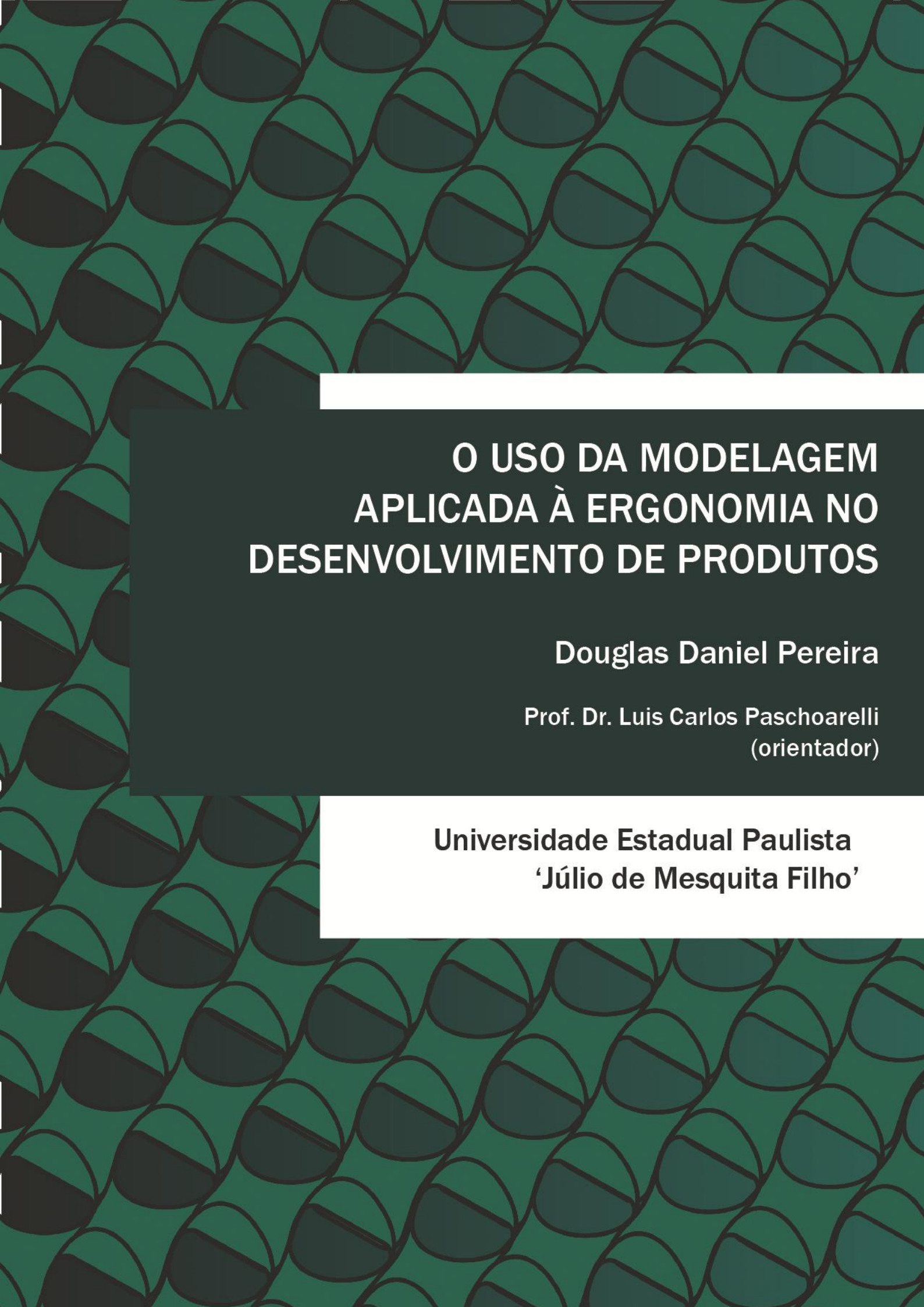




O USO DA MODELAGEM APLICADA À ERGONOMIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Douglas Daniel Pereira

**Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli
(orientador)**

**Universidade Estadual Paulista
'Júlio de Mesquita Filho'**

Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
Programa de Pós-graduação em Design



O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos

Douglas Daniel Pereira

Bauru - 2015

Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
Programa de Pós-graduação em Design

O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP – Campus Bauru, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design desenvolvida sob orientação do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli.

Douglas Daniel Pereira

Bauru – 2015

Pereira, Douglas Daniel.

O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos/ Douglas Daniel Pereira, 2015

176 f.

Orientador: Luis Carlos Paschoarelli

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual

Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2015

1. Design. 2. Ergonomia. 3. Modelagem. 4. Protótipos 5. Prototipagem Rápida

2. . I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DOUGLAS DANIEL PEREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DO(A) FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO DE BAURU.

Aos 30 dias do mês de julho do ano de 2015, às 14:00 horas, no(a) Auditório dos Programas de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru, Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. MANOEL GUEDES ALCOFORADO NETO do(a) Departamento de Design / Universidade Federal de Pernambuco, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DOUGLAS DANIEL PEREIRA, intitulado "O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI

Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

Prof. Dr. MANOEL GUEDES ALCOFORADO NETO

Banca de avaliação

Titulares

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Orientador

Prof. Dr. Joao Eduardo Guarnetti dos Santos

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Prof. Dr. Manoel Guedes Alcoforado Neto

Universidade Federal de Pernambuco

Suplentes

Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Prof. Dr. Giselle Schmidt Alves Diaz Merino

Universidade do Estado de Santa Catarina

Dedicatória

A eles que são o alicerce e a base de tudo, fontes de inspiração, exemplo, amizade, amor, carinho e companheirismo.

Pai, Wilson Alves Pereira

Mãe, Maria Benedita A. Oliveira Pereira

Irmão, Diego Dalvan Pereira

Irmã, Daniele Alves Pereira

Namorada, Jamille Noretza de Lima Lanutti

Agradecimentos

Á DEUS

Pela vida e proteção sempre.

A NOSSA SENHORA APARECIDA, mãe que sempre caminha ao meu lado,
guardando e iluminando.

Ao meu pai e minha mãe pelo amor, carinho e apoio incondicional sempre.
Por me permitirem e sempre me incentivarem a estudar e ter a chance de conquistar
meus sonhos.

Ao meu irmão e minha irmã pela amizade e amor de irmão e pela ajuda e apoio ao
longo desses anos.

A minha namorada que sempre me apóia e me ajuda. Obrigado pelo cuidado,
incentivo e amor, mesmo nos momentos difíceis e por sempre acreditar no meu
potencial.

A minha avó Therezinha, que me ajuda e incentiva a todo o momento.

A todos os meus familiares que de alguma forma me incentivaram.

Ao Prof. Luis Carlos Paschoarelli, por acreditar, no potencial desse projeto, obrigado
pelo apoio, ajuda, atenção e amizade.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação por compartilharem seus
conhecimentos, sabedorias e experiências. Em especial aos professores Osmar
Vicente Rodrigues e José Carlos Plácido da Silva pela cuidadosa contribuição com
este trabalho e ao professor Joao Eduardo Guarnetti dos Santos por aceitar
participar da banca.

Ao Prof. Manoel Guedes Alcoforado Neto, pelo auxílio intelectual e material, que
fizeram toda diferença para que este projeto fosse realizado e pela amizade.

Aos funcionários da seção de Pós-graduação pela atenção e empenho sempre.

A equipe do Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos – CADEP.

Aos técnicos do Laboratório Didático de Materiais e Protótipos – LDMP.

E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes.

Muito Obrigado.

Aprendi a viver na necessidade e aprendi a viver na abundância; estou acostumado a toda e qualquer situação; viver saciado e passar fome, ter abundância e passar necessidade. Tudo posso naquele que me fortalece.

(Filipenses 4, 12 – 13)

Eu posso não ter ido para onde eu pretendia ir, mas eu creio que estou exatamente onde deveria estar.

(Douglas Adams)

Resumo

O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos.

O design ergonômico trata da relação do homem com os produtos e sistemas, seus métodos preconizam o uso de testes durante o desenvolvimento do produto e para isto, é necessária a utilização de modelos, que muitas vezes só são utilizados para verificação, seja ela morfológica, estética, entre outras. No entanto os modelos também devem ser utilizados para a avaliação das funções práticas do produto. Levando a importância de se categorizar os diferentes tipos de mock-ups, modelos e protótipos para as diferentes formas de avaliação, este estudo tem o objetivo de determinar qual técnica de prototipagem (Tradicional e Prototipagem rápida) é mais adequada a cada tipo de análise dentro do processo de Design Ergonômico. Para isso foram construídos 16 modelos com diferentes técnicas e materiais que foram analisados e testados com 15 profissionais com conhecimento de protótipos e desenvolvimento de produto. Os Modelos foram avaliados levando-se em consideração aspectos relacionados à Função estética, Função prática e Função simbólica. Os modelos foram avaliados sob a percepção dos especialistas e analisados estatisticamente por meio do teste não paramétrico Wilcoxon, determinando como resultado a classificação da ordem e os grupos ao qual cada modelo pertence, bem como sua aplicação em diferentes etapas metodológicas do Design Ergonômico.

Palavras-chave: *Design, Ergonomia, Modelagem, Protótipos, Prototipagem Rápida*

Abstract

The use of modeling applied to ergonomics in product development.

The ergonomic design deals with man's relationship with the products and systems, methods advocated the use of tests during product development and for this, the use of models is needed, which are often only used for verification, whether morphological, aesthetics, among others. However, the models must also be used for the evaluation of functions of the product. Taking the importance of categorizing the different types of mock-ups, models and prototypes for the different forms of assessment, this study aims to determine which prototyping technique (Traditional and Rapid Prototyping) is best suited to each type of analysis within Ergonomic Design of the process. For that they were built 16 models with different techniques and materials that were analyzed and tested with 15 professionals with knowledge of prototypes and product development. Models were evaluated taking into account aspects related to the aesthetic function, function practical and function symbolic. The models were evaluated from the perception of experts and were analyzed statistically using the nonparametric Wilcoxon test, determining as a result the order classification and the groups to which each model belongs as well as its application and different methodologies Ergonomic Design.

Keywords: *Design, ergonomics, Modeling, Prototyping, Rapid Prototyping*

Lista de figuras

Figura 1. Metodologia Ergonômica desenvolvida por Ergonomi Design Gruppen (1997)	40
Figura 2. Metodologia Ergonômica desenvolvida pelo Product Safety and Testing Group	41
Figura 3. Metodologia Ergonômica desenvolvida por Sandvik (1997)	41
Figura 4. Metodologia Ergonômica desenvolvida por Frisoni e Moraes (2001)	42
Figura 5. Modelagem manual em plastilina	59
Figura 6. Maquete de arquitetura	60
Figura 7. Molde em alginato	61
Figura 8. Estecas utilizadas para modelagem	61
Figura 9. Clay em processo de usinagem	62
Figura 10. Diferentes tipos de clay	63
Figura 11. Modelo de madeira usinado	63
Figura 12. Molde em gesso-pedra	64
Figura 13. Usinagem manual de Poliuretano Rígida	65
Figura 14. Usinagem manual de Poliuretano Líquido	66
Figura 15. Modelo de cera para fabricação de joia	67
Figura 16. Modelos feitos em papel	68
Figura 17. Modelo em poliestireno	69
Figura 18. Peças em resina de poliuretano	70
Figura 19. Peças em resina de poliéster com carga	71
Figura 20. Laminação com resina de poliéster e fibra de vidro	72
Figura 21. Reparo e acabamento feito com massa plástica	72
Figura 22. Embalagem de cappuccino	80
Figura 23. Cama feita em plastilina para acomodar a peça que será moldada	83
Figura 24. Marcas que servirão de guia para o encaixe do molde	83
Figura 25. Parede de sustentação para conter o silicone	83
Figura 26. Mistura silicone /catalisador e construção da primeira parte do molde.	84
Figura 27. Plastilina sendo retirada	85
Figura 28. Construção da segunda parte do molde	85
Figura 29. Molde de Silicone	85
Figura 30. Resina, Massa plástica e Monômero	86

Figura 31. Mistura dos componentes.....	87
Figura 32. Preenchimento do molde	87
Figura 33. Abertura do molde e modelo em resina poliéster.....	88
Figura 34. Pesagem e separação dos componentes da resina de Poliuretano	89
Figura 35. Mistura dos componentes A e B	89
Figura 36. Preenchimento do molde.....	90
Figura 37. Abertura do molde e modelo em resina de Poliuretano	90
Figura 38. Processo de Rotomoldagem.....	91
Figura 39. Abertura do molde e modelo rotomoldado	92
Figura 40. Água e Gesso-pedra.....	93
Figura 41. Mistura da quantidade gesso/água.....	93
Figura 42. Mistura do gesso com a água e consistência final	94
Figura 43. Preenchimento do molde	94
Figura 44. Abertura do molde	95
Figura 45. Modelo final em gesso	95
Figura 46. Molde de Silicone para o casting em cera.	96
Figura 47. Cera sendo aquecida e derretida.....	96
Figura 48. Preenchimento do molde com cera	97
Figura 49. Abertura do molde e modelo em cera.....	97
Figura 50. Modelo em cera por processo de rotomoldagem.....	98
Figura 51. Desenho técnico do objeto	99
Figura 52. Forma inicial de papel e fita adesiva	99
Figura 53. Camadas de papel sendo coladas.....	100
Figura 54. Modelo finalizado com uma ultima camada de cola.....	100
Figura 55. Forma inicial do modelo feito com papel e fita adesiva.....	101
Figura 56. Blocagem com o clay.....	101
Figura 57. Refinamento da forma utilizando esteca	102
Figura 58. Modelo em clay.....	102
Figura 59. Bloco de MDF	103
Figura 60. Vistas do objeto coladas no bloco de MDF	103
Figura 61. Corte com auxílio da serra de fita	104
Figura 62. Processo de lixamento e acabamento	104
Figura 63. Modelo virtual	105
Figura 64. Modelo virtual fatiado com o auxílio do software.....	106

Figura 65. Desenhos gerados pelo software colados na chapa de MDF	106
Figura 66. Fatia com encaixes sendo cortada na serra de fita.....	107
Figura 67. Fatias lixadas e com acabamento.....	107
Figura 68. Colagem das fatias na ordem especificada pelo software	108
Figura 69. Modelo de chapa de MDF com encaixes finalizados	108
Figura 70. Modelo virtual Fatiado.....	109
Figura 71. Fatias geradas pelo software.....	110
Figura 72. Desenho gerado pelo software colado na chapa de MDF	110
Figura 73. Fatia sendo cortada com auxilio da serra de fita.....	111
Figura 74. Colagem das fatias em ordem numérica.....	111
Figura 75. Modelo com planos seriado finalizado	111
Figura 76. Bloco de espuma de poliuretano	112
Figura 77. Desenhos das vistas coladas no bloco de Poliuretano	113
Figura 78. Cortes do bloco de Poliuretano utilizando serra de fita	113
Figura 79. Modelo de Poliuretano recebendo acabamento.....	113
Figura 80. Modelagem virtual do objeto	115
Figura 81. Objeto virtual finalizado.	115
Figura 82. Modelo virtual do objeto que será utilizado para impressão.....	116
Figura 83. Imagens do modelo já preparado pelo software da Impressora.....	117
Figura 84. Impressora Z Builder trabalhando.....	117
Figura 85. Impressora Z Builder finalizando trabalho.....	118
Figura 86. Objeto impresso na Z Builder finalizado	118
Figura 87. Objeto virtual já editado e preparado no software da impressora	119
Figura 88. Objeto sendo produzido na impressora Z Printer.....	120
Figura 89. Objeto Impresso na Z Printer finalizado	120
Figura 90. Objeto editado pelo software da CNC.....	121
Figura 91. Objeto sendo usinado na CNC Roland.....	122
Figura 92. Fase de acabamento	122
Figura 93. Modelo finalizado na Roland CNC	123
Figura 94. Software de edição da Router.....	124
Figura 95. Processo de usinagem da Fresadora Router.....	125
Figura 96. Fase de acabamento	125
Figura 97. Modelo usinado na Router finalizado	126
Figura 98. Balança Digital.....	127

Figura 99. Paquímetro Digital Mitutoyo, utilizado na medição dos modelos	127
Figura 100. Impressora Z- Builder	128
Figura 101. Impressora Z- Printer	129
Figura 102. Fresadora CNC Roland MDX 540	129
Figura 103. Fresadora Router CNC.....	130
Figura 104. Participantes avaliando modelos durante teste	131
Figura 105. Comparação dos critérios com os modelos tradicionais	138
Figura 106. Comparação dos critérios com os modelos de prototipagem rápida.....	139
Figura 107. Comparação dos modelos que apresentam funcionalidade	141
Figura 108. Comparação dos modelos em relação ao critério Superfície	142
Figura 109. Comparação dos modelos em relação ao critério Cor	145
Figura 110. Comparação dos modelos em relação ao critério Textura	147
Figura 111. Comparação dos modelos em relação ao critério Fidelidade da Forma	149
Figura 112. Comparação dos modelos em relação ao critério Coração	152
Figura 113. Comparação dos modelos em relação ao critério Ergonomia.....	154
Figura 114. Comparação dos modelos em relação ao critério Propriedades Físicas	156
Figura 115. Comparação dos modelos em relação ao critério testes experimentais	159

Lista de tabelas

Tabela 1. Equipamentos, Técnicas e Materiais dos modelos desenvolvidos.....	81
Tabela 2. Peso e medida dos modelos	134
Tabela 3. Comparação de custo e tempo de execução dos modelos	136
Tabela 4. Ordem dos Modelos antes e depois	161
Tabela 5. Grupos de Modelos estabelecidos pela análise estatística.....	162
Tabela 6. Grupos de Modelos estabelecidos pela análise estatística organizados	163
Tabela 7. Análise e comparações dos modelos dentro da literatura e ergonomia.....	163

Sumário

Folha de rosto.....	III
Banca de avaliação	V
Dedicatória	VI
Agradecimento.....	VII
Resumo	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XI
Lista de tabelas.....	XV
1. Introdução	21
1.1. Questão, hipótese e objetivo da pesquisa	24
1.1.1 Questão de pesquisa	24
1.1.2 Hipótese	24
1.1.3 Objetivo Geral	24
1.1.4 Objetivos específicos	25
1.2 Justificativa	25
2. Referencial Teórico	26
2.1 Conceito de Design	26
2.1.1 Design e Interdisciplinaridade.....	29
2.1.2 Design e Ergonomia	31
2.2 Modelagem, Ergonomia e Design	33
2.2.1 Modelagem em Design	33
2.2.2 Modelagem e ergonomia.....	33

2.2.3 A Ergonomia no Desenvolvimento de Projeto de Produto	37
2.2.4 Design ergonômico, Metodologias e o uso de Modelos.....	39
2.2.5 Desenvolvimento de Produto	42
2.2.5.1 Design de produto	42
2.2.5.2 Protótipos e sua importância	45
2.2.5.3 Representações do produto nas fases iniciais do projeto	48
2.2.6 Tipos de Protótipos	49
2.2.6.1 Maquete	50
2.2.6.2 Modelos Volumétricos	51
2.2.6.3 Mock-ups	52
2.2.6.4 Modelos de apresentação	53
2.2.6.5 Protótipos.....	53
2.2.7 Técnicas de prototipagem	55
2.2.7.1 Classificações das técnicas de prototipagem tradicional	58
2.2.7.1.1 Modelagem manual	59
2.2.7.1.2 Maquetismo	60
2.2.7.1.3 Construção de moldes	60
2.2.8 Materiais	61
2.2.8.1 Clay.....	61
2.2.8.2 Madeira	63
2.2.8.3 Gesso	64
2.2.8.4 Espuma de poliuretano	65
2.2.8.5 Cera	67
2.2.8.6 Papel	68
2.2.8.7 Poliestireno	69
2.2.8.8 Resina de Poliuretano	70
2.2.8.9 Resina de Poliéster	71
2.2.8.10 Massa plástica	72
2.2.9 Classificação das técnicas de Prototipagem Rápida	73
2.2.10 Prototipagem Subtrativa	75
2.2.10.1 CNC	75

2.2.10.2 Fresadoras	76
2.2.11 Prototipagem Aditiva	77
2.2.11.1 Estereolitografia (SLA, Stereolithography Apparatus).....	77
2.2.11.2 Impressão Tridimensional com pó (3D Print)	78
2.2.11.3 Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, Fused Deposition Modeling)	79
3. Materiais e Métodos	80
3.1 Objetos de estudo	80
3.2 Desenvolvimento dos modelos	82
3.2.1 Técnica de construção de molde bipartido com Silicone	82
3.2.2 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e resina de Poliéster	86
3.2.3 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e resina de Poliuretano	88
3.2.4 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e resina de Poliuretano (Rotomoldagem)	91
3.2.5 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e Gesso	92
3.2.6 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e Cera	96
3.2.7 Técnica de construção de modelo utilizando Papel	98
3.2.8 Técnica de construção de modelo utilizando Clay	101
3.2.9 Técnica de construção de modelo utilizando Madeira (MDF)	103
3.2.10 Técnica de construção de modelo utilizando Madeira (MDF) técnica de encaixe de placas	105
3.2.11 Técnica de construção de modelo utilizando Madeira (MDF) técnica de modelo fatiado ou placas empilhadas	109
3.2.12 Técnica de construção de modelo utilizando Espuma de Poliuretano	112
3.2.13 Construção de um modelo virtual CAD	114
3.2.14 Construção do modelo na z Builder	116
3.2.15 Construção do modelo na z Printer	119

3.2.16 Construção do modelo na Roland	121
3.2.17 Construção do modelo na Router	123
3.3 Equipamentos	126
3.3.1 Balança	127
3.3.2 Paquímetro	127
3.3.3 ZBuilder	128
3.3.4 Z-Printer	128
3.3.5 CNC Roland	129
3.3.6 Router CNC	130
3.4 Protocolos	130
3.5 Sujeitos	131
3.6 Coleta de dados	131
3.7 Análise dos dados	132
4. Resultados e Discussões	134
4.1 Pesos e dimensões	134
4.2 Custo	135
4.3 Funções dos modelos	137
4.3.1 Modelos técnicas tradicionais	138
4.3.2 Modelos prototipagem rápida	139
4.3.3 Comparação das técnicas em relação à função dos produtos.....	140
4.4 Comparação dos modelos	141
4.4.1 Superfície	142
4.4.2 Cor	144
4.4.3 Textura	146
4.4.4 Fidelidade da Forma	148
4.4.5 Coração	151
4.4.6 Ergonomia	153
4.4.7 Propriedades Físicas	156
4.4.8 Testes Experimentais	158

4.5 Síntese dos Resultados e Discussões	160
5. Considerações Finais.....	167
6. Referências.....	169

1. Introdução

O designer é um elemento fundamental no desenvolvimento de produtos e sistemas e deve sempre buscar durante o desenvolvimento de projetos ferramentas e outras áreas que o auxiliem na busca por Inovação, Tecnologia, Usabilidade, Funcionalidade, Estética, almejando assim produtos e sistemas que tenham como foco os usuários e a suas experiências com os produtos.

