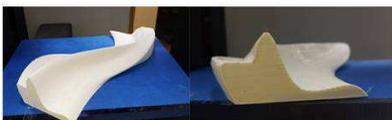
Projeto de pesquisa para o desenvolvimento de um Mobiliário urbano  
1º Fase – Verificar a o resultado da modelagem paramétrica.

**Solução:**

Imprimir no processo FDM em escala reduzida.

**Crítérios:**

Complexidade forma;  
Dimensão do produto;  
Custo baixo;  
Tempo.



**Você acredita que a solução encontrada foi correta? O que faria diferente frente a esses problemas?**

Gostaria de agradecer a sua colaboração para a pesquisa.

Foi muito importante receber as suas opiniões frente a aplicação dos processos de Materialização Digital.

Muito Obrigado!

Ivan Luiz de Medeiros

Ivan.medeiros@ufsc.br

## APÊNDICE D – TCLE 01

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você ( \_\_\_\_\_ ) está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada “A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS”, associada à tese de doutorado de Ivan Luiz de Medeiros, do Programa de Pós-Graduação em Design da UFSC. Esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um Protocolo de identificação e priorização de critérios para o processo de Materialização Digital a ser aplicado na fase de conceituação do desenvolvimento de produtos. Este projeto de pesquisa se justifica a partir das potencialidades das tecnologias da Materialização Digital em conjunto com a quantidade de informação que os protótipos desencadeiam no processo decisório, tema este que, acredita-se, ser relevante para os designers responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, sobretudo quando necessitam selecionar dentre as possibilidades de materialização por meios digitais, o método mais adequado a ser utilizado na fase de concepção do desenvolvimento de produto. A pesquisa procede da seguinte maneira: serão apresentados aos entrevistados os resultados da revisão de literatura das atividades realizadas no Laboratório PRONTO 3D (UFSC, Campus de Florianópolis) e, na sequência, solicitar-se-á ao participante opinar sobre os resultados observados, indicando se faria igual ou optaria por outra técnica de materialização, com base na sua experiência. Essa entrevista será gravada tanto imagem e áudio (vídeo). Todos os filmes serão armazenados pelo coordenador do projeto por 10 anos a partir da data da aplicação das entrevistas. Após este período de 10 anos, todo o material será descartado. Esta pesquisa, em nenhum momento, pretende ocasionar alguma lesão ou risco ao colaborador, nem qualquer constrangimento psicológico. A sua participação irá contribuir para o desenvolvimento de um Protocolo que facilite a aplicação das tecnologias de Materialização Digital. Sinta-se absolutamente à vontade em deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, sem ter que apresentar qualquer justificativa ou ainda interromper a entrevista a qualquer momento para maiores esclarecimentos ou caso venha a sentir algum desconforto. Ao decidir deixar de participar da pesquisa, você não terá qualquer prejuízo no restante das atividades. Pretende-se que a entrevista não exceda há 60 minutos. Será garantido ao convidado sigilo e anonimato, como também o direito de retirar o consentimento a qualquer tempo, sem penalidades. O pesquisador será o único a ter acesso aos dados obtidos na entrevista e tomará todas as providências necessárias para manter o sigilo, porém existe a remota possibilidade da quebra do sigilo, mesmo que involuntário e não intencional, cujas consequências serão tratadas nos termos da lei. Os resultados deste trabalho poderão ser apresentados em encontros ou revistas científicas, neste caso mostrarão apenas os resultados obtidos como um todo, sem revelar seu nome, instituição ou qualquer informação relacionada à sua privacidade. É relevante esclarecer que a legislação brasileira não permite que você tenha qualquer compensação financeira pela sua participação em pesquisa. Também não terá nenhuma despesa advinda da sua participação na pesquisa. Caso alguma despesa extraordinária associada à pesquisa venha a ocorrer, você será ressarcido nos termos

da lei. Caso você tenha algum prejuízo material ou imaterial em decorrência da pesquisa, poderá solicitar indenização, de acordo com a legislação vigente e amplamente consubstanciada. **ATENÇÃO:** A sua participação nesta pesquisa é voluntária. Em caso de dúvida quanto aos seus direitos, poderá escrever para o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSC, no endereço: Rua Desembargador Vitor Lima, nº 222, Trindade, Florianópolis – SC, Prédio Reitoria II, 4º andar, sala 401; ou contactar o setor diretamente pelo telefone (48) 3721-6094. Após ser esclarecido(a) sobre as informações do projeto, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine o **CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO DO SUJEITO**, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. O pesquisador responsável, que também assina esse documento, compromete-se a conduzir a pesquisa de acordo com o que preconiza a Resolução 466/12 de 12/06/2012, que trata dos preceitos éticos e da proteção aos participantes da pesquisa.

### **CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO DO SUJEITO**

Eu, \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo em participar do presente estudo como sujeito e declaro que fui devidamente informado e esclarecido sobre a pesquisa e os procedimentos nela envolvidos.