O Design como uma atividade de projeto também apresenta um caráter interdisciplinar e multidisciplinar e tem se apoiado nas mais variadas áreas do conhecimento para validar e corroborar pesquisas e o desenvolvimento de produtos, uma dessas áreas é a Ergonomia que associada ao Design geram conhecimentos que podem ser aproveitados no desenvolvimento de projeto das mais variadas áreas, gerando produtos mais seguros, confortáveis, aceitáveis e efetivos.

Podendo-se afirmar que a ergonomia apresenta um importante papel no desenvolvimento de novos produtos, pois estuda a interação do homem com os objetos a sua volta, tratando de garantir a eficiência, a eficácia e a agradabilidade no desenvolvimento de novos produtos e tem o objetivo de conferir aos mesmos a capacidade de ser fácil de usar e rápido de aprender.

Levando em conta não só os aspectos físicos, mas também as sensações e impressões dos sujeitos no momento da interface, ampliando o conceito de interface em relação às funções que o produto pode assumir.

O design ergonômico trata da relação do homem com os produtos e sistemas, seus métodos preconizam o uso de testes durante o desenvolvimento do produto e para isto, é necessária a utilização de modelos, que podem ainda ser utilizados para verificação, seja ela morfológica, estética, entre outras.

Desse modo observa-se que testes feitos com modelos durante o desenvolvimento de projeto de produto é indispensável, pois a materialização de ideias que possam auxiliar o designer durante o projeto é fundamental. Afinal protótipos permitem uma interação e análise não só com a equipe de projeto, mas também com o usuário, oferecendo a possibilidade de que o produto seja projetado, permitindo sua opinião e avaliação em cada uma das etapas.

Outro grande fator no uso de modelos é o de conhecer e categorizar os diferentes tipos de mock-ups, modelos e protótipos para as diferentes formas de avaliação e os diferentes tipos de materiais e técnicas que podem ser empregados na construção dos mesmos.

Isso faz com que menos erros sejam cometidos ao longo do processo de desenvolvimento, pois ao construir um modelo o designer tem a possibilidade de testar aquela ideia ou forma e corrigir qualquer eventual erro ainda no início do projeto.

Os designers fazem uso de diversos materiais que facilitam e auxiliam a materialização de suas ideias, materiais esses que vão desde os mais simples e rudimentares como papéis e cola até os mais atuais e sofisticados, como a modelagem tridimensional e a prototipagem rápida.

Outro fator importante para o desenvolvimento de produtos é a comunicação entre o Design e as outras áreas do conhecimento, que associada a esses materiais e tecnologias se transformam em uma estratégia poderosa para o desenvolvimento de produtos e sistemas mais efetivos.

Este projeto tem como objetivo de determinar qual a técnica de prototipagem é mais adequado a cada tipo de análise dentro do processo de Design Ergonômico. Realizando ainda uma revisão dos diversos materiais e tecnologias que são utilizados para a confecção de modelos e protótipos e construindo diversos modelos,

com o intuito de testar qual modelo é mais adequado para cada etapa metodológica do desenvolvimento de produtos.

1.1 Questão, hipótese e objetivo da pesquisa

1.1.1 Questão de pesquisa

A questão de pesquisa deste trabalho surgiu de uma preocupação com relação aos aspectos metodológicos para o desenvolvimento de produtos ditos ergonômicos e com a diminuição do uso de modelos que ajustem de fato a interface usuário-produto já durante o processo de criação destes objetos. Assim, com base na revisão realizada em torno desta constatação surgiu à problemática: Considerando os aspectos relacionados ao Design e a Ergonomia, diferentes técnicas de prototipagem permitem analisar diferentes aspectos do produto durante seu processo de desenvolvimento?

1.1.2 Hipótese

Diferentes protótipos permitem diferentes interações e percepções de usuários e profissionais e por isso devem ser utilizados em diferentes fases do desenvolvimento de produtos ergonômicos.

1.1.3 Objetivo Geral

Determinar qual a técnica de prototipagem e tipo de modelo é mais adequado a cada tipo de análise dentro das etapas do processo de desenvolvimento de produto em Design,

1.1.4 Objetivos específicos

1. A partir de uma revisão da literatura determinar os conceitos pertinentes ao tema proposto, buscando compreender e relação entre Design e Protótipos no projeto de desenvolvimento de um produto.
2. Pesquisar o estado da arte das técnicas e tecnologias de prototipagem.
3. Realizar experimentos com as diversas técnicas de prototipagem tradicionais e digitais a fim de verificar que variáveis ergonômicas e tecnológicas que podem ser analisadas por cada uma delas.
4. Realizar experimentos das diversas técnicas com profissionais que tenham experiência com modelos aplicados no desenvolvimento de produto, com o intuito de classificar qual modelo e técnica é mais adequado a cada etapa do desenvolvimento de produto.

1.2 Justificativa

Faltam estudos que orientem qual a técnica e a tecnologia de prototipagem mais adequada para a realização dos diferentes tipos de análise ergonômica de produtos.

Existem diversos fatores que podem ser analisados durante a experimentação com as diversas técnicas e tecnologias de prototipagem e que ainda não foram devidamente estudados, incluindo:

- Aspectos referentes à funcionalidade, usabilidade e estética dos novos produtos;
- Aspectos técnicos como: custo, tempo, resistência e demais propriedades físicas dos protótipos.

2. Referencial teórico

2.1 Conceito de Design

O Design ou *industrial design* como era conhecido apresenta sua origem na Europa do século XVIII, a qual passou por mudanças políticas, econômicas, culturais e sociais, e culminou na Revolução Industrial (DOLZAN, 2008). A palavra *design* tem sua origem inglesa, e significa tanto desenho quanto projeto. Segundo Picarelli et al. (1983) *design* quer dizer projetar, conceber, criar, inventar, e não desenho como simples representação gráfica. Em latim, *designare* quer dizer escolher por sinais. Em espanhol, equivalem as palavras *dibujo* e *diseño*. Em português, desenho (STRUNCK, 2001).

‘Desenho Industrial’ é a tradução que tem sido empregado do termo inglês *industrial design* (PICARELLI et al., 1983). Segundo Strunck (2001) são tantos os designativos para a profissão que sempre surge uma questão referente à necessidade de encontrar-se um único nome, capaz de sintetizar e traduzir todos os afazeres da profissão. Além disso, o caráter interdisciplinar que a práxis do Design sempre teve que buscar e que permite sua aplicação nos mais variados projetos, e sua necessidade de se comunicar com outras áreas do conhecimento também constituiu grande desafio para compreensão da profissão.

O termo ‘Desenho industrial’ foi usado durante muitos anos, mas não é uma boa designação pelo fato da palavra desenho se referir a uma expressão e não a concepção, e quando junta a palavra *industrial*, logo se associa ao desenho técnico. A palavra ‘Design’ é usada com frequência na publicidade como atributo de qualidade e diferencial de valor entre os produtos (STRUNCK, 2001).

O termo ‘Design’ atualmente tem sido banalizado e apresentado às pessoas das mais diversas formas, o que muitas vezes implica na não compreensão do seu real significado, ou em outros casos o Design é ligado simplesmente a decoração e

estética de um produto, sendo considerado apenas um aspecto superficial do mesmo. Em outros casos o termo aparece como algo inacessível que tem um alto valor e está direcionado apenas para pessoas com um alto poder aquisitivo.

Muitas vezes é utilizado para os mais diversos tipos de projeto como Design automobilístico, Design de embalagem, Design de mobiliário, Design de Moda, Design de jóias, Design de Ambientes, Design de interiores, Design de iluminação e é bastante utilizado pelo marketing com o intuito de atribuir valor e status a um produto.

A falta de um entendimento do significado e do valor do Design, tanto pelos usuários como pelas indústrias, tem contribuído para a produção e o descarte de objetos, que a cada nova versão, ganha uma nova forma ou um novo componente desencadeando assim o consumo desenfreado.

De acordo com Cardoso (2008) a origem da palavra inglesa 'design' é um substantivo que se refere tanto à ideia de plano, desígnio, intenção, quanto de configuração, arranjo, estrutura. E a origem mais remota do latim *designare* significa designar ou desenhar. Ao que o autor observa como sendo definições que já carregam em si certa ambiguidade, quanto ao caráter abstrato (projetual) ou concreto do profissional (produzir).

O Design é uma área de conhecimento correlato ao desenvolvimento do projeto do produto, com o intuito de atender às exigências e às expectativas do homem (produtor, consumidor, usuário e expectador), em sua concepção produtiva.

Segundo Löbach (2001), o conceito de Design pode ser entendido como “toda atividade que tende a transformar em produto industrial passível de fabricação, as ideias para a satisfação de determinadas necessidades de um indivíduo ou grupo”. (p. 17), ou seja, é “um processo de adaptação dos produtos de uso, fabricados industrialmente, às necessidades físicas e psíquicas dos usuários ou grupo de usuários”. (p. 21). Tais necessidades “têm origem em alguma carência e ditam o comportamento humano visando à eliminação dos estados não desejados. [...]

Quando as necessidades são satisfeitas, o homem sente prazer, bem-estar, relaxamento”. (p. 26).

O Design é considerado um fenômeno do século XX, que surgiu progressivamente com os primórdios da Revolução Industrial, a qual despontou as funções de criação, produção e venda. Antes a fabricação era concentrada apenas em modelos artesanais, mas com as mudanças históricas, políticas, econômicas, sociais e o rápido progresso da tecnologia, a evolução das funções dos produtos – que antes era ligada a descobertas em uma produção unitária ou em pequenas séries – deu início a uma tentativa de unir arte e indústria (CARDOSO, 2008).

Segundo Relvas (2002) o termo design deve ser entendido como o processo de transformar as ideias em coisas materiais.

O sucesso do design é substancialmente suportado pela capacidade de permitir que o fabricante diferencie seu produto para além da tecnologia, criando além de formas inovadoras um produto que satisfaça o seu usuário em todos os sentidos.

A atividade do designer está ligada ao desenvolvimento de um produto e sua respectiva produção com o intuito de criar produtos que sigam e preconizem novos estilos, integrem novas tecnologias, promovam a evolução e a criação de novos mercados. O design também se constitui como parte integrante e inseparável da inovação e pode contribuir para o aumento da inovação e o progresso, diversificação da inovação e a modernização e remodelação, inovação radical e as novas capacidades e produtos (RELVAS 2002).

Assim é visível a importância do design no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, bem como para contribuir de maneira significativa para a melhoria de projetos já existente, pois o mesmo associado às técnicas de prototipagem que auxiliam na descoberta de possíveis problemas, colaborando para o desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades dos usuários.

2.1.1 Design e Interdisciplinaridade

O Design é uma atividade muito ampla, que consiste em criar produtos, objetos ou sistemas que serão em seguida fabricados e comercializados. Esses objetos vão interagir com o homem ao longo da sua vida facilitando suas atividades diárias e a sua sobrevivência, podendo estar relacionados às atividades profissionais ou cotidianas.

Csikszentmihaly e Rochberg-Halton (1991) dizem que os objetos com os quais as pessoas interagem “não são simplesmente ferramentas úteis á sobrevivência, ou seja, não servem apenas para tornar o dia a dia mais fácil e confortável”.

Os objetos desenvolvidos pelo homem estão diretamente relacionados, entre outros fatores, ao modo de vida das pessoas e a maneira como elas constroem suas identidades e ao modo como desenvolvem e sustentam suas práticas culturais (MERKE; SANTOS, 2001).

O fato de o Design utilizar parâmetros econômicos, técnicos e estéticos, relacionando conceitos que vão desde o uso dos fatores simbólicos, culturais aos econômicos, sociais, históricos e antropométricos, faz desta uma área muito abrangente no desenvolvimento de produtos, o que pode desenvolver sua atividade específica ou até mesmo se envolver em outros setores e atuar com equipes interdisciplinares (PICARELLI et al., 1983; SCHULMANN, 1994).

De acordo com Volpato et al. (2007) “o processo de desenvolvimento de produtos apresenta uma natureza multi e interdisciplinar”, que tem a necessidade de um ambiente de trabalho altamente flexível, especialmente nas fases iniciais de concepção, permitindo explorar a criatividade que está intimamente relacionada com a inovação, exigindo uma abordagem integrativa que permita alta flexibilidade no desenvolvimento do produto.

A Importância que o Design vem adquirindo ao longo dos anos junto às

empresas, instituições de pesquisa aplicada, disciplinas tecnológicas, econômicas e administrativas, é consequência do esforço realizado por um reduzido setor de ofício do Design e principalmente pelo reconhecimento de sua validade e contribuição tecnológica e mercadológica por parte das disciplinas não projetuais. Estas permitem que o papel do Design seja o de participar e colaborar no surgimento das inovações tecnológicas em grupos interdisciplinares (LOBACH, 2001; IIDA, 2005).

Segundo Iida (2005), por se tratar de uma área muito abrangente, o Design pode contribuir melhorando a condição e a organização do trabalho, além de orientar o projeto de máquinas e equipamentos. A Ergonomia é uma das áreas que o Design compartilha com outras áreas como a Fisioterapia, e pode atuar como mediadora, fazendo com que o Design interaja e colabore com projetos desenvolvidos em outras áreas como a Engenharia.

Os produtos que acompanham nossa vida diariamente, em sua maioria foram objetos de um estudo do Design. Logo, se pode afirmar que está é uma atividade que tem por base criar, com propósito de determinar as qualidades formais dos objetos produzidos industrialmente. Sabe-se que qualidades formais não são apenas as características externas relacionadas à estética, mas também as relações estruturais e funcionais (SCHULMANN, 1994).

Assim, resume-se que o desenvolvimento de um produto dentro do Design é caracterizado por uma relação interdisciplinar que necessita do envolvimento e da contribuição de outras áreas do conhecimento. Essa relação que o design tem com essas outras áreas faz com que o mesmo possa transitar e colaborar para o desenvolvimento de produtos e sistemas que facilitem o dia-dia dos usuários e amenizem problemas de forma mais completa e abrangente.

2.1.2 Design e Ergonomia

A Ergonomia é definida pela IEA (2013) (International Ergonomics Association) como:

“uma disciplina científica que estuda as interações dos homens com outros elementos do sistema, fazendo aplicações da teoria, princípios e métodos de projeto, com o objetivo de melhorar o bem estar humano e o desempenho global do sistema.”

Hendrick (1993) aproxima Design e Ergonomia ao definir

“[...] a ergonomia como ciência trata de desenvolver conhecimentos sobre as capacidades, limites e outras características do desempenho humano e que se relacionam com o projeto de interfaces entre indivíduos e outros componentes do sistema. Como prática, a ergonomia compreende a aplicação da tecnologia na interface homem-sistema, aos projetos ou modificações de sistemas, para aumentar a segurança, o conforto e a eficiência do sistema e da qualidade de vida” (p. 43).

A Ergonomia, junto ao Design, trabalha no desenvolvimento e melhoria de produtos a fim de estabelecer segurança e conforto. De acordo com Paschoarelli (1997) o Design e a Ergonomia podem ser considerados disciplinas científicas responsáveis pela compreensão da relação entre homem e tecnologia, em que a primeira determina métodos para desenvolvimento de produtos e a segunda ajusta estes produtos às necessidades e às capacidades humanas.

Da interação entre estas duas disciplinas científicas surge o Design Ergonômico, que segundo Paschoarelli (2003), se caracteriza pela intervenção ergonômica no âmbito projetual, visando minimizar os problemas dessa interface através da satisfação, do conforto, da segurança e do desempenho proporcionado aos usuários.

Um exemplo de estudo em que a Ergonomia se associa com o Design é o de Paschoarelli (2003), que propôs um método de avaliação de instrumentos manuais e aplicação dos resultados encontrados no redesenho ergonômico de transdutor de ultrassonografia. Para essa avaliação foi necessário a construção de modelos virtuais e *mock-ups* físicos, a fim de analisar e validar qual redesenho apresentava um melhor Design Ergonômico.

2.2 Modelagem, ergonomia e Design

2.2.1 Modelagem em Design

O Design é caracterizado como atividade projetual responsável em configurar os aspectos formais e utilitários de um produto ou sistema. Assim o desenvolvimento de novos produtos é uma atividade complexa, envolvendo diversos interesses e habilidades. Atividade esta que exige uma estratégia que minimize o risco de investimento presente no desenvolvimento do produto (BAXTER, 1998).

Neste contexto, construção de modelos físicos e representações tridimensionais (3D) de objetos e produtos é de grande importância, pois os mesmos simulam determinadas propriedades dos objetos ou produtos em estudo, permitindo corrigir defeitos e insuficiências do produto durante as etapas de projeto (PENNA, 2002).

Atualmente a abundância de programas gráficos e novas tecnologias, como o CAD (*Computer Aided Design*), e as representações visuais por computação estão ligadas, a quantidade, a qualidade, a precisão e a velocidade com que se pode realizar um projeto, além disso, o avanço no processo de imagens permite ampliar ainda mais a aplicação dos sistemas computadorizados ao projeto (ABRAMS, 1990).

A pesquisa e a associação da modelagem com metodologias de design corroboram para a obtenção de peças físicas melhor acabadas, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que permitem ao design interferir e fazer qualquer modificação em qualquer fase do projeto.

2.2.2 Modelagem e ergonomia

A modelagem é associada à ergonomia em algumas fases do desenvolvimento de um projeto de produto. De acordo com Paschoarelli (2003) dentro do Design há uma área que associada à ergonomia forma o Design Ergonômico, cujo princípio é a

aplicação do conhecimento ergonômico no projeto de dispositivos tecnológicos, com o objetivo de alcançar produtos e sistemas seguros, confortáveis, eficientes, efetivos e aceitáveis.

Segundo o autor seus princípios baseiam-se na inter-relação entre usabilidade, ergonomia e design; entretanto, são os seus procedimentos metodológicos os aspectos que mais se destacam, uma vez que são criados para melhorar o desenvolvimento de produtos através da compreensão da interação entre todos os aspectos humanos e os mais variados e distintos dispositivos tecnológicos (PASCHOARELLI, 2003).

Produto esses que para serem testados e analisados precisam ser materializados seja no aspecto físico, através de diversos materiais e técnicas, ou através de softwares, no meio virtual utilizando modelos tridimensionais.

Woldstad (2006) afirma que os modelos tridimensionais estão cada vez mais sendo usados em estudos de ergonomia e na engenharia para projetar os equipamentos e ambientes de trabalho para atender às necessidades dos usuários, tendo como vantagem o fato de 'permitir que o designer explore as vantagens e desvantagens potenciais de diferentes configurações de concepção.

Este autor ainda ressalta que o modelo digital pode auxiliar no posicionamento e na manipulação de diferentes tamanhos antropométricos no ambiente de trabalho, gerando uma variedade de métodos de análise. Tornando - se uma ferramenta indispensável tanto para a engenharia e o design, quanto para a ergonomia.

Uma vez que a ergonomia trata de estudos científicos relativos ao homem e as necessidades de conceber instrumentos, máquinas e dispositivos de maneira que possam ser utilizados de forma correta e confortável (WISNER, 1987 apud. LOPES e NAVEIRO, 1998), a associação com a modelagem pode ser bastante eficaz.

Lopes e Naveiro (1998) afirmam que para comprovar e validar as capacidades que os produtos têm de responder as exigências de uso para o qual foram projetados é necessário à construção de modelos.

Assim são destacados estudos que envolvem o uso da modelagem tridimensional (virtual) e tradicional (física) na análise e obtenção de dados antropométricos, a fim de auxiliar o projeto de produtos.

Como exemplo Buchholz e Armstrong (1991) com um estudo e que teve como objetivo desenvolver um modelo preditivo da mão humana para estimar os efeitos que a antropometria e o tamanho do objeto tem na postura de preensão da mão, criando um modelo cinemático.

Rogers et al. (2008) realizaram um estudo cujo objetivo foi desenvolver a partir de dados antropométricos, um modelo tridimensional da mão, em quatro posturas funcionais. Estas posturas foram selecionadas para dar suporte de uma variedade de posturas funcionais usadas para o desenho de ferramentas. Sendo importante ressaltar que estas foram selecionadas como posturas extremas possíveis para o uso de ferramentas manuais diversas. Neste estudo participaram 107 sujeitos, sem nenhum trauma ou lesão na mão. Os participantes tiveram a mão direita esquadrejada e marcada com 66 pontos, que em seguida – com a ajuda de um scanner – foi digitalizada em 4 posições simulando o uso de ferramentas manuais.

Os modelos de mãos desenvolvidos em software 3D foram armazenados, permitindo gerar um banco de dados com diversos tamanhos de mãos e posturas que poderiam ser utilizadas em softwares 3D, na interação com ferramentas tridimensionais ainda em desenvolvimento, gerando assim possíveis melhorias em ferramentas manuais, simulando a empunhadura e o manuseio de ferramentas.

Ferrario et al. (2007) realizou um estudo onde o objetivo era coletar dados antropométricos de narizes de indivíduos adultos saudáveis a fim de gerar um banco

de dados de modelos tridimensionais que auxiliasse médicos e pesquisadores na avaliação de doenças relacionadas ao nariz, em cirurgias reconstrutivas ou em futuros estudos. Participaram desse estudo 20 sujeitos adultos, sendo todos os indivíduos de uma mesma etnia e sem nenhuma história prévia de trauma craniofacial ou anomalias congênitas. Os participantes também tiveram seus narizes digitalizados a fim de se obter os pontos e medidas exatas que foram utilizadas na confecção do modelo 3D.

Em seguida os narizes foram moldados com silicone assim um molde do nariz foi confeccionado e preenchido com gesso gerando um modelo final do nariz em gesso. Após a confecção do modelo de gesso o mesmo foi digitalizado e um modelo tridimensional foi criado a fim de se obter comparações entre os dois modelos, virtual e tradicional.

Li et al. (2008) desenvolveu um estudo em três níveis: o primeiro nível foi criar um modelo tridimensional 3D da mão a partir de um scanner, o segundo nível foi criar o mesmo modelo tridimensional confeccionado de forma tradicional utilizando resina, e o terceiro nível foi comparar os dois métodos dos níveis anteriores às medidas reais da mão humana. Foram coletadas as medidas das mãos de 40 participantes do sexo feminino, com objetivo de examinar as diferenças entre o método 3-D e método manual tradicional de se obter dados antropométricos.

Dessa forma, observando tais estudos, nota-se que cada vez mais a modelagem está ligada à ergonomia e essa associação pode auxiliar na concepção e desenvolvimento de produtos e corroborar com estudos que visam à usabilidade e a funcionalidade de produtos e sistemas.

2.2.3 A Ergonomia no Desenvolvimento de Projeto de Produto

A associação entre a ergonomia e o design é algo que vem se tornando cada vez mais importante no desenvolvimento de um projeto ou no marketing de uma empresa. Pois com o mercado acirrado e exigente, a ergonomia se torna um diferencial no desenvolvimento e na competição entre os produtos, garantindo a sustentação no mercado de um produto de qualidade, concebido com diretrizes voltadas para o usuário.

Para Relvas (2002) o desenvolvimento de um produto ergonômico, normalmente permite à empresa uma diferenciação em relação à concorrência, pois os produtos por ela produzidos poderão responder melhor as expectativas do usuário. Na verdade, a decisão de compra é estabelecida segundo critérios de preço, qualidade e atributos estéticos de produto, mas também baseado na análise comparativa da facilidade de utilização.

Estes aspectos estão se tornando cada vez mais relevantes para as empresas que produzem produtos destinados ao consumo de massa, objetos esses que são utilizados no cotidiano de forma intensiva e para as empresas que fabricam produtos mais específicos destinados a um público seletivo, onde o critério de escolha mais importante é o conforto de utilização.

Segundo Relvas (2002) com a complexidade cada vez maior dos produtos, a sua mais ampla gama de funcionalidades, assim como exigência dos procedimentos de utilização, fica evidente a importância dada ao Design centrado no usuário e a sua amigável utilização, aspecto esse que pode ser determinante pelo sucesso no mercado.

O processo de desenvolvimento de produto centrado no usuário, e consequentemente nos aspectos ergonômicos do produto, configuram um cenário vastamente superior ao processo no qual o produto é primeiramente desenvolvido e posteriormente alterado de acordo com os critérios ergonômicos.

Relvas (2002) afirma que existem benefícios óbvios em incorporar os aspectos ergonômicos logo na fase inicial do processo de desenvolvimento do produto. Em muitos casos são detectadas falhas que resultam de aspectos ergonômicos que foram negligenciados durante a fase de desenvolvimento. Não sendo também raro que muitas vezes os critérios ergonômicos são apenas levados em consideração pelas medidas antropométricas do usuário. Em muitos casos só após a produção do produto é que o mesmo passa por testes de medição e validação para verificar se satisfazem os critérios ergonômicos.

Embora se saiba que a ergonomia deve desempenhar um papel fundamental no processo de desenvolvimento centrado no usuário, garantindo que os produtos se ajustem perfeitamente ao usuário, e não os usuários serem forçados a adaptar-se a forma do produto (ROCKPORT, 2003).

Através da construção de modelos para testes e a participação dos usuários é possível desenvolver e projetar um produto ou sistema que satisfaça as necessidades do usuário, pois segundo Kotogiannis e Embrey (1997) o design centrado no usuário não significa projetar para o usuário, mas também projetar conjuntamente com os usuários.

Pheasant (1996) conclui que o objetivo da ergonomia consiste em encontrar a melhor união entre produto e os seus usuários, no contexto em que o projeto se desenvolva.

Assim a associação da ergonomia no desenvolvimento de novos produtos, os estudos ergonômicos e a confecção de modelos para testes não podem ser dissociados do design, do marketing, da análise funcional, da seleção de materiais, dos processos e tecnologias de fabricação e de métodos de embalagem, armazenamento e transporte.

2.2.4 Design ergonômico, Metodologias e o uso de Modelos

Um dos principais propósitos do Design Ergonômico é a aplicação do conhecimento ergonômico no desenvolvimento de dispositivos tecnológicos, com base em métodos que permitem analisar e prever a interação entre todos os aspectos humanos e os sistemas tecnológicos envolvidos (PASCHOARELLI; SANTOS, 2011).

De acordo com Stanton e Young (1999), pode-se afirmar que tais métodos procuram aperfeiçoar o desenvolvimento de produtos e sistemas, por meio da compreensão e prognóstico da interação entre os usuários e os dispositivos tecnológicos.

Paschoarelli et al. (2006) afirmam que entre os métodos de Design Ergonômico destacam-se aqueles, cujas características envolvem a análise ergonômica da atividade como foco da problematização, a determinação de critérios ergonômicos e de usabilidade como diretrizes para o desenvolvimento do produto, bem como o “... desenvolvimento de procedimentos metodológicos de avaliação e análise do produto...”, os quais “... contribuem de forma expressiva na aplicação do Design Ergonômico, uma vez que é através desses procedimentos que se cria a oportunidade de avaliar de modo satisfatório a usabilidade do produto” (p. 210).

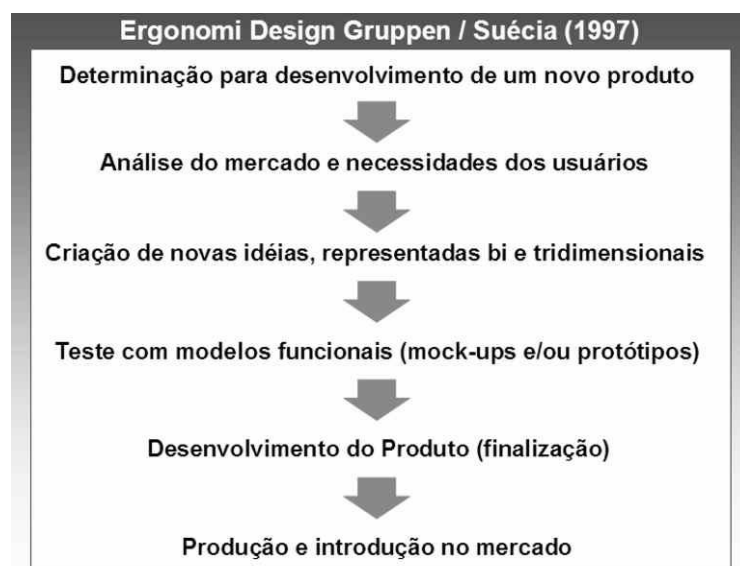
Tais procedimentos metodológicos são imprescindíveis ao longo do desenvolvimento de um projeto de produto ergonômico, pois de acordo com Stanton e Young (1999), os métodos ergonômicos foram criados para melhorar o desenvolvimento do projeto do produto, através da compreensão e da predição da interação entre o homem e seus dispositivos tecnológicos.

Entre esses procedimentos se encontram os testes de usabilidade que segundo Paschoarelli et al. (2006) são procedimentos essenciais para a avaliação e validação ergonômica de um produto ou sistema. Tais testes exigem, entre outros aspectos, a manipulação do instrumento, então caracterizados ou materializados na forma de um modelo físico tridimensional.

Segundo SILVA et al. (2002), o uso de diferentes técnicas e materiais na confecção de protótipos e *mock-ups* possibilitam simular situações de usabilidade com um produto, aspectos físicos similares àqueles determinados no seu projeto, com rapidez e sem grandes custos, permitindo a avaliação cognitiva do produto e a realização de análises ergonômicas.

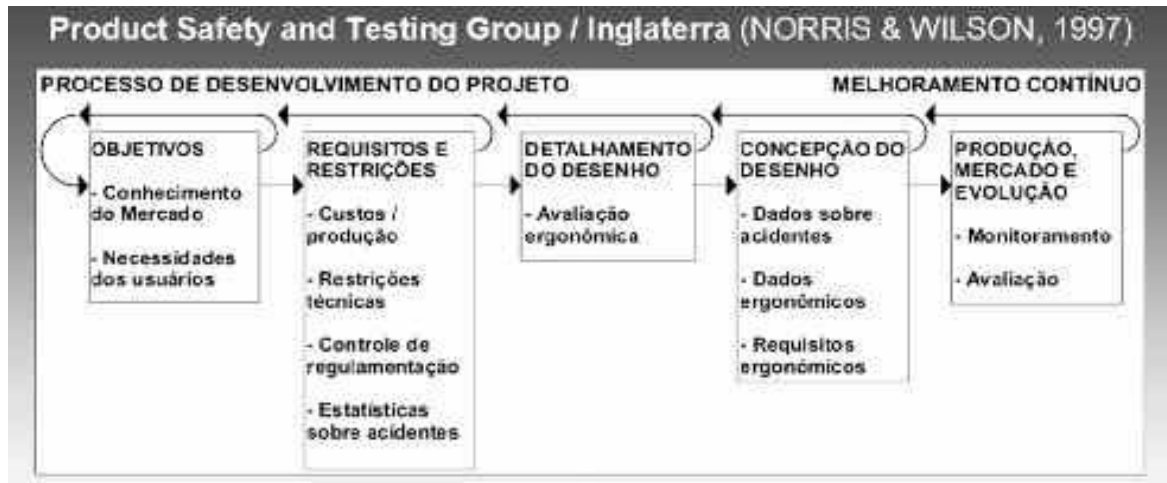
Esses Protótipos e *Mock-ups* estão presentes em diferentes etapas das metodologias de design ergonômico, ressaltando assim sua importância e relevância para o sucesso de um produto ergonômico. Esses termos modelo, protótipo e *mock-ups* aparecem em diversas metodologias de Design Ergonômico como no caso do *Ergonomi Design Gruppen* (1997 apud PASCHOARELLI et al. 2006), da Suécia, que propuseram uma sequência de seis etapas metodológicas, onde a quarta etapa propõe a construção e testes com protótipos (Figura 01).

Figura 1: Metodologia Ergonômica desenvolvida por *Ergonomi Design Gruppen* (1997).



FONTE: Paschoarelli et al. (2006).

Já a proposta metodológica desenvolvida pelo *Product Safety and Testing Group*, da Universidade de Nottingham (Nottingham, UK), a qual é denominada “metodologia de produtos ergonômicos/seguros” Norris e Wilson, (1997), propõe nas três últimas etapas algumas avaliações com o produto que está sendo desenvolvido, avaliações estas que necessitam do uso de modelos e protótipos (Figura 02).

Figura 02: Metodologia Ergonômica desenvolvida pelo *Product Safety and Testing Group*.

FONTE: Norris e Wilson, 1997.

A metodologia apresentada por Sandvik (1997) destaca a implementação de critérios ergonômicos no projeto de desenvolvimento de instrumentos manuais. Essa metodologia é caracterizada por 11 etapas, sendo possível observar que nas etapas 4, 5, 6, 7, 8 a construção, experimentação e validação por meio de protótipos são fundamentais (Figura 03).

Figura 03: Metodologia Ergonômica desenvolvida por Sandvik (1997).



FONTE: SANDVIK (1997).

Na metodologia apresentada por, Frisoni e Moraes (2001) existem 14 etapas para o desenvolvimento do projeto do produto ergonômico, onde se destaca as

etapas 6, 8, 9, 10 que necessitam da construção de protótipos para avaliar, validar e detalhar o produto que está sendo desenvolvido (Figura 04).

Figura 04: Metodologia Ergonômica desenvolvida por Frisoni e Moraes (2001).

Ergodesign / Brasil (FRISONI & MORAES, 2001)	
Sequência de etapas	
1.	Oportunidade de Negócios
2.	Planejamento do Projeto
3.	Planejamento do Produto
4.	Problematização
5.	Levantamento de dados
6.	Análise do Produto
7.	Análise dos dados
8.	Projeção do produto
9.	Avaliação e validação do produto
10.	Detalhamento do projeto
11.	Comunicação dos resultados / conclusões
12.	Planejamento da produção
13.	Produção do produto
14.	Marketing e avaliação da usabilidade

FONTE: FRISONI E MORAES (2001).

Partindo da análise de algumas das metodologias que são empregadas dentro do Design Ergonômico, fica evidente a importância e a necessidade do uso de modelos e protótipos em diferentes etapas do desenvolvimento de um produto. Modelos esses que podem contribuir de forma significativa, pois ao materializar uma ideia fica mais fácil testar, validar e modificar, termos esses que podem ser cruciais e determinantes no desenvolvimento de projeto de produto.

2.2.5. Desenvolvimento de Produto

2.2.5.1 Design de produto

O Design de Produto deve ser entendido como o processo e o resultado da transformação de ideias em produtos e utensílios materiais.

Segundo Relvas (2002), o termo Design de produto é usado para designar uma atividade compreendida entre a função formal de qualquer componente do ramo de negócio de uma empresa dedicada à criação de artefatos e o próprio

processo de criação. O autor afirma que não é possível definir com rigor quais são as diferenças específicas entre o design de produto e a engenharia. Uma das razões baseia-se nas diferenças de formação que resultam em diferentes tipos de abordagens e concepções. De acordo com Dumas (2002) a engenharia é na essência uma ciência, enquanto por outro lado o design é encarado como uma arte.

O sucesso do Design de Produto está intimamente ligado a sua capacidade de permitir a uma empresa a diferenciação e exclusividade de um produto para além da tecnologia, criando além de formas inovadoras, produtos confortáveis e fáceis de serem usados, abrindo espaço para novos mercados, até então inalcançáveis ou desconhecidos.

Relvas (2002) afirma que outro aspecto marcante do Design de Produto é o fato de que a sua filosofia educacional tenha sido desenvolvida pela escola Bauhaus no início dos anos 20, filosofia essa que pregava a associação da teoria com a prática, e onde a forma do produto seguia a função.

O Design de Produto desempenha um papel fundamental na definição das formas e das funcionalidades dos produtos visando satisfazer a necessidades dos usuários, produtos esses que são denominados como 'produto de uso', que é todo e qualquer produto com que os usuários mantêm interface efetiva de utilização, como: veículos, mobiliários, utensílios domésticos, eletrodomésticos, eletroeletrônicos, calçados, joias, embalagens e outros (GOMES FILHO, 2006).

No entanto, ao tratar dos produtos de uso, há uma importante reflexão a ser realizada no que diz respeito ao conceito de função, sendo importante ressaltar que não há apenas da função efetiva do objeto. Neste caso, Cardoso (2012) afirma que "não existe função, existem funções" de um produto, e que "temos o mau hábito de usar a palavra 'função' de modo impreciso, para abranger conceito e valores bastante distintos entre si" (p.101).

Tal visão de que um produto pode ter múltiplas funções fica ainda mais em destaque levando-se em conta que produtos industriais estão em um alto nível de desenvolvimento. Dessa forma, levando em conta a forte concorrência de mercado, outros fatores ganham importância, mesmo sem desvalorizar a função efetiva do produto. Assim, surge grande preocupação com fatores subjetivos presentes na interface usuário-produto, que leva muitos pesquisadores e teóricos a um recorrente esforço em definir uma classificação que permita a compreensão do objeto no momento do seu uso (LÖBACH, 2001; BÜRDEK, 2006; BAXTER, 1998; HEUFLE, 2004). Sendo definidas três funções básicas do produto: 'Função Prática', 'Função estética', 'Função Simbólica'.

Löbach (2001, p.54) define que

“[...] os aspectos essenciais das relações dos usuários com os produtos industriais são as funções dos produtos, as quais se tornam perceptíveis no processo de uso e possibilitam a satisfação de certas necessidades”.

Assim define-se como 'Função Prática'

“[...] todas as relações entre um produto e seus usuários que se situam no nível orgânico-corporal, isto é, fisiológicas. A partir daí poderíamos definir: são funções práticas de produtos todos os aspectos fisiológicos do uso” (LÖBACH, 2001, p. 58).

A 'Função Estética' trata da

“[...] relação entre um produto e um usuário no nível dos processos sensoriais. A partir daí poderemos definir a função estética dos produtos como um aspecto psicológico da percepção sensorial durante o seu uso” (LÖBACH, 2001, p.59).

Já a 'Função Simbólica' é determinada por todos os aspectos espirituais, psíquicos e sociais de uso. Sendo assim um objeto tem Função Simbólica quando a espiritualidade do homem é estimulada pela percepção deste objeto, ao estabelecer ligações com suas experiências e sensações anteriores (LÖBACH, 2001, p.64).

É de grande importância notar que, essas três funções devem ser levadas em consideração durante todas as fases de desenvolvimento dos produtos, pois assim é possível atender os diversos aspectos que o usuário leva em consideração para reconhecer tais funções durante a interface o mesmo.

2.2.5.2 Protótipos e sua importância

O termo protótipo possui diferentes significados e em design permite o uso de diversas nomenclaturas, dependendo da área e da etapa do desenvolvimento do projeto. Podendo partir de um simples modelo com materiais comuns, até a configuração do produto em sua escala real com o mesmo material, acabamento e funcionalidade.

O termo protótipo, que vem do grego *prototypus* (*proto* = primeiro, *typus* = tipo) que de acordo com Wall et al. (1992) é o primeiro do seu tipo incluindo tanto representações eletrônicas, quanto as físicas de uma peça ou produto.

Segundo Baxter (1998), no processo de design de produtos, a palavra protótipo se refere a dois tipos de representação: (1) no sentido mais preciso, refere-se à representação física do produto que será produzido industrialmente, (2) no sentido mais lato, refere-se a qualquer tipo de representação física construída com o objetivo de realizar testes físicos.

Alcoforado (2014) afirma que genericamente diversos autores em todo o mundo se dirigem as etapas de representação das características físicas de um produto ou sistema através do termo prototipagem, dividindo-os de acordo com o nível de fidelidade (baixa, média e alta fidelidade).

Segundo Chrissis et al. (2003) o protótipo seria um tipo preliminar do aspecto físico ou funcional do produto, servindo como modelo tanto para as fases posteriores do projeto – onde há a necessidade de testar funcionalidade – quanto para as fases iniciais auxiliando e corrigindo qualquer eventualidade do produto.

Já Kay e Fai (1998), de forma bastante simples, definem protótipo como sendo o primeiro ou o exemplo original de algo que foi ou será desenvolvido.

Segundo Ulrich e Eppinger (1995) o protótipo é definido como uma aproximação do produto ao longo de uma ou mais dimensões de interesse. Baseado nesta definição, um protótipo pode ser visto como uma entidade que exhibe algum aspecto do produto de interesse do pessoal de desenvolvimento.

Warner e Steger (1995) definem protótipo como sendo o resultado do projeto e geração de uma ou mais características do produto que ajudam o designer a testá-las com as informações obtidas em pesquisa ou ainda com o próprio usuário.

Por sua vez Santos (1999 apud VOLPATO et al. 2007) define protótipo como qualquer modelo tridimensional físico de uma peça, componente, mecanismo ou produto que se realiza antes da sua industrialização, com a finalidade de validar todas ou algumas de suas características estabelecidas no projeto. Os requisitos impostos aos protótipos com relação à estabilidade mecânica (resistência, elasticidade, dureza, etc.), térmica e química do componente estão limitados àqueles necessários para o propósito de teste funcional.

Martins (2010) afirma que os protótipos podem ser utilizados para representar um produto por completo ou até uma peça ou um componente isolado, e é uma ferramenta fundamental no desenvolvimento de um projeto ou produto, pois os modelos tridimensionais físicos são meios de representação utilizados em várias fases do desenvolvimento do produto, não só como auxiliares, mas como peças fundamentais na concepção de artefatos tridimensionais.

A utilização de protótipos nas etapas de desenvolvimento de um produto pode ser complementada com outros meios de avaliação, contribuindo para o estudo e a definição dos aspectos físicos e funcionais do produto a ser desenvolvido.

Volpato et al. (2007) dizem que o sucesso de um produto está muitas vezes associado à habilidade da empresa em identificar as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver produtos de forma a atendê-las, a um custo competitivo. Para atingir este objetivo, a aplicação de uma metodologia de projeto e o uso de ferramentas computacionais CAD/CAE/CAM (*Computer Aided Design, Engineering and Manufacturing*), são fundamentais para auxiliar no desenvolvimento de um produto.

Segundo Santos (2006), o uso de modelos tridimensionais nos projetos se intensificou a partir de 1960 em estudos de simulação nas áreas da aviação e estudos espaciais, assim como na indústria automobilística.

Para Martins (2010) esses modelos são elementos importantes na tradução de informação bidimensional para um formato que permite ao designer outra compreensão da relação entre os vários componentes e a forma do novo produto.

De acordo com Forti (2005) conforme as ideias e conceitos amadurecem em um projeto, a necessidade de avaliá-lo de uma forma mais confiável se torna necessária e os modelos tridimensionais trazem aos espectadores uma visão mais próxima do que será o produto final. Não sendo necessário imaginar a forma volumétrica do conceito.

Martins (2010) afirma que na fase conceitual, os designers não ambicionam representações do produto final, utilizando modelos para demonstrar ideias, conceitos e eventualmente a sugestão do seu funcionamento. Através deles, poderão descobrir áreas que necessitam ser melhoradas e realizar mudanças inesperadas de falhas que não foram detectadas na idealização ou nos estudos bidimensionais realizados.

Junto a isso é adicionado à utilização de representações físicas do produto (tais como maquete, modelo, *mock-up*, protótipo) que são essenciais no processo de

entendimento rápido dos requisitos do produto por todos os envolvidos em cada etapa de seu desenvolvimento (VOLPATO et al., 2007).