Local

e

data:

\_\_\_\_\_

Assinatura do Participante: \_\_\_\_\_

Contato:

**Pesquisador responsável: Ivan Luiz de Medeiros**

**e-mail: Ivan.medeiros@ufsc.br**

**Endereço: Campus Universitário da UFSC – Trindade – Florianópolis- SC**

**Centro de Comunicação e Expressão – Bloco A – Sala 005**

**Fone: 48 – 9945 3611 ou 3721 3782 – Horário comercial**

**Assinatura: \_\_\_\_\_**

## APÊNDICE E – TCLE 02

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você ( \_\_\_\_\_ ) está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada “A MATERIALIZAÇÃO DIGITAL E SUA SISTEMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS”, associada à tese de doutorado de Ivan Luiz de Medeiros, do Programa de Pós-Graduação em Design da UFSC. Esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um Protocolo de identificação e priorização de critérios para o processo de Materialização Digital a ser aplicado na fase de conceituação do desenvolvimento de produtos. Este projeto de pesquisa se justifica a partir das potencialidades das tecnologias da Materialização Digital em conjunto com a quantidade de informação que os protótipos desencadeiam no processo decisório, tema este que, acredita-se, ser relevante para os designers responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, sobretudo quando necessitam selecionar dentre as possibilidades de materialização por meios digitais, o método mais adequado a ser utilizado na fase de concepção do desenvolvimento de produto. A pesquisa procede da seguinte maneira: será apresentado ao Grupo Focal de designers o Protocolo de seleção dos processos de Materialização Digital, após apresentado serão demonstrados os parâmetros de aplicação do Protocolo e simulado algumas situações de aplicação. Essa simulação terá uma resposta de aplicação da Materialização Digital, essa resposta será discutida pelo Grupo Focal relatando se as indicações obtidas com o Protocolo são viáveis e aplicáveis em uma prática projetual. Essa atividade será gravada tanto imagem e áudio (vídeo). Todos os filmes serão armazenados pelo coordenador do projeto por 10 anos a partir da data da aplicação das entrevistas. Após este período de 10 anos, todo o material será descartado. Esta pesquisa, em nenhum momento, pretende ocasionar alguma lesão ou risco ao colaborador, nem qualquer constrangimento psicológico. A sua participação irá contribuir para o desenvolvimento de um Protocolo que facilite a aplicação das tecnologias de Materialização Digital. Sinta-se absolutamente à vontade em deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, sem ter que apresentar qualquer justificativa ou ainda interromper a entrevista a qualquer momento para maiores esclarecimentos ou caso venha a sentir algum desconforto. Ao decidir deixar de participar da pesquisa, você não terá qualquer prejuízo no restante das atividades. Pretende-se que a entrevista não exceda há 60 minutos. Será garantido ao convidado sigilo e anonimato, como também o direito de retirar o consentimento a qualquer tempo, sem penalidades. O pesquisador será o único a ter acesso aos dados obtidos na entrevista e tomará todas as providências necessárias para manter o sigilo, porém existe a remota possibilidade da quebra do sigilo, mesmo que involuntário e não intencional, cujas consequências serão tratadas nos termos da lei. Os resultados deste trabalho poderão ser apresentados em encontros ou revistas científicas, neste caso mostrarão apenas os resultados obtidos como um todo, sem revelar seu nome, instituição ou qualquer informação relacionada à sua privacidade. É relevante esclarecer que a legislação brasileira não permite que você tenha qualquer compensação financeira pela sua participação em pesquisa. Também não terá nenhuma despesa advinda da sua participação na pesquisa. Caso alguma

despesa extraordinária associada à pesquisa venha a ocorrer, você será ressarcido nos termos da lei. Caso você tenha algum prejuízo material ou imaterial em decorrência da pesquisa, poderá solicitar indenização, de acordo com a legislação vigente e amplamente consubstanciada. **ATENÇÃO:** A sua participação nesta pesquisa é voluntária. Em caso de dúvida quanto aos seus direitos, poderá escrever para o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSC, no endereço: Rua Desembargador Vitor Lima, nº 222, Trindade, Florianópolis – SC, Prédio Reitoria II, 4º andar, sala 401; ou contactar o setor diretamente pelo telefone (48) 3721-6094. Após ser esclarecido(a) sobre as informações do projeto, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine o **CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO DO SUJEITO**, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. O pesquisador responsável, que também assina esse documento, compromete-se a conduzir a pesquisa de acordo com o que preconiza a Resolução 466/12 de 12/06/2012, que trata dos preceitos éticos e da proteção aos participantes da pesquisa.

### **CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO DO SUJEITO**

Eu, \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo em participar do presente estudo como sujeito e declaro que fui devidamente informado e esclarecido sobre a pesquisa e os procedimentos nela envolvidos.

Local \_\_\_\_\_

e \_\_\_\_\_

data: \_\_\_\_\_

Assinatura do Participante: \_\_\_\_\_

Contato:

**Pesquisador responsável: Ivan Luiz de Medeiros**

**e-mail: Ivan.medeiros@ufsc.br**

**Endereço: Campus Universitário da UFSC – Trindade – Florianópolis- SC**

**Centro de Comunicação e Expressão – Bloco A – Sala 005**

**Fone: 48 – 9945 3611 ou 3721 3782 – Horário comercial**

**Assinatura: \_\_\_\_\_**

## APÊNDICE F – Atividade para o Grupo Focal

Olá!

Meu nome é Ivan Luiz de Medeiros e estou fazendo o meu doutorado no Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal de Santa Catarina.

Gostaria de convidá-lo para participar de um Grupo Focal relacionado à minha tese, intitulada 'Materialização Digital e sua Sistematização no Processo de Desenvolvimento de Produtos', na qual busca-se definir critérios de seleção para a aplicação da Materialização Digital (cortadora Laser, impressão 3D e usinagem por CNC) na fase de concepção de produtos.

Caso aceite o convite a atividade proposta para o Grupo Focal procederá da seguinte maneira:

**Etapa 1** - Serão encaminhados dois problemas projetuais com demandas específicas para a materialização.

Após a leitura de cada problema, você deverá escrever como os solucionaria, explicitando os critérios que utilizaria para a construção de mock-ups, modelos ou protótipos na fase de **concepção do produto**.

**Etapa 2** – Será fornecido um site/sistema contendo uma proposta de protocolo, o qual fornecerá critérios e recomendações de qual processo de Materialização Digital é mais adequado para a problemática proposta. A partir das soluções que propôs, e as sugestões geradas pelo sistema, verifique se existiu concordância ou discordância. Além disso, identifique possíveis dificuldades de uso ou existência de critérios que não foram levados em conta no Sistema leopardpro. Avalie, finalmente, se a(s) sugestão (ões) gerada(s) foi(ram) claras e objetivas.

**Etapa 3** – Na sexta-feira dia 21/10/2016 às 19h teremos início a realização do Grupo Focal, com o intuito de discutir com outros **designers de produto** as percepções sobre uso e resultado gerado pelo Sistema leopardpro. Esta atividade será realizada em Joinville na Univille, sala do curso de Design.

Agradeço desde já a sua colaboração e conto com a sua presença.

Cordialmente!

Ivan Luiz de Medeiros

## Problema 01 - Desenvolvimento de um óculos de sol (esportivo)

Você está trabalhando em um projeto de desenvolvimento de uma linha de óculos de sol esportivos. Já modelou as alternativas em um software 3D.

Em um dado momento do projeto é necessário selecionar as alternativas e validar as dimensões finais do seu projeto. Quais os critérios que você utilizaria para materializar.

Imagem como exemplo, meramente ilustrativa.



Faça as suas anotações para poder discutir posteriormente.


**Agora você tem a sua disposição para realizar a materialização os seguintes equipamentos de materialização Digital:**

- Cortadora Laser – capaz de cortar (papel, compensado e acrílico) dimensões: X – 600mm y – 900mm Z- corta até 6mm
- Impressora FDM – dimensões de trabalho: X – 150mm y – 150mm z – 180mm
- Impressora SLA – dimensões de trabalho: X – 200mm y – 200mm z – 240mm

- CNC 2,5 router – dimensões de trabalho: X – 2000mm y- 3000mm z – 200mm

Utilize o site [www.leopardpro.com.br](http://www.leopardpro.com.br) para tomar as suas decisões e avalie as sugestões oferecidas pelo sistema.

Faça as anotações dos critérios anotados no sistema oferecido para discutir com o Grupo Focal.


**Na reunião do Grupo Focal dia 21/10/2016 serão discutidos os critérios utilizados e resultados obtidos.**

## **Problema 2- Banheira de Imersão**

Você está trabalhando em um projeto de desenvolvimento de uma banheira de imersão. Já apresentou as propostas e falta definir a alternativa final juntamente com a validação das dimensões do seu projeto. Quais critérios você utilizaria para construir mock-ups, modelos ou protótipos.

Supostas Dimensões: Largura 500mm – Comprimento 1300mm - Altura 800mm



Faça as suas anotações para poder discutir posteriormente.


**Agora você tem a sua disposição para realizar a materialização os seguintes equipamentos de materialização Digital:**

- Cortadora Laser – capaz de cortar (papel, compensado e acrílico) dimensões: X – 600mm y – 900mm Z- corta até 6mm
- Impressora FDM – dimensões de trabalho: X – 150mm y 150mm z – 180mm
- Impressora SLA – dimensões de trabalho: X – 200mm y – 200mm z – 240mm
- CNC 2,5 router – dimensões de trabalho: X – 2000mm y- 3000mm z – 200mm

Utilize o site [www.leopardpro.com.br](http://www.leopardpro.com.br) para tomar as suas decisões e avalie as sugestões oferecidas pelo sistema.

Faça as anotações dos critérios anotados no sistema oferecido para discutir com o Grupo Focal.


**Na reunião do Grupo Focal dia 21/10/2016 serão discutidos os critérios utilizados e resultados obtidos.**