Assim, pode-se dizer que, o uso de modelos é de grande importância para a práxis do Design durante as várias etapas metodológicas de desenvolvimento de produto.

2.2.5.3 Representações do produto nas fases iniciais do projeto

Já nas etapas iniciais de desenvolvimento de um projeto de produto é essencial a realização de testes com o produto, seja para analisar a forma ou alguma propriedade estética do objeto, seja para testá-lo a fim de ter uma resposta inicial do usuário. Nessa etapa do desenvolvimento não é preciso à criação de protótipos muito elaborados, pois o mesmo servirá apenas para guiar e dar as primeiras ideias de como o projeto está.

Paschoarelli et al. (2011) afirma que de modo geral, nas fases preliminares de desenvolvimento do produto, durante o design ergonômico de instrumentos manuais, é imprescindível o uso de modelos e *mock-ups*. Cecarelli (2003) afirma que apesar de utilizarem materiais econômicos e ferramentas básicas, fáceis de manipular, o resultado que deles apresentam pode ser decisivo no desenvolvimento do novo produto.

De acordo com Volpato et al. (2007) dependendo do estágio do desenvolvimento do produto recorre-se a determinadas representações do produto para auxiliar no processo. Algumas dessas representações são utilizadas principalmente nas fases iniciais do projeto e outras aparecem nas fases mais avançadas ou de detalhamento do projeto.

Segundo Dorta (2006, p.133) apud Martins (2010) quando o modelo não tem o propósito de antecipar o sistema de funcionamento do produto final, mas somente a forma em escala real do produto final, chama-se *mock-ups*. Estes permitem que o

designer tenha uma ação direta sobre eles podendo confirmar resultados analisados previamente.

Para Silva et al. (2002) somente após a otimização do projeto, quando se valida a usabilidade do produto por meio de testes com protótipos / *mock-ups* convencionais, é que deveriam ser confeccionados protótipos mais elaborados, por meio de modelagem virtual, os quais permitem maior precisão dimensional e, conseqüentemente, testar a funcionalidade e/ou outros aspectos inerentes à produção, descarte e reutilização de peças e componentes.

Além de servirem de guia nas etapas de desenvolvimento de produto os protótipos podem ainda ser utilizados junto aos usuários para uma melhor compreensão e avaliação da proposta do novo produto. Deste modo é possível observar o comportamento e a reação dos usuários antecipando a percepção que teria com o produto final.

Para Volpato et al. (2007), as vantagens da representação tridimensional no desenvolvimento de produtos são: facilitar a otimização do produto, reduzir tempo e custo de desenvolvimento, reduzir os riscos da inovação, agilizar etapas no desenvolvimento e podem ser matrizes para moldes ou até ser utilizadas como peças piloto.

2.2.6 Tipos de Protótipos

Volpato et al. (2007) afirmam que as fases iniciais do projeto envolvem estudos de diferentes concepções, formas, análise ergonômica. A que se destaca que vários tipos de representações tridimensionais do produto podem ser empregados para fins distintos.

Para Kelley (2001, p.135), os bons protótipos não somente comunicam como convencem. Até porque, sabe-se que os protótipos construídos durante o processo

de desenvolvimento de produtos potencializam a criatividade e o aprendizado pela aquisição de conhecimento decorrente da interação com o objeto.

Segundo Macarrão (2004) à medida que o desenvolvimento do projeto de produto vai evoluindo, cada protótipo fabricado deveria estar atualizado com as correções dos problemas encontrados nos protótipos anteriores, o que auxiliaria na facilidade e agilidade de possíveis correções ao longo do projeto.

De acordo com Macarrão (2004) é comum que a programação da fabricação dos protótipos seja planejada e dividida em grupos de protótipos, justificando, desta forma, a incorporação das melhorias identificadas nos protótipos anteriores, assim, o processo de desenvolvimento e posterior avaliação dos protótipos não fica comprometido.

As designações usadas para estas representações podem variar de empresa para empresa, e mesmo dentro da mesma empresa, em cada etapa do projeto, bem como de acordo com cada setor industrial. As diferentes representações encontradas são:

2.2.6.1 Maquete

Segundo Martins (2010) no dicionário a palavra ‘maquete’ é definida por um esboço em escala reduzida, ou uma miniatura de obra de arte plástica, geralmente modelado em barro, gesso ou cera.

A palavra maquete é de uso recente, de origem francesa derivada diretamente da “*macchietta*”, pequena mancha, do latim ‘macula’. A palavra aparece no vocabulário das belas artes para designar o primeiro esboço, a primeira cristalização material da ideia e da intenção formal do artista, usada para a elaboração dos modelos preliminares (VOLPATO et al., 2007).

Embora o termo se tenha expandido a várias áreas de investigação como a arquitetura, a escultura, a pintura, a música, a engenharia, o design, etc., a sua

origem deriva do termo 'modelo' que veio a ser utilizado na arquitetura do século XVI.

2.2.6.2 Modelos Volumétricos

Para Martins (2010) o termo 'modelo' é definido como uma imagem, desenho ou forma de representar um determinado objeto que se deseja reproduzir esculpindo, pintando ou desenhando. Termo esse que foi amplamente referenciado pelos artistas e arquitetos do Renascimento.

Segundo Volpato et al. (2007) os modelos volumétricos podem ser definidos como sendo um “rascunho tridimensional” de confecção simples e com materiais baratos. Sendo um primeiro estudo, que visa à redução das formas à dimensão básica, serve para visualizar sua ocupação no espaço.

Martins (2010) aponta que algumas fontes revelam também que a utilização de modelos tridimensionais com a intenção de reproduzir ou preparar uma forma tridimensional remonta de alguns milhares de anos, e a sua utilização constituiu da técnica de utilização de modelos e maquetes em escala para a execução de peças de escultura e obras arquitetônicas.

Ainda segundo este autor, no Design de produto, o termo 'modelo' é utilizado para uma abordagem mais generalizada da representação tridimensional volumétrica. Os modelos são utilizados no processo de concepção para avaliar ideias e estudar vários aspectos do projeto, para provar ou avaliar a sua viabilidade técnica e para comunicação do designer com o cliente – na visualização e na apresentação do produto.

Esse tipo de modelo apresenta uma pintura neutra, com intuito de verificar apenas as linhas e sombras de delineamento formal. E é executado nas fases iniciais do projeto com o objetivo de facilitar o entendimento inicial problemática e

definir informações principais do produto. Podendo ser confeccionado em diversos materiais (VOLPATO et al., 2007).

2.2.6.3 Mock-ups

Segundo Ferreira (1999) no dicionário Novo Aurélio Século XXI, *mock-up* é um “modelo preliminar, em tamanho natural e dimensões precisas, geralmente de madeira, feito para testes e estudos da aparência final de máquinas, equipamentos ou veículos.”

Segundo Dorta (2006, p.133) apud. Martins (2010), um fator determinante na distinção entre os modelos do design e as maquetes de outras áreas de representação, está relacionado com a utilização da escala real no processo de simulação formal e funcional. Quando o protótipo não tem o propósito de antecipar o sistema de funcionamento do produto final, mas somente a forma em escala real do produto final designa-se por *mock-up*.

Para Tolstedt (2002), o *mock-up* é um desenho tridimensional, que oferece o benefício adicional de análise, verificação e teste do tamanho do produto, sua forma, posicionamento e ajustes com as demais peças que compõem o ambiente onde o produto será aplicado. Mesmo que ainda seja apenas o conceito do produto, este permitirá ao projetista analisar como será o produto final.

Para Volpato et al. (2007) trata-se de um modelo físico que imita o produto final, geralmente em escala natural (1:1). É um estudo posterior à volumetria, para fins de estudos ergonômicos iniciais ou testes simulados pela equipe de projeto; possibilitando a reavaliação do produto, caso necessário, sem custos elevados (se comparado ao modelo de apresentação).

Os mesmos materiais utilizados nos modelos volumétricos podem ser também utilizados para o *mock-up*. Entretanto, um *mock-up* limita-se apenas as

características dimensionais e morfológicas do produto, não sendo possível representar os materiais e sistemas funcionais do produto final.

2.2.6.4 Modelos de apresentação

Este tipo de modelo, embora amplamente utilizado por empresas de diversos setores, não é muito recorrente na literatura.

Sendo definido por Volpato et al. (2007) como modelos que são utilizados em eventos (exposições, feiras, etc.), em escala ou não, para fotografia e apresentação á clientes da proposta final de um projeto. Ou seja, servem para diversas finalidades devendo se aproximar ao máximo da aparência final do produto (acabamentos e superfície).

2.2.6.5 Protótipos

Volpato et al. (2007) afirma que nas etapas finais de projeto, que envolvem o detalhamento técnico do produto são utilizados protótipos que se aproximam ao máximo do objeto final tanto no aspecto físico, como no funcional. Esses protótipos podem se apresentar na forma física ou virtual.

Para Volpato et al. (2007), o protótipo virtual é uma maneira não tangível, usualmente matemática, de representação de um produto. Ao invés de serem construídos fisicamente, os aspectos importantes de produto são analisados computacionalmente. Como exemplo, é possível mencionar análises com sistemas de equações e uma planilha de cálculo, análise de montagem (verificação e interferência) realizada com modelos computacionais tridimensionais em um sistema CAD e análise numérica com sistema CAE (análise de tensões, deformações, injeção, etc.).

Segundo Pipes (2007, p.101), se no passado a construção da tridimensionalidade passou pelo domínio dos meios de representação manuais

(analógicos), com a introdução dos sistemas digitais abriram-se novas possibilidades na abordagem da construção.

Considerando a análise de Ceccarelli (2003, p.17), observa-se que a evolução dos meios de representação digital introduziu uma mudança significativa nas várias fases do design; os modelos digitais passaram a ser utilizados não só para a análise estética do produto, mas também na comunicação das alterações do design, na engenharia, na apresentação do produto, no desenvolvimento de ferramentas de produção. E gradualmente tornou-se um pivô, em torno do qual se desenvolve o projeto.

Já os protótipos no aspecto físico apresentam as mesmas características dimensionais e morfológicas dos *mock-ups*, sendo em alguns casos confeccionados com os mesmos materiais e sistemas funcionais do produto final, destacando-se por permitir a avaliação sob o ponto de vista da funcionalidade. No design industrial constroem-se modelos físicos em verdadeira grandeza para permitir uma ação direta sobre o modelo e confirmar resultados analisados previamente em modelos de diferentes escala (VOLPATO et al., 2007).

Martins (2010) afirma que esse tipo de protótipo pode ainda ser colocado à disposição dos clientes e utilizadores para melhor compreensão e participação na avaliação da proposta do novo produto. Deste modo, permitem uma observação sobre o comportamento e reação dos utilizadores numa antecipação ao produto final.

Para Volpato et al. (2007) esse tipo de protótipo implementa a maioria, se não todos os atributos de um componente individualmente ou de um produto como um todo – em escala real e geralmente uma versão completamente operacional do produto. O autor destaca que o processo de manufatura pode não ser exatamente o processo de produção em série, mas o material dos componentes são geralmente os de produção.

2.2.7 Técnicas de prototipagem

De acordo com Penna (2002) os Protótipos são uma resposta do Designer de acordo com as necessidades da etapa do projeto, podem ser executados com diferentes técnicas e materiais, traduzindo a beleza e dando 'vida' ao projeto bidimensional, ajudando a verificar dimensões, formas, ergonomia, cores, sequencia de uma família de produtos e sua aceitação no mercado.

Podem ser confeccionados com os mais simples materiais – como papel e cola ou argila – como podem ser confeccionados nas mais sofisticadas e complexas máquinas de Prototipagem Rápida– por adição ou remoção de material –, que permitem a confecção de protótipos funcionais.

No entanto, é importante que se diga que, entre o mais simples material e a mais sofisticada máquina de prototipagem, existe uma infinidade de materiais e técnicas, que permitem o mais alto nível de qualidade, tecnologia, sofisticação em cada etapa do desenvolvimento de um produto.

Modelos estes que são quase sempre produzidos manualmente. E que Dorta (2006) apud Martins (2010) vai valorizar ao afirmar que às vantagens das ferramentas tradicionais como artefatos cognitivos do design são imensuráveis, pois segundo o autor, nem os desenhos realizados com o auxílio de mesas digitalizadoras, nem os protótipos mais perfeitos construídos a partir de Prototipagem Rápida, partilham das mesmas vantagens dos artefatos cognitivos (desenhos e modelos físicos feitos à mão).

Segundo o autor a nossa percepção depende de todos os sentidos para compreender geometrias tridimensionais. Neste sentido, a capacidade de tocar o objeto e sentir as suas formas através dos materiais pode melhorar a criatividade (DORTA, 2006, p.122-133 apud MARTINS, 2010).

Capacidade essa que só é permitida na Prototipagem Rápida no final do processo, uma vez que para ter um produto impresso em uma máquina de prototipagem é preciso primeiro uma modelagem virtual do qual será gerado um arquivo que permitirá a impressão.

De acordo com Knight (2004) nas representações com meios analógicos, o designer recorre à experiência dos sentidos ao utilizar o corpo para compreender e controlar as ferramentas que usa para representar. Já nas representações digitais, o designer não tem meios para compreender conceitos do mundo real, como a natureza do objeto ou a sua função, limitando-se apenas à capacidade de codificar conceitos geométricos.

Segundo Evans (1992, p.43) a avaliação das relações entre os vários elementos formais é mais eficaz quando realizada em três dimensões através da manipulação de materiais, pois o benefício desta avaliação ocorre por meio da aplicação do seu conhecimento através da utilização das suas ferramentas.

Sobre isso Manzini (1993, p.28) observa que “o ambiente virtual tem a singular característica de possuir todas as propriedades do mundo real, exceto no que diz respeito à propriedade fundamental: falta-lhe presença física, não tem qualquer existência material, palpável”.

Para Martins (2010) os modelos físicos, quando comparados com os modelos digitais, são sempre volumetrias reais e podem ser manipuladas no mundo real/físico, permitindo um controle direto sobre as formas, os detalhes, as texturas, as proporções sem a intermediação de uma simulação da tridimensionalidade.

Forti (2005) corrobora, pois para ele os modelos e protótipos tridimensionais físicos trazem diversas vantagens para o ambiente de projeto, isso porque anulam o esforço cognitivo de interpretar palavras ou imagens totalmente bidimensionais.

Martins (2010) afirma ainda que o modelo físico apresenta uma imagem palpável do objeto que representa, tendo a função de aproximar designers da experiência real do objeto, para ver, tocar, cheirar e ouvir, em vez da sua visualização através de uma sucessão de perspectivas bidimensionais num monitor, oferecendo indicações precisas de escala, na análise e compreensão do peso, forma, variação de textura, entre outros.

De acordo com Hanington (2006, p. 29) para um bom modelo vender uma ideia a potenciais compradores, os mesmos devem experienciar o objeto na sua plenitude em vez de só tentarem visualizar através de representações gráficas ou de uma descrição verbal do produto. Ao que se pode destacar a dificuldade de alguns possíveis usuários na interpretação de modelos digitais tridimensionais.

Para D'Adderio (2001), os modelos físicos, feitos à mão ou obtidos por impressão 3D, são meios fundamentais para conhecer os artefatos, pois a avaliação de alguns aspectos tridimensionais não poderá ser feita sem a manipulação direta da forma e dos materiais.

Ao pensar no designer e em toda a equipe de desenvolvimento de produto, Martins (2010) afirma que construir um modelo físico ajuda a captar as corretas intenções e transferi-las para outras formas de representação, assegurando que esse conhecimento possa ser encaminhado para uma definição do produto final.

Ainda sobre o assunto, Baxter (1998, p.03), diz que “se pode identificar um bom trabalhador pelas suas ferramentas”, assim para o designer, o computador e os recursos que as tecnologias digitais, associados com os materiais e técnicas tradicionais, são excelentes ferramentas profissionais a serviço do método projetual, quando utilizadas de forma coerente.

Barbosa (2009) atenta para o uso e os benefícios da prototipagem convencional manual nas instituições de ensino de Design, pois elas permitem experimentações plásticas ou processo que amplie o conhecimento e o repertório

dos acadêmicos, sendo importantes porque introduzem os profissionais nas tecnologias de construção de objetos. Técnicas essas que podem ser associadas com as técnicas digitais

Para este autor a experiência e o conhecimento das antigas e das novas tecnologias presentes na linguagem dos projetos são fundamentais para o êxito no desenvolvimento dos produtos mais coerentes.

Ao que Kindlein (2006) adiciona que nas diferentes fases do trabalho de concepção de novos produtos é necessário encontrar maneiras para que o produto possa mobilizar o interesse dos Designers sobre os aspectos ligados aos materiais e processos de fabricação, e também mobilizar o interesse dos engenheiros sobre os aspectos ligados ao futuro usuário. Isto ocorre quase sempre por meio da construção de modelos que possam de fato ser testados.

Sintetizando, pode-se afirmar que modelos digitais e tradicionais devem coexistir dentro das metodologias de projeto. No entanto, isso deve ocorrer sem que se confunda a função de cada um deles, pois enquanto protótipos palpáveis de fato permitem testes físicos, de interação e que digam respeito à composição formal, modelos digitais – embora alguns programas permitam testes físicos – ainda não permitem testes de uso, apesar de serem mais rapidamente produzidos.

Buscando a compreensão da construção de modelos, a seguir serão classificados os materiais e as técnicas utilizadas na prototipagem tradicional e as máquinas e materiais que são utilizados na Prototipagem Rápida utilizando meios digitais.

2.2.7.1 Classificações das técnicas de prototipagem tradicional

Relvas (2002) afirma que a construção de modelos e protótipos tem sido usada ao longo dos tempos como forma de criação e desenvolvimento de novos produtos, pois o desenvolvimento de um protótipo não só permite dar forma e dimensão a uma

ideia, criando um modelo físico e palpável, como possibilita a detecção de eventuais defeitos antes da fase de produção.

Esse é um dos motivos pelo qual a construção de um protótipo é feita utilizando as mais variadas técnicas e tecnologias que podem ser classificadas como tradicionais quando feitas manualmente e digitais quando tem a participação de algum software e máquinas de Prototipagem Rápida.

Dentro do processo de prototipagem tradicional estão as seguintes técnicas:

2.2.7.1.1 Modelagem manual

De acordo com Relvas (2002) esse é um dos processos mais antigos e atualmente tem se voltado uma produção artística, na construção de um modelo único.

Segundo Alves et al. (2001 apud. RELVAS, 2002) este processo requer grande habilidade e destreza do modelador, sendo difícil garantir rigor geométrico e dimensional (figura 05). Assim os modelos podem ser produzidos nos mais variados materiais, ao que se nota a utilização de materiais de fácil manipulação, como a argila, o gesso, a plastilina, o clay, a espumas de poliuretano, a madeira, o papel, as chapas de poliestireno, o PVC, o isopor, massa epóxi, entre outros.

Figura 05 – Modelagem manual em plastilina



FONTE: <http://pad3.whstatic.com/>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

2.2.7.1.2 Maquetismo

Relvas (2002) afirma que o maquetismo também é uma técnica bastante antiga, sendo geralmente associada à fabricação de modelos reduzidos ou em escala, normalmente de projetos de engenharia, arquitetura e urbanismo (figura 06) ou modelos de grande volumetria como carros, barcos, aeronaves, etc.

Figura 06 – Maquete de arquitetura.



FONTE: <http://www.mpsnet.net/loja/det11/se0066/Maquete>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

De acordo com Alves et al. (2001 apud. RELVAS, 2002) no maquetismo, o objeto pode anteceder o projeto como forma de ajudar o projetista no desenvolvimento do projeto, onde o mesmo poderá fazer análises e simulações, Ou ainda construir modelos para vender ideias em fases exploratórias, podendo ser utilizados diversos materiais na construção de maquetes como papel cartão, cartolina, gessos, plastilina, fibras, madeiras, plásticos, isopor, chapas de poliestireno, entre outros.

2.2.7.1.3 Construção de moldes

Relvas (2002) afirma que, devido às limitações próprias dos processos de prototipagem rápida, por vezes não é possível a obtenção do protótipo diretamente no material do produto final. Ainda que o material do protótipo seja o mesmo do produto final pode haver a necessidade de produzir várias unidades, ou mesmo uma pré-série.

Assim, é preciso a construção de moldes para a obtenção de um protótipo em um material que se assemelhe do final ou para a replicação de mais peças, quando for necessário. Este processo permite a produção de diversas peças que podem variar de acordo com o manuseio do molde, aumentando ou diminuindo sua vida útil do molde.

Outra vantagem do uso de moldes é a obtenção de peças ocas com o sistema de rotomoldagem. Na construção desses moldes pode se utilizar silicone, alginato (figura 07), gesso ou cerâmica para moldes de modelo perdido.

Figura 07 – Molde em alginato.



FONTE: <http://fabricalo.net/wp-content/uploads/2013/04/alginato>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

2.2.8 Materiais

2.2.8.1 Clay

O Clay é uma argila sintética á base de óleo muito utilizada no meio artístico em esculturas, e profissionalmente por empresas automobilísticas e de produtos. Este material foi feito para ser modelado ou esculpido com as mãos ou com ferramentas de escultura – estecas (figura 08) – e que pode ou não necessitar da construção de estrutura rígida para suportar e estruturar a massa.

Figura 08 – Estecas utilizadas para modelagem.



FONTE: <http://2.bp.blogspot.com/>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Segundo Martins (2010) o Clay é o material que melhor ilustre o processo aditivo da modelação, pois apresenta uma plasticidade e maleabilidade que lhe conferiram um status de matéria insubstituível nas mais variadas áreas do Design.

O autor também afirma que no âmbito do design, o Clay é utilizado com frequência na produção de modelos tridimensionais provisórios para a moldagem, fundição, cozedura, digitalização, entre outros.

Sendo um material muito conhecido e utilizado por empresas de desenvolvimento de produtos. Um exemplo são as indústrias de automóvel, que apesar de utilizarem a vanguarda das novas tecnologias na modelagem 3D e simulação digital, utilizam modelos de Clay de várias escalas para visualizar e testar as formas do automóvel antes da sua produção.

Para ser utilizado em processo manual o Clay precisa ser aquecido com a ajuda de uma estufa, um forno ou soprador térmico para amolecer ou derreter.

Vale valorizar que esse material também pode ser conformado em blocos e usinado ou fresado (figura 09), pois apresenta diversos tipos de durezas que vão desde os de cor cinza classificados como Soft, Medium, Firm, Extra Firm e Hard no grau de firmeza, como os denominados Clays automotivos que são o CS, CM, CA, C9, C10, C15 de coloração amarronzada (figura 10).

Figura 09 – Clay em processo de usinagem.



FONTE: <https://www.youtube.com/watch?v=fCc142ueScw>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Figura 10 – Diferentes tipos de clay.



FONTE: <http://2.bp.blogspot.com> Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

2.2.8.2 Madeira

A madeira é um material muito utilizado na construção de modelos, pois permite ser processada utilizando diferentes tipos de usinagem através de diversas máquinas e ferramentas.

A Madeira se apresenta de diversas formas, seja ela crua na forma de troncos, ripas, tábuas e caibros ou ela processada em chapas como MDF, MDP, aglomerados, compensados entre outros.

Martins (2010) afirma que a usinagem da madeira oferece resultados expressivos, pois maciça a mesma pode ser trabalhada por subtração com a ajuda

de tornos manuais e fresadoras e tornos CNC elétricos, conferindo ao modelo maior robustez e síntese formal (figura 11).

Figura 11 – Modelo de madeira usinado.



FONTE: <http://i.ytimg.com/vi/WceR92i7Q9Y/maxresdefault>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Já sob outras formas derivadas de perfis e chapas de madeira e MDF, Martins (2010) afirma que ela pode ser trabalhada por samblagem ou através de cortes e colagem, encaixes, moldagem.

Martins (2010) ainda aponta que embora apresentem diversas opções de usinagem com procedimentos diferentes, o trabalho da madeira pressupõe a utilização de ferramentas adequadas ao tipo de intervenção que se pretende realizar. Existindo hoje uma vasta gama de ferramentas para auxiliar o trabalho da madeira, desde as mais tradicionais como as goivas, formões e serrotes manuais, até as ferramentas elétricas como máquinas de corte, de lixar ou tornear, e também máquinas de usinagem CNC.

2.2.8.3 Gesso

O gesso é um material muito utilizado na confecção de moldes e na produção de peças em geral, existem mais de um tipo de gesso, alguns menos resistentes e outros apresentam uma resistência mecânica maior.

O mais comum é Gesso de Paris, que não é muito resistente. Ao contrário do Gesso-pedra (figura 12), que é um tipo mais resistente e também mais caro que o

gesso comum. Havendo ainda o Gesso-troquel, que é ainda mais resistente que o Gesso-pedra. Todos são encontrados na forma de pó e necessitam ser misturados com água para o seu preparo.

Figura 12 – Molde em gesso-pedra.



FONTE: <http://ceramicaufsj.blogspot.com.br/2010/09/projeto-de-extensao-universitaria.html>.

Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Para se deixar o gesso mais resistente e também um pouco mais leve, geralmente é usado um tipo de tecido com tramas abertas (por exemplo, a juta) ou fibras de sisal. Assim mergulha-se este tecido no gesso e aplica-se sobre o molde. Este processo chama-se reforço de moldes de gesso (NETTO, 2014).

Um fator ao qual se deve dar a devida atenção, quanto ao gesso, é quanto ao seu armazenamento, para o qual se deve escolher um local mais quente e seco, de preferência acima do chão para evitar absorver umidade. A vida útil é limitada, mas pode ser aumentada se o gesso for armazenado em recipientes plásticos sem ar ou em plásticos bem apertados (NETTO, 2014).

2.2.8.4 Espuma de poliuretano

As espumas de Poliuretano são os materiais mais recorrentes na construção de modelos tridimensionais. De acordo com Martins (2010), as propriedades destes materiais permitem uma abordagem fácil e rápida da forma tridimensional num bom compromisso com o rigor da representação. Sendo que seu processamento pode ser feito com instrumentos manuais básicos de corte e abrasão, tais como facas, serras e serrotes, lixas, limas, grosas, entre outros.

As espumas de Poliuretano podem também ser usinadas com a ajuda de máquinas elétricas, como serra de fita e lixadoras (figura 13), ou com auxílio das ferramentas de usinagem que usam interfaces digitais, como os tornos CNC ou as fresadoras, que agregam melhor desempenho e precisão ao trabalho.

Figura 13 – Usinagem manual de Poliuretano Rígido.



FONTE: <http://img.ibxk.com.br/2014/4/.jpg?w=1040> Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Além da espuma de poliuretano já em bloco, existe a espuma de poliuretano (figura 14), que é encontrada em dois componentes A e B, que ao serem misturados sofrem reação química e se transformam em uma espuma rígida, semelhante a espuma de poliuretano já expandida. Essa espuma pode ser injetada dentro de um molde, tomando a forma do objeto final, o que diminui o tempo de usinagem.

Figura 14 – Usinagem manual de Poliuretano Líquido.



FONTE: <http://www.autonewsbrasil.com.br/images/posts/espuma1>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Martins (2010) afirma que, dependendo da finalidade do modelo de Poliuretano, este pode receber acabamento como verniz ou pintura. E para

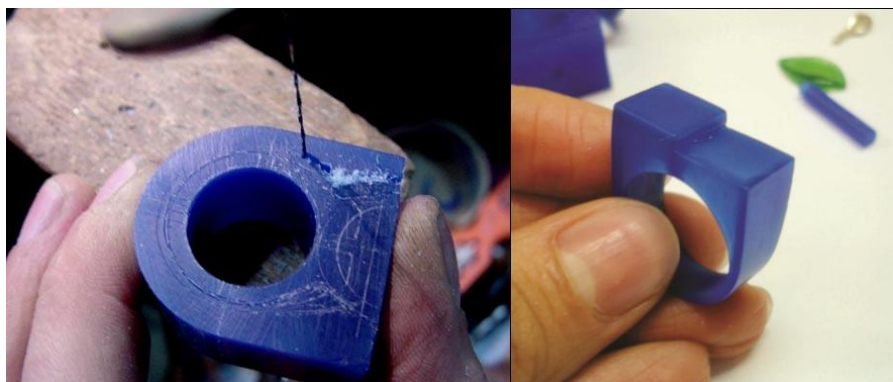
apresentação do trabalho, pode ser aplicada uma camada de resina de poliéster, a qual, após o endurecimento, é lixada, dando aspecto plástico ao modelo.

Uma possibilidade bastante interessante é a que este modelo, confeccionado em Poliuretano, pode ser moldado em silicone, gesso ou outro processo para a reprodução do protótipo num material mais rígido e mais durável, ou que se aproxime do material final.

2.2.8.5 Cera

A Cera é um material muito utilizado na confecção de modelos e protótipos no design de produtos, principalmente no design de joias (figura 15). Trata-se de um material e técnica muito antigos que tem como característica oferecer maior grau de liberdade artística por ser essencialmente escultórica.

Figura 15 – Modelo de cera para fabricação de joia.



FONTE: http://4.bp.blogspot.com/-p2BDKvWMuds/TdvsV3R_ayI/AAAAAAAAAGA/ Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Devido a sua maleabilidade é muito mais fácil e rápido de alcançar um modelo de qualidade com esta técnica quando comparada a outros trabalhos artesanais.

As técnicas que utilizam a cera possibilitam a geração de modelos com qualidade e especialmente produtividade. Este material pode ser trabalhado quente ou frio, utilizando equipamentos e técnicas simples como pré-cravação, talhamento, fusão, torneamento, modelagem. Ou por meio de molde por cera perdida, e ainda

pode muitas vezes ser usinada com ferramental rápido ou digital através de tornos CNC e fresadoras.

Um ponto importante deste material é o uso da cera no desenvolvimento aumenta a capacidade de projetar tridimensionalmente o objeto, pois suas técnicas permitem marcação, medição e desenho aplicado com precisão e qualidade no modelo, enquanto é produzido (ALZAMORA , 2006).

2.2.8.6 Papel

O papel por ser um material simples, econômico e fácil de manipular é muito usado para produção de modelos tridimensionais, podendo ser utilizados para o desenvolvimento dos mesmos papéis simples, como cartolinas e cartões até papeis de alta gramatura, Destacando que suas características técnicas possibilitam correções com grande facilidade, rapidez de execução em diferentes fases do desenvolvimento do produto.

Segundo Martins (2010) o processamento do papel realiza-se de forma idêntica a outros materiais (figura 16), sendo muito útil na interpretação de diferentes espessuras e detalhes da forma dificilmente conseguidos com materiais maciços. No mercado existe papel com variadas formas, dimensões, espessuras, gramaturas, texturas, cores, brilhos, etc.

Figura 16 – Modelos feitos em papel.



FONTE: <https://projeto292.files.wordpress.com/2011/09/> Acessado em: 12 de janeiro de 2015.

Assim, pode-se dizer que o papel é um excelente aliado no desenvolvimento de protótipos, pois pode ser cortado, vincado, enrolado, colado, com auxílio de ferramentas simples para sua usinagem – estiletes, tesouras, colas. Além disso, o papel pode ser usinado com o auxílio de máquinas de corte 2D com uma precisão milimétrica.

2.2.8.7 Poliestireno

O poliestireno é um homopolímero resultante da polimerização do monômero de estireno, é um termoplástico flexível e moldável sob a ação do calor (figura 17). Este material é o principal componente de diversos utensílios, como copos descartáveis, peças de uso doméstico e embalagens.

Figura 17 – Modelos em poliestireno.



FONTE: http://www.bizarrodesign.com.br/maquetes/img_maq/mq0018. Acessado em: 12 de janeiro de 2015

O poliestireno se apresenta em dois tipos, o de uso geral e o de alto impacto. De acordo com Borrelly (2002) o Poliestireno de uso geral, também chamado de GPPS (*General Purpose PolyStyrene*), cristal ou simplesmente PS, é um polímero amorfo, transparente, frágil, fácil de processar e barato, é utilizado na fabricação de canetas, caixas de fita cassete e CD's, bandejas de geladeiras e congeladores.

Já o Poliestireno de alto impacto (PSAI) ou HIPS (*High-impact PolyStyrene*), segundo Borrelly (2002), também é um polímero amorfo, mas com adição de borracha (polibutadieno) por 'grafting' (enxerto), isto é, moléculas de polibutadieno

são adicionadas á cadeia principal do poliestireno através de reações químicas e não simplesmente por mistura, concedendo assim um grau de resistência ao material. O Poliestireno de alto impacto é branco, dúctil, fácil de processar e também muito suscetível a radiação solar. É utilizado na fabricação de caixas de televisores, aparelhos de som, toca fitas/CD de automóveis, copos descartáveis, revestimentos internos de geladeiras e congeladores (BORRELLY,2002).

2.2.8.8 Resina de Poliuretano

A resina de Poliuretano é composta por dois componentes, carga e reagente que são misturados e fundidos em um plástico (Figura 18). Por apresentar excelentes propriedades físicas é considerada como plástico de engenharia, sendo encontrada com variedade que é selecionada com base nas propriedades de cada tipo de poliuretano fundido.

Figura 18 – Peças em resina de poliuretano.



FONTE: http://www.reynoldsam.com/wordpress/wp-content/gallery/prototyping/prototyping_gallery_03.

Acessado em: 12 de janeiro de 2015

É um material muito utilizado para fundir objetos decorativos, ferramentas e modelos em prototipagem, uma vez que apresentam grande resistência física e química. Assim, como para criar contra moldes leves para servirem de suporte a moldes de borracha de silicone. As resinas de Poliuretano apresentam diversas densidades, podendo imitar materiais de praticamente qualquer densidade e

aparência, incluindo espumas de baixa densidade, termoplásticos, vidro, madeira, pedras e metais (MOLDFLEX, 2014).

2.2.8.9 Resina de Poliéster

A resina de Poliéster pode ser considerada como um dos materiais mais comuns e fáceis de serem encontrados. Muito utilizada na indústria, pode ser utilizada com ou sem reforço, quando reforçada se transforma em um plástico de engenharia com ótimas propriedades físico-mecânicas (figura 19), substituindo materiais como ferro, aço e concreto.

Figura 19 – Peças em resina de poliéster com carga.



FONTE: <https://encrypted-tbn3.gstatic.com> Acessado em: 12 de janeiro de 2015

Também é utilizada nas laminações com fibra de vidro (figura 20) na confecção de produtos e peças fundidas ou moldadas, com ou sem reforço de fibra de vidro em produtos como caixas D'Água, na indústria de brinquedos, confecção de peças maciças que não precisem de transparência, Indústria automobilística, barcos, piscinas, banheiras, e na fabricação de massa plástica e semelhantes.

Figura 20 – Laminação com resina de poliéster e fibra de vidro.



FONTE: <https://www.behance.net/gallery/7920573/Projeto-de-carenagem-Tarpan03>. Acessado em: 12 de janeiro de 2015

2.2.8.10 Massa plástica

A massa plástica é um material composto por resina de Poliéster, monômero de Estireno e Talco Industrial. É um produto bi-componente e por isso precisa de um catalisador para secar. Sendo muito utilizada para o acabamento e correção de pequenas imperfeições em superfícies metálicas (figura 21), plástica, madeiras, entre outros materiais (EMBRAPOL, 2014).

Figura 21 – Reparo e acabamento feito com massa plástica.



FONTE: http://www.morquimica.com.br/Images/Fotos/16-foto-Aplicacao_Massa_Plastica.JPG.

Acessado em: 12 de janeiro de 2015

A massa plástica é um produto utilizado na indústria automotiva, de brinquedos e de objetos em geral. Em relação aos modelos e protótipos a massa plástica é utilizada para dar acabamento, pois proporciona um acabamento perfeito, oferecendo bom enchimento, com secagem rápida e um ótimo lixamento.

Reconhecida por sua resistência, a massa plástica é utilizada quando o modelo é confeccionado de um material frágil, como papel ou espuma de poliuretano, ou apresenta alguma fragilidade, proporcionando ao modelo robustez e durabilidade (BRASOLV, 2014).

2.2.9 Classificação das técnicas de Prototipagem Rápida

As técnicas de Prototipagem Rápida apresentam o que há de mais inovador e tecnológico se tratando do desenvolvimento de protótipos. E de acordo com Lima (2010), a Prototipagem Rápida pode ser definida como 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.

A Prototipagem Rápida surgiu em meados dos anos 80. E de acordo com Gorni (2001) pode ser definida como 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. Segundo o autor elas representam um conjunto de tecnologias usadas para fabricar objetos físicos diretamente a partir de modelos sólidos tridimensionais gerados em sistemas de projeto auxiliados por computador.

Gorni (2001) identifica as etapas principais nos processos de Prototipagem Rápida, segundo o autor, depois de criado o modelo CAD 3D, os arquivos convertem-se no formato SLT (utilizado na estereolitografia), para ser importados em qualquer das máquinas já mencionadas. Segue-se o fatiamento do arquivo STL em finas camadas transversais e a construção física do modelo, empilhando-se as várias camadas. O processo é concluído com a limpeza e acabamento do protótipo.

Segundo Sass (2005) a Prototipagem Rápida possibilita uma produção rápida de modelos, podendo ser utilizada nas mais diferentes fases do desenvolvimento de produtos industriais, seja na demonstração de conceitos, no teste e simulação de formas, seja na visualização e discussão do projeto.

Segundo Gorni (2001, p.230), os sistemas de prototipagem rápida quando comparados com os processos “tradicionais” de prototipagem, oferecem vantagens significativas em diversas aplicações; por exemplo, por permitir criar protótipos mais complexos.

Sass (2005), ainda afirma que, o grande desenvolvimento destas tecnologias, caminhou junto com a rápida evolução dos softwares, proporcionando um crescimento em qualidade das representações físicas. Ao que Martins (2010) acrescenta que atualmente, os sistemas de Prototipagem Rápida podem acelerar o desenvolvimento de projetos de formas e espaços cada vez mais complexos e com maior precisão, conferindo maior tangibilidade entre a forma do protótipo e o objeto. Embora essas tecnologias carreguem certa dificuldade para representar o peso e outras propriedades do produto em questão uma vez que não se trata da utilização do material definitivo.

Segundo Carvalho e Volpato (2007, p.2) esta é uma tecnologia recente que tem se tornado uma ferramenta importantíssima dentro do processo de Desenvolvimento de Produtos. A maioria dos processos são baseados na adição de material aplicado em camadas planas, cujo diferencial é a relação aos processos de adição mecânicos é a facilidade de automatização, dispensando moldes e ferramentas, o que otimiza consideravelmente a intervenção do operador durante o processo de confecção.

Para Barbosa (2009) a Prototipagem Rápida pode ser considerada como uma relevante ferramenta de comunicação, sendo uma linguagem instrumental utilizada para redução do tempo de desenvolvimento dos produtos industriais, que propicia uma comunicação de maior eficácia entre o desejado e o realizado.

De acordo com Volpato et al. (2007), o sucesso de um produto industrial está muita vezes associado á habilidade, que identifica as necessidades dos clientes e

imediatamente desenvolve produtos de forma a atender-las, e de preferência a um custo competitivo.

Na busca deste objetivo a aplicação de uma metodologia de projeto e o uso de ferramentas computacionais CAD (*Computer Aided Design*), CAE (*Computer Aided Engineering*), CAM (*Computer Aided Manufacturing*), são fundamentais para auxiliar no processo de desenvolvimento de um produto.

Todo o processo de prototipagem rápida é desenvolvido sem a necessidade de moldes e em alguns projetos essas tecnologias permitem até a impressão de moldes quando for necessário.

As tecnologias de Prototipagem Rápida podem utilizar tanto os processos de subtração, quando se retira material dando a forma ao objeto, utilizando para isso tornos, CNC e fresadoras, como o processo de adição de material que pode ser por aglutinação de pó, plástico derretido ou resina curada por laser ou pela luz. Cada tecnologia apresenta a suas características físicas no aspecto de acabamento, detalhes, cores e resistência, tendo cada uma delas vantagens e desvantagens.

2.2.10 Prototipagem Subtrativa

2.2.10.1 CNC

De acordo com Macarrão (2004) as máquinas de usinagem de alta velocidade CNC proporcionam ganhos significativos no tempo de fabricação e principalmente na qualidade da superfície do modelo. Em relação ao processo manual, sendo usinagem um processo de fabricação de superfícies por remoção de material.

Para Alcoforado (2014) trata-se de um processo subtrativo onde um bloco de material pode ser desgastado pela ação de uma fresa controlada numericamente por computador (CNC). Isso ocorre a partir do envio a fresa de dados numéricos de traçados gerados pelo aplicativo da fresadora, com o objetivo de reproduzir a superfície do protótipo virtual 3D gerado no computador.

Existem diversos materiais que podem ser utilizados para fresar permitindo a produção de peças em alumínio, ligas de titânio, ou mesmo ferramentas de aço endurecido, madeiras, polímeros como o ABS, Resinas e espumas de Poliuretano (PU). Por se tratar de uma tecnologia subtrativa, existem algumas limitações para essa tecnologia, como o fresamento de peças ocas, ângulos extremos ou cavidades muito negativas.

Para Yang e Ryu (2001), as máquinas de usinagem de alta velocidade são melhores em redução de tempo e custo em relação às técnicas de Prototipagem aditivas como SLA, SLS e FDM em casos em que o produto não possua cavidades.

Segundo Schmitz et al. (2001), a fim de se melhorar a eficiência das usinagens CNCs, foram desenvolvidos alguns métodos que visavam o aumento da velocidade de usinagem, pois os processos disponíveis de Prototipagem aditiva estavam se tornando mais rápidos e baratos. Assim, as máquinas de usinagem de alta velocidade, quando utilizadas com inteligência, permitem a construção de modelos em menos tempo do que a maior parte das máquinas de Prototipagem aditiva na fabricação de um modelo em resina, por exemplo.

2.2.10.2 Fresadoras

Segundo Alcoforado (2014), de forma semelhante à fresadora CNC, a Router executa um processo de fresamento, onde uma placa de material pode ser desgastada pela ação de uma fresa controlada numericamente por computador.

A Router apresenta uma gama de possibilidades de usinagem sendo possível cortar, arredondar, fresar, desgastar, furar, esculpir, gravar superfícies planas – como placas e chapas. Além disso, esta tecnologia é compatível com diversos materiais como: aço, alumínio, acrílicos, aglomerados, latão, fórmicas, MDF, Madeiras e polímeros em geral.

Segundo Cadep (2014), além de trabalhar com arquivos a partir de projetos executados em softwares vetoriais, esse equipamento gera uma estratégia própria de corte e caminho de ferramenta, estando apta a executar cortes em 2D e/ou modelar em 3D uma ampla variedade de materiais. Essa tecnologia permite controlar altura e acabamento de cada vetor e região, além do maior aproveitamento de área, no caso do corte de placas, redução de perdas e desperdícios de material e cortes precisos e bem acabados, independente do desenho e do material.

2.2.11 Prototipagem aditiva

2.2.11.1 Estereolitografia (SLA, *Stereolithography Apparatus*)

Patenteado em 1986, segundo Lima (2010), este processo pioneiro deflagrou a revolução da prototipagem rápida. Construindo modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta (UV). Este processo permite imprimir peças que oferecem alta precisão e bom acabamento superficial e uma grande variedade de materiais, como: ABS, Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) e Policarbonato (PC) (GORNÍ, 2001).

Macarrão (2004) explica a máquina que realiza este processo de impressão 3D possui um recipiente com uma resina fotossensível que se polimeriza em contato com o feixe de luz. Dentro deste recipiente existe uma plataforma presa a um elevador, que inicialmente é posicionada abaixo do nível da resina, a distância igual à espessura da primeira camada do modelo, assim feixe de raio laser de alta precisão de foco é direcionado por um conjunto de lentes e espelhos que traça a primeira camada polimerizando a seção transversal do modelo sucessivamente.

De acordo com a 3Dsystem (2015), as suas principais aplicações são: Desenvolvimento de modelos estéticos, *Design Appearance Models*, Protótipos para prova de conceito, Modelos de Avaliação do design, Modelos de prova de engenharia e Modelos de teste para túnel de vento.

2.2.11.2 Impressão Tridimensional com pó (3D Print)

Macarrão (2004) afirma que o processo de impressão em 3D também tem o conceito da construção do modelo por deposição de camadas. Desenvolvido pela Z Corporation, este processo utiliza uma máquina que opera de maneira similar às impressoras a jato de tinta para papéis.

Segundo Relvas (2002) ao contrário das outras técnicas de prototipagem rápida esta se refere a uma classe inteira de equipamentos que usam a tecnologia de jato de tinta, ou seja, os protótipos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com material pulverulento.

Assim um cabeçote de impressão por jato de tinta "imprime" seletivamente um agente aglutinante, durante esse processo o pó dentro do recipiente da sustentação serve como suporte ao protótipo que está sendo formado.

Conforme vão sendo criadas as camadas, a plataforma é ligeiramente abaixada e o processo se repete, pode-se usar nesse processo pós de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos. No final a peça é retirada da máquina, recebe um jato de ar que retira todo o excesso de pó e o objeto é endurecido com cianoacrilato, como se trata de formação de camadas a superfície externa do modelo terá aparência semelhante a degraus.

Alcoforado (2014) afirma que algumas impressoras imprimem os modelos coloridos, usando os mesmos quatro cartuchos de uma impressora doméstica (preto, ciano, magenta e amarelo) que permitem formar até 39.000 cores diferentes, durante a impressão de cada camada, ou seja, os modelos podem sair com representação de cores e texturas em suas superfícies.

2.2.11.3 Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, Fused Deposition Modeling)

Segundo Macarrão (2004) o processo FDM foi desenvolvido pela Stratasys Inc. e tem os mesmos princípios dos outros processos de prototipagem rápida por adição, que é o de construir o modelo camada por camada, a partir de um modelo fatiado horizontalmente. Recebido pela máquina no formato STL, a qualidade da superfície do modelo e o seu tempo de fabricação estão diretamente ligados com a espessura da camada, ou seja, quanto menor a espessura da camada, melhor será a definição da superfície e maior será o tempo de fabricação do modelo.

Gorni (2001) afirma que este processo utiliza filamento de resina termoplástica que são aquecidas e extrudadas para a formação do modelo. O modelo é formado sobre uma base que faz o movimento vertical. Um bico extrusor que se move num plano X-Y vai depositando continuamente um filete de material sobre a base que mantém uma temperatura inferior à do material de forma que a resina termoplástica endurece rapidamente até formar toda a camada. A cada camada formada, a base se abaixa ligeiramente e a matriz de extrusão deposita uma segunda camada sobre a primeira, e assim sucessivamente até que o modelo seja concluído.

Esse processo se repete até a construção total do modelo, durante o processo são construídos suportes que servem de sustentação para o modelo, para isso é usado um material mais fraco que será descartado no final do processo. Existem diversas resinas termoplásticas adequadas a esse processo como poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida.

3. Materiais e Métodos

3.1 Objetos de estudo

Por ser este um trabalho que não pretendia a criação de método de avaliação ou avaliação de um produto, pode-se dizer que não utilizou apenas um objeto de

estudo, mas vários modelos confeccionados por meio de diferentes técnicas de prototipagem, e em diversos materiais. Sendo que os modelos confeccionados por meio de Prototipagem Rápida foram produzidos no Cadep – Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos, da Unesp, campus Bauru.

No entanto, como era necessário que os modelos utilizados permitissem uma avaliação igualitária, independente da técnica de produção do mesmo, buscou-se um produto no qual as questões relacionadas ao Design Ergonômico já estivessem estabelecidas. Assim selecionou-se uma embalagem cuja escolha foi determinada pelos prêmios que a mesma ganhou na área da Ergonomia e do Design de embalagem (Prêmio Abre de embalagem, Prêmio Embalagem Marca, Premio brasileiro de embalagem Troféu Roberto Hiraishi, por exemplo), apresentada na figura 22.

Figura 22 – Embalagem de cappuccino.



FONTE: <http://www.embalagemmarca.com.br>. Acessado em 20 de abril de 2015.

Tendo sido desenvolvidos 16 modelos, conforme tabela 01:

Tabela 1 - Equipamentos, Técnicas e Materiais dos modelos desenvolvidos.

Modelos	Equipamento/técnica	Material
M1	Papel Machê	Papel / Cola
M2	Plano seriado	Papelão / Cola
M3	Encaixe	MDF / Cola
M4	CNC	Espuma PU
M5	Plano Seriado	MDF / Cola
M6	Modelagem	Clay
M7	CNC Roland	MDF / Cola
M8	CNC Router	MDF / Cola
M9	Molde Silicone	Gesso
M10	Molde Silicone	Resina Poliéster
M11	Molde Silicone	Cera
M12	Molde Silicone	Resina PU
M13	CNC	Cibatool
M14	Z Printer	Pó / Aglutinante
M15	Rotomoldagem	Resina PU
M16	Z Builder	Resina SL500

FONTE: Do autor.

3.2 Desenvolvimento dos modelos

3.2.1 Técnica de construção de molde bipartido com Silicone

O Silicone é um tipo de borracha sintética que se vulcaniza em temperatura ambiente e em altas temperaturas. No entanto, no processo de moldagem para modelos e protótipos, o tipo mais usado é o que vulcaniza em temperatura ambiente.

O silicone é encontrado em várias cores, que estão relacionadas ao grau de resistência, e suas principais propriedades são a leveza, a resistência e a durabilidade. Além disso, esse material permite reprodução com enorme riqueza de detalhes, por isso é muito usado para se fazer réplicas de modelos e pode ser usado com muitos materiais, como: resinas, gesso, ceras, metais de baixa temperatura de fusão (estanho, chumbo), entre outros. Em alguns casos, os moldes de silicone nem precisam de desmoldante, já que o molde é flexível.

Como desvantagem, pode-se citar o alto custo deste material. E quando o molde é grande, para dar maior sustentação, é necessário um molde externo rígido (molde-mãe, jaqueta ou molde-matriz).

Para a construção do molde de silicone é preciso um modelo, que sirva de base para a construção do molde, que pode ser confeccionado em diversos materiais, como: Clay, Cera, Madeira, Papel, entre outros. Partindo do modelo confeccionado em um desses materiais, o primeiro passo é criar uma “cama” feita de plastilina que é um tipo de massa de modelar usada profissionalmente. Essa “cama” vai acomodar a peça que será moldada (Figura 23).

Figura 23 – Cama feita em plastilina para acomodar a peça que será moldada.



FONTE: Do autor.

Nessa cama de plastilina são feitas algumas marcas que servirão de guia para as duas partes do molde, facilitando o encaixe e evitando que o molde se feche de maneira incorreta (Figura 24).

Figura 24 – Marcas que servirão de guia para o encaixe do molde.



FONTE: Do autor.

Após a construção da “cama” de plastilina, uma parede é construída ao redor da peça, com o objetivo de conter o silicone que será vertido. Para construir essa parede pode-se utilizar a própria plastilina, papelão ou um papel de maior gramatura, madeira ou algum material (Figura 25).

Figura 25 – Parede de sustentação para conter o silicone.



FONTE: Do autor.

Em seguida é preparado o silicone com base no volume que será utilizado no molde. Essa mistura de silicone e catalisador é feita na proporção de 1/1. Após misturar silicone e catalisador o mesmo é vertido no molde a fim de capturar todos os detalhes do modelo em questão (Figura 26).

Figura 26 – Mistura silicone /catalisador e construção da primeira parte do molde.



FONTE: Do autor.

Após a cura do silicone da primeira parte do molde, a peça é virada e toda a plastilina que foi utilizada na construção da cama de plastilina é retirada (Figura 27). Com isso isola-se com vaselina toda a área de silicone já curado e verte-se uma nova quantidade de silicone misturado com catalisador para construir a segunda parte do molde (Figura 28).

Figura 27 – Plastilina sendo retirada.



FONTE: Do autor.

Figura 28 – Construção da segunda parte do molde.



FONTE: Do autor.

Após a cura dessa segunda parte, o molde é aberto e a peça utilizada como base é retirada a partir desse molde que foi construído com silicone (Figura 29), permitindo a replicação do modelo em diversos materiais como resinas, alguns tipos de clay, ceras, gessos, metais fundidos, entre outros.

Figura 29 – Molde de Silicone



FONTE: Do autor.

3.2.2 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e resina de Poliéster

A resina de Poliéster é um dos materiais que podem ser utilizados para construção de modelos, isso é devido ao seu baixo custo e excelente resistência.

Para construir um modelo de resina de Poliéster utilizando o molde de silicone utilizam-se: resina de poliéster, massa plástica que será utilizada como carga – ajudando da retração da resina e evitando que a resina de poliéster superaqueça e trinque como ocorre quando utilizada in natura – e o monômero de estireno, que serve para diluir a mistura, tornando a resina mais fluida e facilitando o preenchimento do molde. (Figura 30).

Figura 30 – Resina, Massa plástica e Monômero.



FONTE: Do autor.

Em um recipiente limpo mistura-se uma quantidade de resina que preencha o molde (em alguns casos essa quantidade também pode ser medida), em seguida mistura-se a carga, que pode ser calcita ou massa plástica e o monômero de estireno para diluir a mistura. Acrescenta-se o catalisador, a proporção de catalisador é de aproximadamente 35 gotas para cada 100 ml, e misturam-se bem os componentes (Figura 31).

Figura 31 – Mistura dos componentes.



FONTE: Do autor.

Despeja-se a mistura da resina dentro do molde de forma lenta e firme pela abertura do molde, para evitar a formação de bolhas de ar. Preenche-se o molde até a borda da abertura e depois, e para tirar as bolhas de ar que ficam presas é aconselhável vibrar a mesa sobre a qual está apoiado o molde (Figura 32).

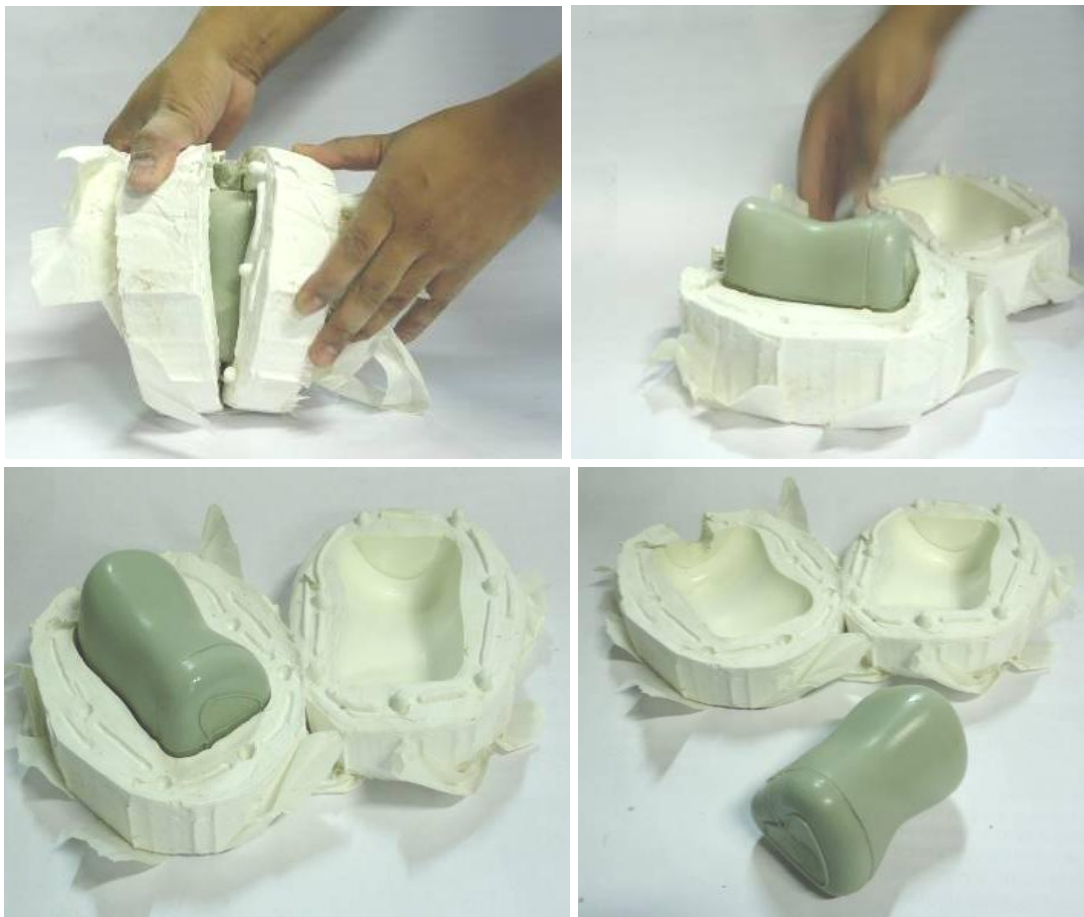
Figura 32 – Preenchimento do molde.



FONTE: Do autor.

Espera-se a resina catalisar, liberando calor por alguns instantes, e após o esfriamento pode-se observar que a resina sofre retração (Figura 33).

Figura 33 – Abertura do molde e modelo em resina poliéster.



FONTE: Do autor.

O tempo de trabalho é de aproximadamente 15 minutos, e depois de 30 ou 40 minutos o molde já pode ser aberto e o modelo pode ser manuseado.

3.2.3 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e resina de Poliuretano

Para construirmos um modelo de resina de poliuretano utilizando o molde de silicone é preciso que se pese a quantidade certa de resina que será utilizada para a

construção do modelo. Essa resina se apresenta em dois componentes (A e B), que devem ser passados com antecedência. Lembrando-se que se deve usar proporção de 1:1 (figura 34).

Figura 34 – pesagem e separação dos componentes da resina de Poliuretano.



FONTE: Do autor.

O componente A é então despejado no recipiente do componente B, pois o primeiro é mais líquido o que facilitará a mistura. Em seguida com, a ajuda de um palito de sorvete ou uma espátula, misturam-se bem os dois componentes (Figura 35). Levando-se um tempo curto de 2 a 3 minutos, dependendo das condições climáticas.

Figura 35 – Mistura dos componentes A e B.



FONTE: Do autor.

Despeja-se a mistura da resina dentro do molde de forma lenta e firme pela abertura do molde, para evitar a formação de bolhas de ar. Preenche-se o molde até

a borda da abertura e depois, e para tirar as bolhas de ar que ficam presas é aconselhável vibrar a mesa sobre a qual está apoiado o molde (Figura 36).

Figura 36 – Preenchimento do molde.



FONTE: Do autor.

Espera-se a resina catalisar, liberando calor por alguns instantes, e após o catalisação pode-se observar que a resina mudou de cor (Figura 37).

Figura 37 – Abertura do molde e modelo em resina de Poliuretano.



FONTE: Do autor.

O tempo de cura é de 20 minutos e após esse tempo o molde já pode ser aberto e o modelo pode ser manuseado.

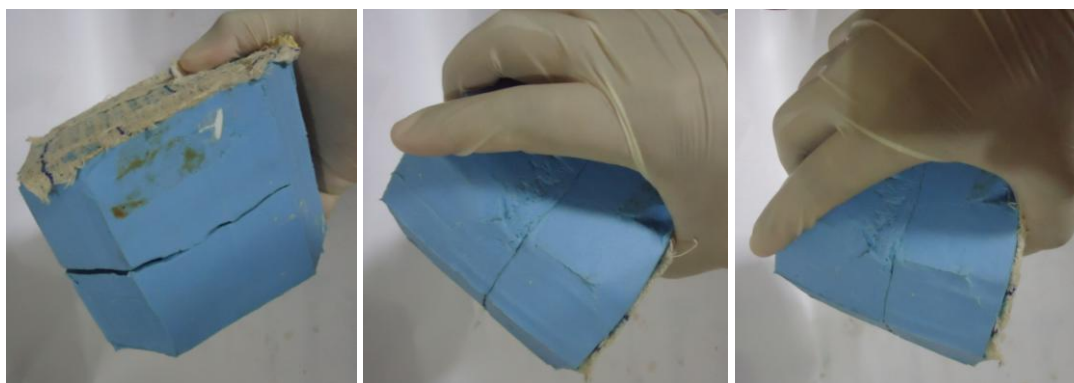
3.2.4 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e resina de Poliuretano (Rotomoldagem)

Para construirmos um modelo de resina de poliuretano utilizando a rotomoldagem, e tendo a possibilidade de obter uma peça oca utilizando o molde de silicone é preciso que se pese $\frac{1}{4}$ do volume do molde de resina, lembrando que a resina de poliuretano se apresenta em dois componentes, A e B. Em um recipiente limpo pesa-se uma quantidade do componente A e em outro recipiente a mesma quantidade do componente B, conforme demonstrado na figura 34.

Despeja-se o componente A no recipiente do componente B e em seguida com a ajuda de uma espátula mistura-se bem os dois componentes (figura 35). Lembre-se que o tempo de trabalho dessa resina é curto, de 2 a 3 minutos dependendo das condições climáticas.

E tendo a mistura dos componentes, despeja-se lentamente e firmemente pela abertura do molde, para evitar a formação de bolhas de ar. Sendo necessário que se vede a abertura do molde bipartido, para então, com o auxílio das mãos rotacionar o molde para que a mistura vá “pintando” as paredes internas (Figura 38). Esse processo de rotação pode ser feito manualmente ou com a ajuda de uma máquina de rotomoldagem.

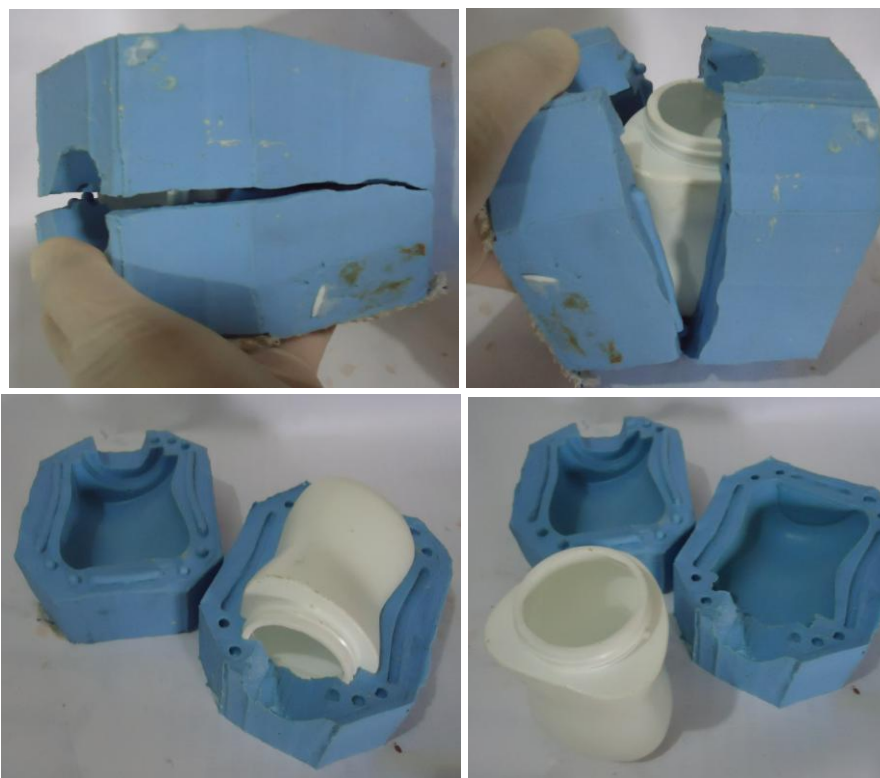
Figura 38 – Processo de Rotomoldagem



FONTE: Do autor.

Em seguida se espera que a resina catalise, esperando que se esfrie para abrir o molde. Dependendo da espessura da parede criada pode-se acrescentar um pouco mais de resina, a fim de obter a espessura desejada. Observe que a resina depois de curada muda de cor (Figura 39).

Figura 39 – Abertura do molde e modelo rotomoldado.



FONTE: Do autor.

O tempo de cura é de 10 minutos e após esse tempo o molde já pode ser aberto e o modelo pode ser manuseado.

3.2.5 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e Gesso

Para se construir um modelo de gesso utilizando o molde de silicone é preciso pesar a quantidade certa de água e gesso (Figura 40).

Figura 40 – Água e Gesso-pedra.



FONTE: Do autor.

Cada tipo de gesso possui uma proporção certa de água e gesso para o preparo. Ela é chamada de Relação Água/Pó (A/P). O gesso comum possui relação A/P de 0,50. Isto significa que para cada 50 gramas de água são necessárias 100 gramas de pó de gesso. No Brasil, o gesso pedra possui relação A/P de 0,30, ou seja, para cada 30 gramas de água são necessárias 100 gramas de pó de gesso (NETTO, 2014).

Nessa mistura foi utilizado o gesso seguindo o raciocínio da relação água/pó, E o pó de gesso foi despejado lentamente, quase que polvilhando o pó na água (Figura 41).

Figura 41 - Mistura da quantidade gesso/água.



FONTE: Do autor.

Destacando-se que nunca se deve jogar a água no gesso, pois a mistura empedra e não funciona. E quando todo o gesso tiver sido adicionado, deixa-se a mistura descansar, por 3 minutos, sem mexer enquanto o gesso absorve a água (Figura 42). Mistura-se manualmente ou com a ajuda de uma ferramenta (batedeira) para obter uma mistura homogênea.

Figura 42 – Mistura do gesso com a água e consistência final.



FONTE: Do autor.

Em seguida a mistura é vertida lentamente e firmemente pela abertura do molde, para evitar a formação de bolhas de ar. Preenche-se o molde até a borda da abertura. Bate-se na mesa em que está apoiado o molde para ajudar as bolhas de ar saírem (Figura 43).

Figura 43 – Preenchimento do molde.



FONTE: Do autor.

Espera-se o gesso esquentar e depois esfriar antes de abrir o molde (Figura 44), deixando secar depois que despejar a mistura de gesso/água. O tempo de

secagem, em geral, varia de 30 minutos até 24 horas, dependendo da espessura do modelo. A secagem em temperaturas mais baixas, removendo toda a água, deixa o modelo final mais resistente (Figura 45).

Figura 44 – Abertura do molde.



FONTE: Do autor.

Figura 45 – Modelo final em gesso.



FONTE: Do autor.

3.2.6 Técnica de construção de modelo utilizando molde de silicone e Cera

Para se construir um modelo de Cera utiliza-se o molde de silicone do objeto que se deseja reproduzir (Figura 46).

Figura 46 – Molde de Silicone para o casting em cera.



FONTE: Do autor.

Em um recipiente que suporte calor, aquece-se e derrete-se a quantidade de Cera que será utilizada para preencher o molde (Figura 47).

Figura 47 – Cera sendo aquecida e derretida.



FONTE: Do autor.

Despeje-se lentamente e firmemente pela abertura do molde a cera ainda quente até que ela preencha toda a cavidade do mesmo, sendo necessário vibrar o molde para a saída de eventuais bolhas de ar (Figura 48).

Figura 48 – Preenchimento do molde com cera.



FONTE: Do autor.

Então se espera a cera esfriar antes de abrir o molde, e após esfriar a Cera apresenta novamente uma consistência rígida (Figura 49).

Figura 49 – Abertura do molde e modelo em cera.



FONTE: Do autor.

Ao que vale afirmar que a cera pode variar sua rigidez de acordo com a marca, esse tipo de técnica e material também permite que seja rotomoldado, obtendo assim um modelo ou peça oca (Figura 50).

Figura 50 – Modelo em cera por processo de rotomoldagem.



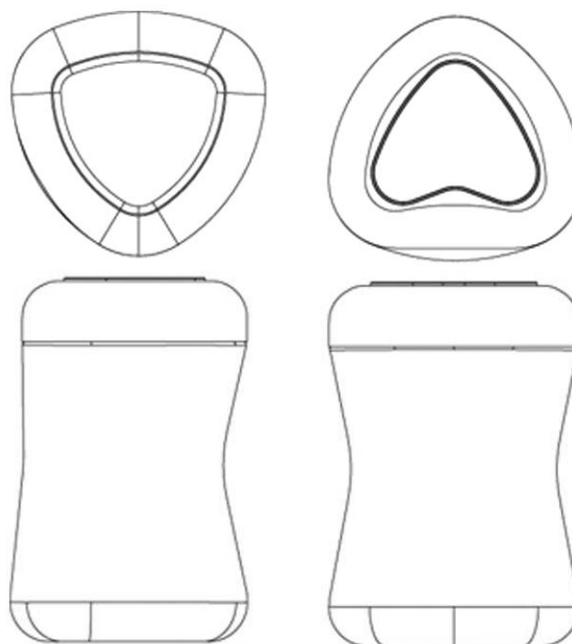
FONTE: Do autor.

O tempo de execução varia de acordo com o tamanho do modelo e depende também da habilidade e técnica do modelador. Após essa etapa pode-se aplicar ainda acabamento na superfície do modelo utilizando ferramentas de modelagem, solvente que vai alisar a superfície ou com a ajuda de um maçarico conseguir um melhor acabamento. O modelo de cera também pode ser lixado e pintado para um acabamento melhor da peça.

3.2.7 Técnica de construção de modelo utilizando Papel

O modelo de Papel é considerado o mais simples e rápido de se reproduzir, pois exige matérias fáceis de encontrar como papel e cola. Assim, para construir um modelo utilizando papel, é preciso ter um desenho técnico ou vistas da forma do objeto que se deseja reproduzir, pois é importante seguir as medidas para chegar a um resultado satisfatório (Figura 51).

Figura 51 – Desenho técnico do objeto.



FONTE: Do autor.

Em seguida, utilizando papel e fita adesiva constrói-se a forma inicial do modelo, é importante nessa etapa não exceder as linhas do desenho técnico deixando uma borda de um centímetro onde serão depositadas as camadas de papel e cola (Figura 52).

Figura 52 – Forma inicial de papel e fita adesiva.



FONTE: Do autor.

Com a forma definida começa-se a colocar as camadas de cola e papel até atingir um resultado satisfatório. Nessa etapa é muito importante se atentar para as

medidas do desenho técnico, para se obter um modelo fiel ao digital ou ao desenho (Figura 53).

Figura 53 – Camadas de papel sendo coladas.



FONTE: Do autor.

Após aplicar as camadas de papel, uma ultima camada de cola é aplicada a fim de selar o papel e dar maior durabilidade ao modelo (Figura 54).

Figura 54 – Modelo finalizado com uma ultima camada de cola.



FONTE: Do autor.

O tempo de execução varia de acordo com o tamanho do modelo, da habilidade do modelador e depende também do tempo de secagem da cola. Após essa etapa pode-se aplicar algum tipo de massa como massa plástica ou massa corrida, lixar, pintar e dar um acabamento melhor à peça.

3.2.8 Técnica de construção de modelo utilizando Clay

Para construir um modelo utilizando Clay é necessária a utilização de um desenho técnico ou vistas da forma do objeto que se deseja reproduzir, pois é importante seguir as medidas para chegar a um resultado satisfatório, como na figura 51.

Em seguida utilizando papel e fita adesiva construir a forma inicial do modelo, essa forma servirá de base para sustentar a massa que será adicionada, é importante nessa etapa não exceder as linhas do desenho técnico deixando um borda de 1 centímetro onde serão depositadas as camadas de Clay (Figura 55).

Figura 55 – Forma inicial do modelo feito com papel e fita adesiva.



FONTE: Do autor.

Com a forma definida começa-se o processo de blocagem que consiste em adicionar clay até o limite do desenho. Nessa etapa é muito importante se atentar para as medidas do desenho técnico, para se obter um modelo fiel ao digital ou o desenho (Figura 56).

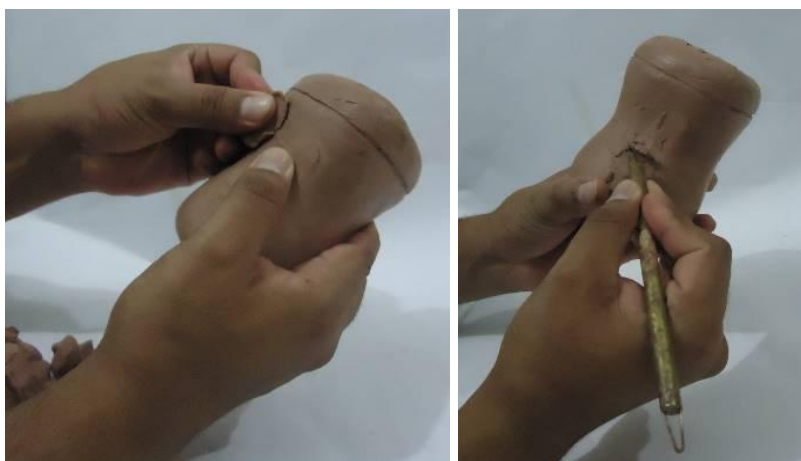
Figura 56 – Blocagem com o clay.



FONTE: Do autor.

Após a blocagem começa-se o processo de refinamento, com a ajuda de estecas (Figura 09), que são ferramentas utilizadas para raspar e dar forma ao clay. Com a ajuda dessas ferramentas é possível dar uma melhor forma e acabamento ao modelo deixando-o com uma aparência satisfatória (Figura 57).

Figura 57 – Refinamento da forma utilizando esteca.



FONTE: Do autor.

O tempo de execução desta técnica varia de acordo com o tamanho do modelo e depende também da habilidade e técnica do modelador. Após essa etapa pode-se aplicar um tipo de solvente que vai alisar a superfície ou, pode-se ainda, com a ajuda de um maçarico conseguir o mesmo resultado (Figura 58). O modelo de clay também pode ser pintado para um acabamento melhor à peça.

Figura 58 – Modelo em clay



FONTE: Do autor.

3.2.9 Técnica de construção de modelo utilizando Madeira (MDF)

Para construir um modelo utilizando madeira (MDF) é necessária a utilização de um desenho técnico ou vistas da forma do objeto que se deseja reproduzir como na figura 51, pois é importante seguir as medidas e a forma do objeto.

Em seguida, utilizando uma placa de MDF, define-se quais serão os volumes e a área utilizada para a construção do modelo. Em alguns casos é preciso colar uma placa na outra para se obter um bloco de onde será retirado o modelo (Figura 59).

Figura 59 – Bloco de MDF.



FONTE: Do autor.

Com as áreas e a formas definidas, fixa-se os desenhos das vistas nos lados do bloco de MDF (Figura 60). Esses desenhos servirão de guias para auxiliar no corte da peça, que é feito com a ajuda de uma serra de fita (Figura 61).

Figura 60 – Vistas do objeto coladas no bloco de MDF.



FONTE: Do autor.

Figura 61 – Corte com auxílio da serra de fita.



FONTE: Do autor.

Feito os cortes respeitando o desenho guia, começa o processo de desbaste, com o intuito de tirar todo o excesso até chegar a forma ideal do modelo. Após esse processo vem o refinamento da forma e posteriormente o acabamento (Figura 62).

Figura 62 – Processo de lixamento e acabamento.



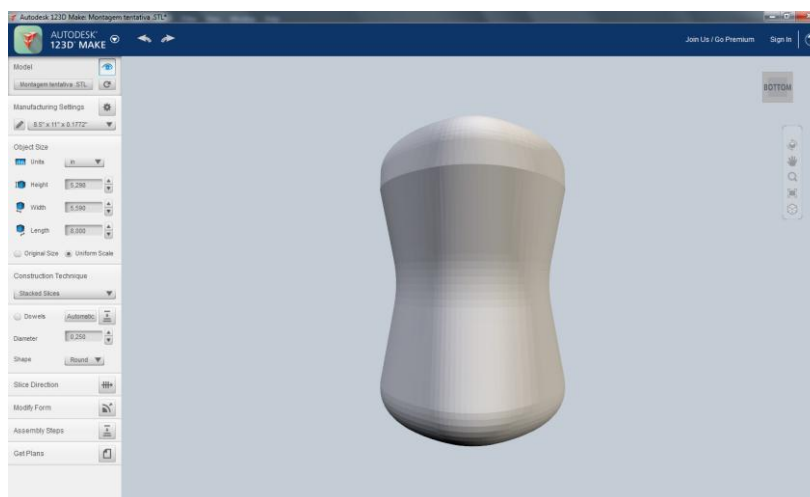
FONTE: Do autor.

O tempo de execução varia de acordo com o tamanho do modelo e depende também do conhecimento técnico do modelador. Após essa etapa pode-se aplicar algum tipo de massa como massa plástica ou resina lixar, pintar e dar um acabamento melhor à peça.

3.2.10 Técnica de construção de modelo utilizando Madeira (MDF) técnica de encaixe de placas

O modelo de madeira utilizando fatias encaixadas (ou *interlocked slices*) é considerado um modelo simples e rápido de se reproduzir, ele exige a utilização de um modelo virtual e do software Autodesk 123D Make® (Figura 63), software esse que vai fatiar o modelo virtual em diversas partes gerando vistas já pré determinadas com seus encaixes e ordem de montagem, que serão cortadas na madeira (MDF).

Figura 63 – Modelo virtual.

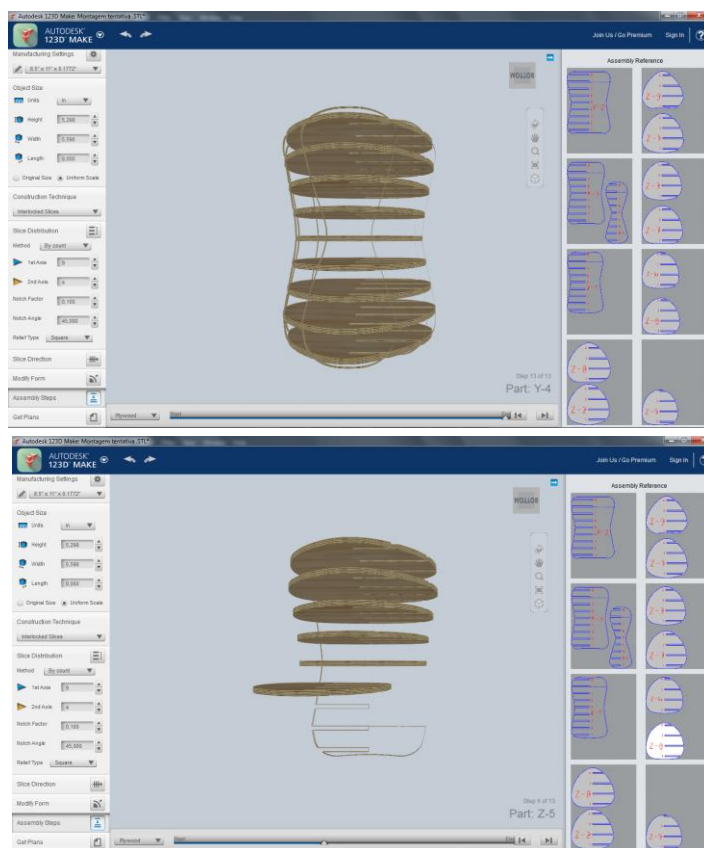


FONTE: Do autor.

Com a ajuda do software o modelo foi fatiado em um número de fatias que não descaracterizassem sua forma, pois as fatias variam de acordo com a medida do modelo virtual e quanto mais fatias, mais suave é a composição do objeto.

Após essa etapa, as fatias são selecionadas e salvas em um documento com um dos formatos fornecidos pelo software, em uma ordem numérica e de encaixe que deve ser seguida para se obter um modelo fidedigno (Figura 64).

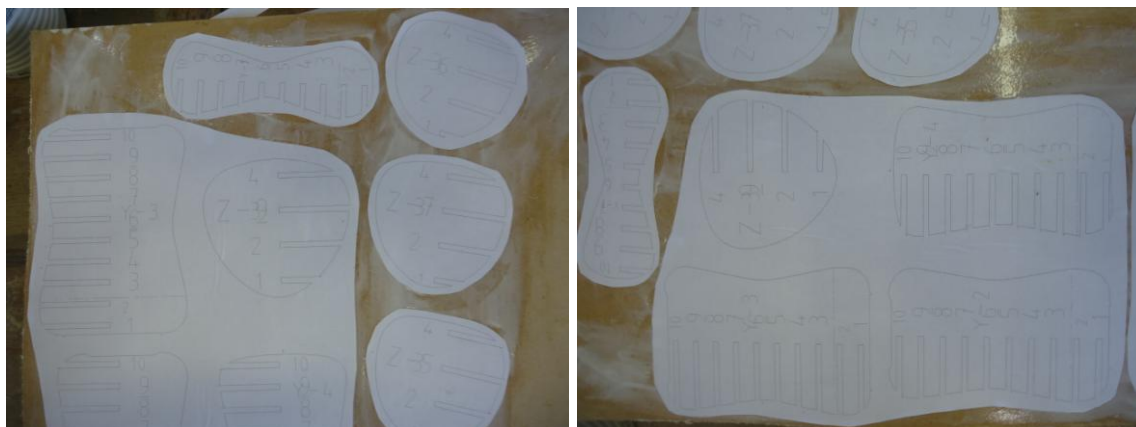
Figura 64 – Modelo virtual fatiado com o auxílio do software



FONTE: Do autor.

Com o arquivo salvo, as fatias são impressas e coladas em uma chapa de MDF que tenha a espessura que foi especificada no software. Ou seja, se no software foi selecionado 3 mm, a chapa de MDF deverá ser de 3 mm para não desconfigurar o modelo e os encaixes (Figura 65).

Figura 65 – Desenhos gerados pelo software colados na chapa de MDF.



FONTE: Do autor.

Em seguida, com a ajuda de uma serra de fita, as fatias foram cortadas uma a uma (Figura 66). Esse tipo de técnica também permite corte a laser.

Figura 66 – Fatia com encaixes sendo cortada na serra de fita.



FONTE: Do autor.

Após o corte, as fatias receberam um acabamento para retirar alguma rebarba e foram lixadas (Figura 67).

Figura 67 – Fatias lixadas e com acabamento.



FONTE: Do autor.

Depois foram coladas na sequência numérica dos encaixes conforme especificados pelo software (Figura 68).

Figura 68 – Colagem das fatias na ordem especificada pelo software.



FONTE: Do autor.

Após a colagem o modelo recebeu alguns ajustes e acabamentos (Figura 69).

Figura 69 – Modelo de chapa de MDF com encaixe finalizado.



FONTE: Do autor.

O tempo de execução varia de acordo com o tamanho do modelo e depende também do tempo de secagem da cola e da técnica do modelador. Após essa etapa pode-se aplicar algum tipo de acabamento, como massa plástica, lixar e dar um acabamento melhor à peça.

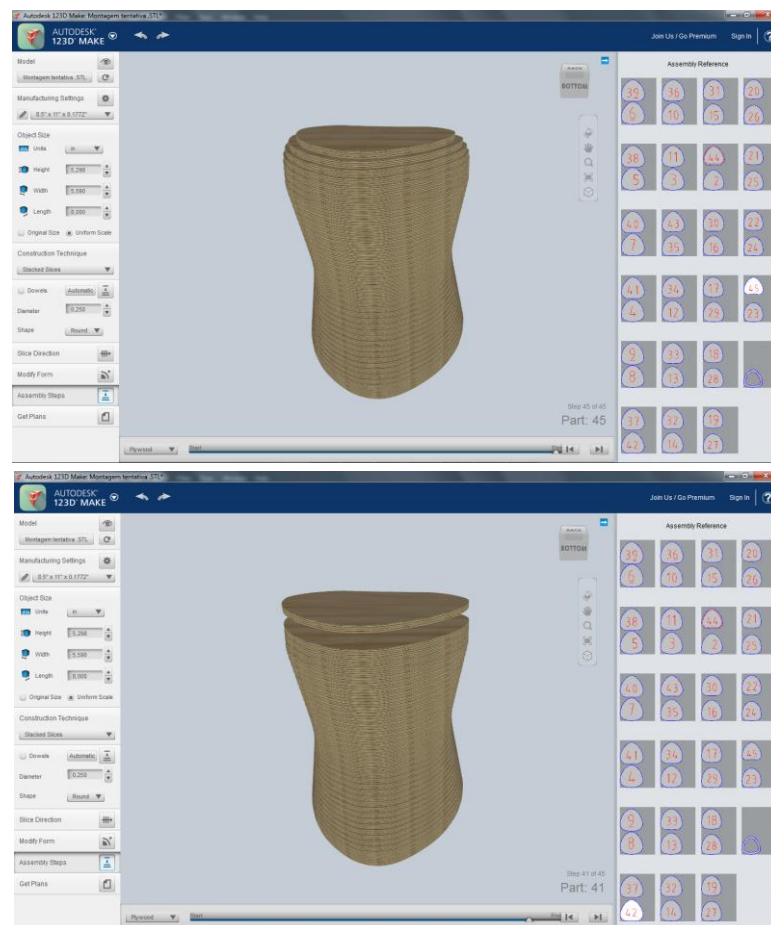
3.2.11 Técnica de construção de modelo utilizando Madeira (MDF) técnica de modelo fatiado ou placas empilhadas

O modelo de madeira utilizando fatias empilhadas ou planos seriados (ou *stacked slices*) também apresenta uma simplicidade na sua execução, mas como o modelo anterior também necessita da utilização de um modelo virtual e do software

Autodesk 123D Make® (Figura 63), que apresenta uma ferramenta que fatia o modelo virtual e gere vistas dessas fatias, que podem ser coladas e cortadas no material que se deseja.

O software então fatia o objeto em um número de fatias que não descaracterizam a sua forma, as fatias variam de acordo com a medida escolhida e quanto mais fatias mais suave é a composição do objeto (Figura 70).

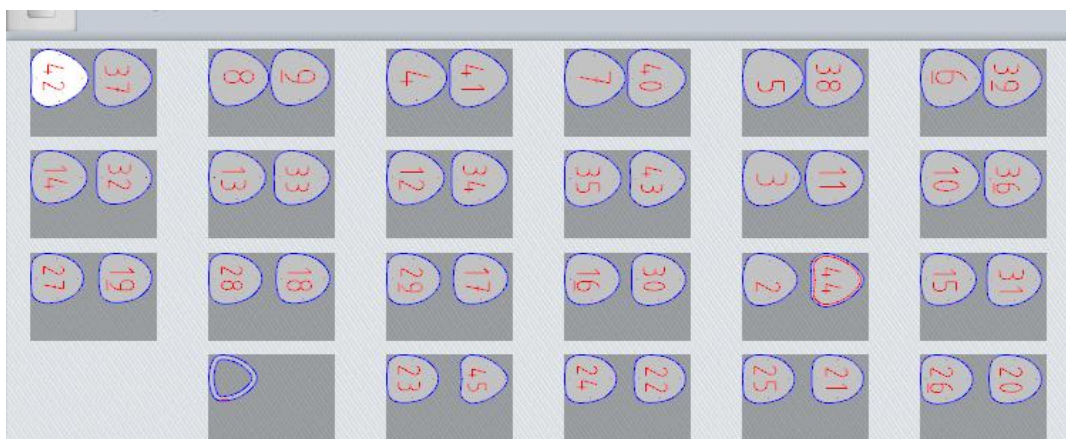
Figura 70 – Modelo virtual Fatiado.



FONTE: Do autor.

Feito isso, as fatias são selecionadas e salvas em um dos formatos fornecidos pelo software. Lembrando que o software oferece essas fatias em uma ordem numérica que deve ser respeitada na montagem do modelo. (Figura 71).

Figura 71 – Fatias geradas pelo software.



FONTE: Do autor.

Com o arquivo salvo, as fatias são impressas e coladas em uma chapa de MDF que tenha a espessura especificada no software. Ou seja, se no software foi selecionado 3 mm a chapa de MDF deverá ser de 3 mm para não desconfigurar o modelo (Figura 72).

Figura 72 – Desenho gerado pelo software colado na chapa de MDF.



FONTE: Do autor.

Com o auxílio de uma serra fita as fatias foram cortadas uma a uma. (Figura 73). Essa técnica também como a anterior pode ser executada com corte a laser.

Figura 73 – Fatia sendo cortada com auxílio da serra de fita.



FONTE: Do autor.

As fatias receberam um acabamento, foram lixadas e posteriormente coladas na sequência numérica especificada pelo software (Figura 74).

Figura 74 – Colagem das fatias em ordem numérica.



FONTE: Do autor.

Já colado, o modelo foi lixado para alguns ajustes e posteriormente recebeu acabamento (Figura 75).

Figura 75 – Modelo com planos seriado finalizado.



FONTE: Do autor

O tempo de execução varia de acordo com o tamanho do modelo e depende também do tempo de secagem da cola e da técnica do modelador. Após essa etapa pode-se aplicar algum tipo de massa, lixa-se e faz-se o acabamento da peça.

3.2.12 Técnica de construção de modelo utilizando Espuma de Poliuretano

Para construir um modelo utilizando espuma de Poliuretano, é necessário a utilização de um desenho técnico ou vistas da forma do objeto que se deseja reproduzir como na figura 51, pois é importante seguir as medidas para se obter uma modelo fiel.

Com uma placa de espuma de Poliuretano é definido qual será o volume e a área utilizada para a construção do modelo. Em alguns casos há a necessidade de colar uma placa sobre outra para se obter um bloco de onde será retirado o modelo (Figura 76).

Figura 76 – Bloco de espuma de poliuretano.



FONTE: Do autor

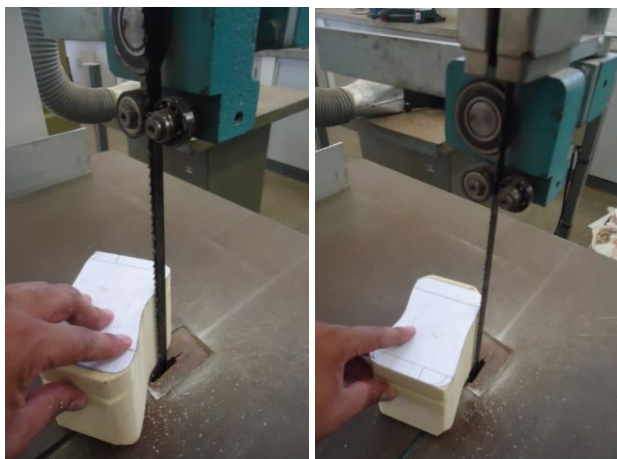
Com as áreas e as formas definidas os desenhos das vistas são fixados nos lados do bloco de PU, servindo de guia para o corte da peça (Figura 77). O corte é feito com a ajuda de uma serra de fita (Figura 78).

Figura 77 – Desenhos das vistas colados no bloco de Poliuretano.



FONTE: Do autor

Figura 78 – Cortes do bloco de Poliuretano utilizando serra de fita.



FONTE: Do autor

Após os cortes, respeitando os desenhos guia, começa-se o processo de desbaste com o intuito de tirar todo o excesso de material até chegar à forma ideal do modelo (Figura 79). Após esse processo vem o refinamento da forma e posteriormente o acabamento.

Figura 79 – Modelo de Poliuretano recebendo acabamento.



FONTE: Do autor

O tempo de execução varia de acordo com o tamanho do modelo e depende também do conhecimento técnico do modelador. Após essa etapa pode-se aplicar algum tipo de massa ou resina, lixar, pintar e dar um acabamento melhor à peça.

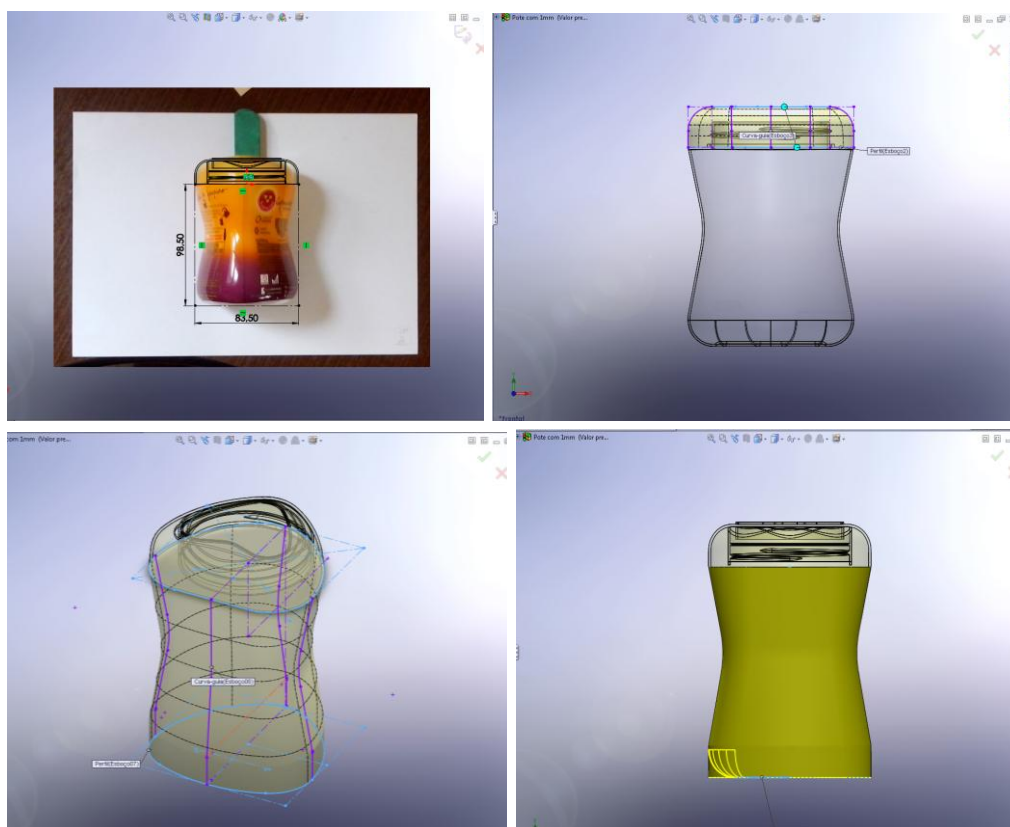
3.2.13 Construção de um modelo virtual CAD

Para a construção de um modelo CAD é necessário o conhecimento de algum software de modelagem que possa auxiliar na construção desse modelo. Hoje no mercado existem diversos softwares que oferecem esse tipo de tecnologia CAD/CAE/CAM. São modelos computacionais geométricos que podem ser montados, analisados e facilmente modificados.

Para criar um modelo 3D é preciso auxílio de um desenho técnico ou uma referencia do objeto que se deseja modelar como na figura 51, referencias e medidas são muito importantes, pois o software trabalha com cálculos matemáticos e geométricos para criar o modelo.

Nesse caso o objeto foi modelado utilizando os recursos do software Solidworks®. Após a modelagem é necessário que o arquivo seja salvo em uma extensão que possa ser reconhecida pelo software das impressoras 3D ou das fresadoras e CNCs, nesse caso a extensão é a .STL, que a maioria dos softwares 3D podem gerar arquivos no formato .STL (Figura 80).

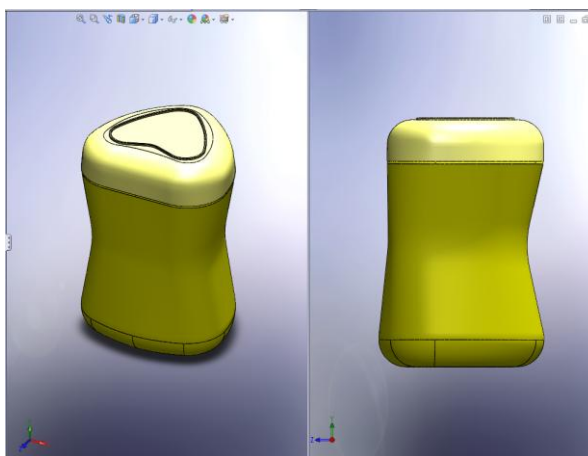
Figura 80 – Modelagem virtual do objeto.



FONTE: Do autor

Com o arquivo salvo escolhe-se qual a tecnologia que se deseja utilizar para imprimir ou usar o modelo, após o modelo 3D pronto o software da impressora 3D vai fatiar o arquivo e com isso determinar as camadas uma a uma (Figura 81).

Figura 81 – Objeto virtual finalizado.

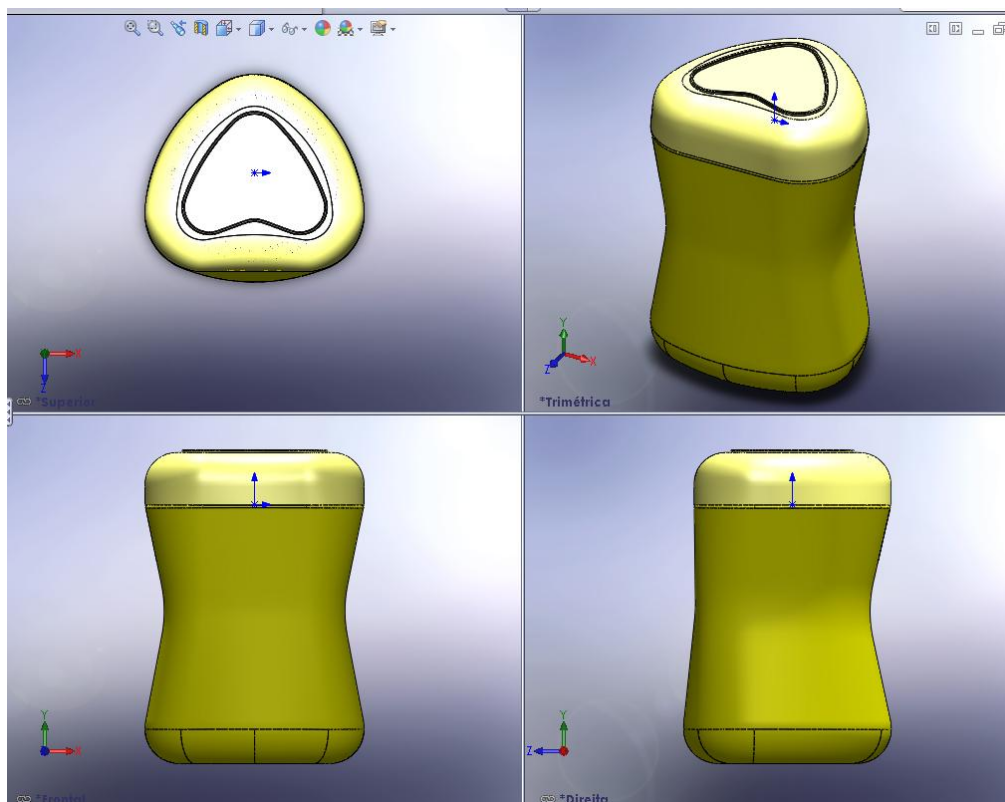


FONTE: Do autor

3.2.14 Construção do modelo na Z Builder

Para a construção de um modelo na Zbuilder é necessário um Modelo 3D desenvolvido em algum software 3D ou um objeto digitalizado e editado em algum software 3D. O modelo 3D deve ser salvo na extensão .STL (Figura 82).

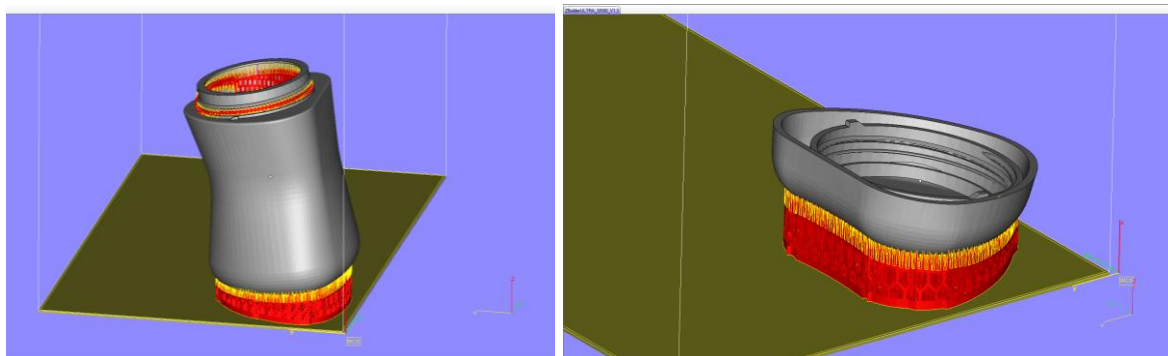
Figura 82 – Modelo virtual do objeto que será utilizado para impressão.



FONTE: Do autor

Em seguida o modelo 3D é editado e preparado com o auxílio dos softwares Magics Envisiontec Ultra v. 14 ®, Perfactory RP 2.7®, Ultra Control 1.6 ® sendo os dois últimos específicos da impressora Z Builder, que é uma tecnologia aditiva que produz os objetos por deposição de material, camada sobre camada, usando apenas a quantidade exata de material (resina) sem perdas (Figura 83).

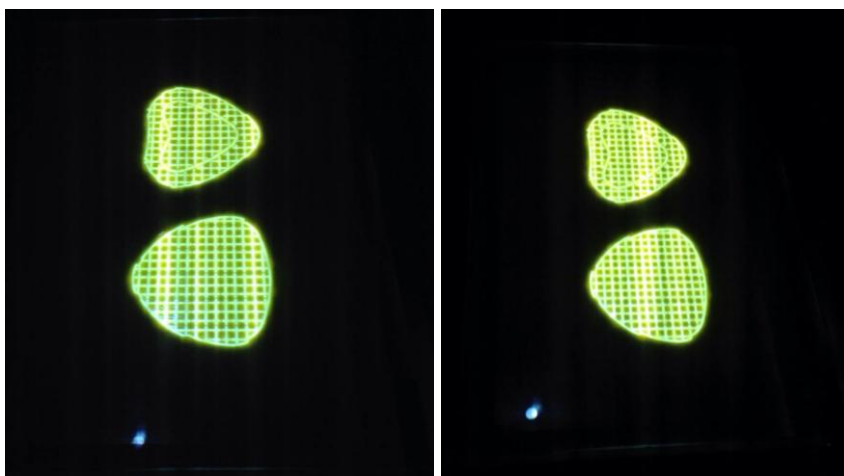
Figura 83 – Imagens do modelo já preparado pelo software da Impressora



FONTE: Do autor

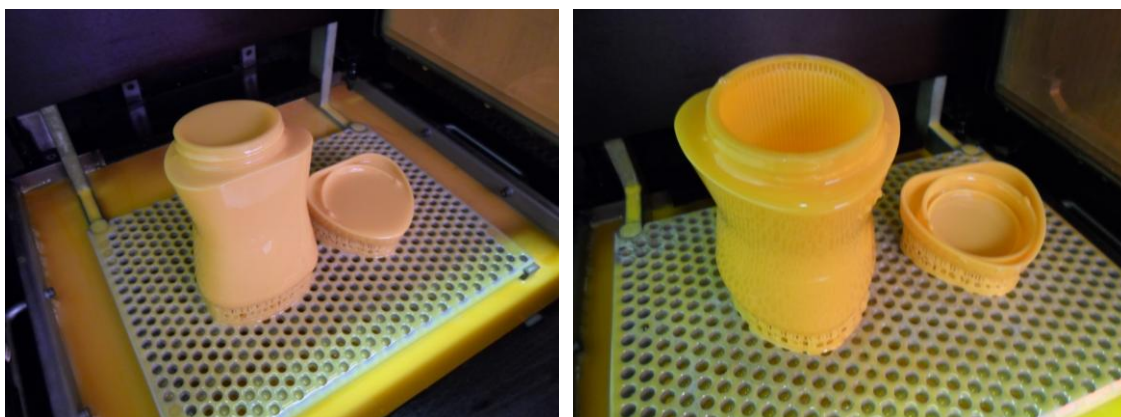
Após essa preparação começa-se o trabalho na impressora Z Builder, que constrói o objeto utilizando um fecho de luz UV que solidifica uma resina fotopolimerizável (Figura 84). E terminado todo o processo de polimerização o objeto é imerso e recebe acabamento (Figura 85).

Figura 84 – Impressora Z Builder trabalhando.



FONTE: Do autor

Figura 85 – Impressora Z Builder finalizando trabalho.



FONTE: Do autor

O objeto obtido pela ZBuilder Ultra recebe acabamento com lixa e pode ser submetido à testes mecânicos, além de testes de funcionalidade (Figura 86).

Figura 86 – Objeto impresso na Z Builder finalizado.



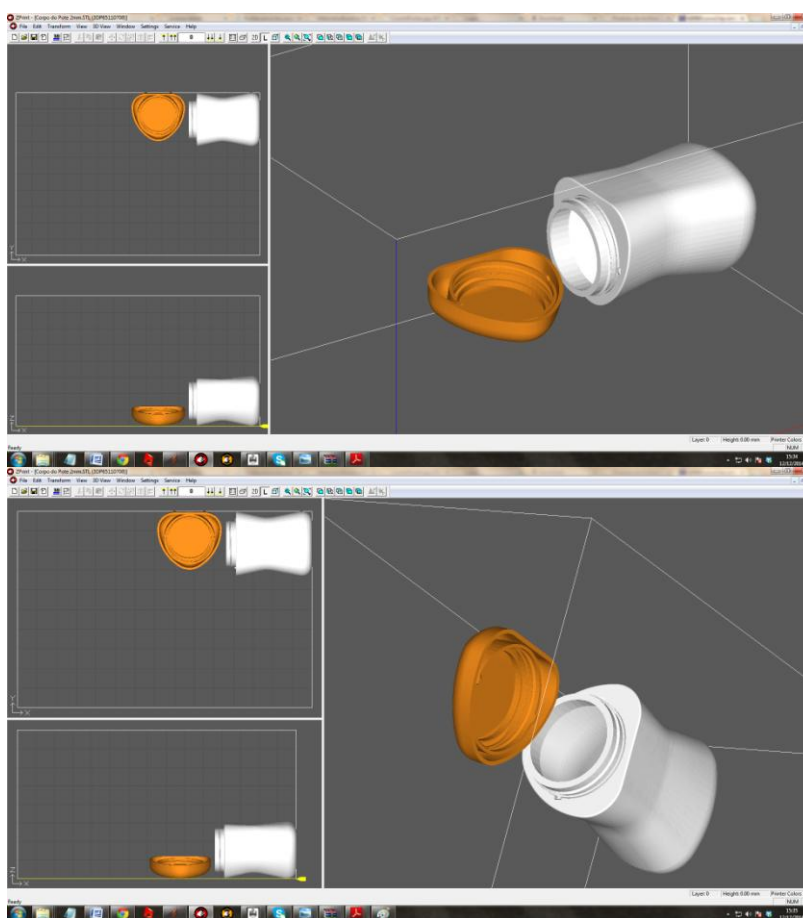
FONTE: Do autor

Os modelos obtidos nessa tecnologia vão desde modelos conceituais a modelos funcionais que permitem a utilização evitando assim possíveis erros durante o desenvolvimento de um produto.

3.2.15 Construção do modelo na Z Printer

Para a construção de um modelo na Z Printer é necessário um modelo 3D que deve ser salvo na extensão .STL, (figura 83).O modelo 3D é editado e preparado com o auxílio dos softwares ZPrint Software V7.12.4®, ZEdit Pro V1.1.0.10® específicos da impressora Z-Printer 650, que produz os objetos por deposição de material, camada sobre camada, usando apenas a quantidade exata de material sem perdas (Figura 87).

Figura 87 – Objeto virtual já editado e preparado no software da impressora.



FONTE: Do autor

Após essa preparação começa-se o trabalho na impressora Z Printer que é uma tecnologia aditiva e constrói objetos utilizando aglutinantes que são depositados sobre cada uma das camadas de pó que é solidificada conforme o objeto vai sendo

construído. Após sua construção o objeto é retirado da máquina e sofre um banho de cianoacrilato para melhorar a resistência (Figura 88).

Figura 88 – Objeto sendo produzido na impressora Z Printer.



FONTE: Do autor.

O Objeto obtido pela ZPrinter pode ser submetidos à testes mecânicos, além de testes de funcionalidade, mas em relação as outras tecnologias aditivas são objetos com maior fragilidade (Figura 89).

Figura 89 – Objeto Impresso na Z Printer finalizado.



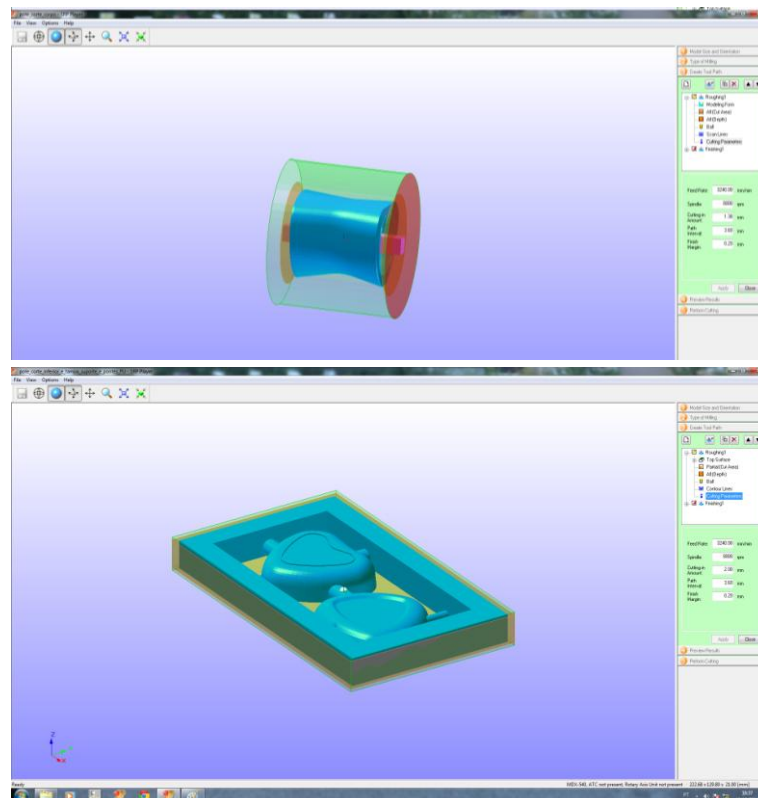
FONTE: Do autor

3.2.16 Construção do modelo na CNC Roland

Para a construção de um modelo na CNC Roland é necessário um modelo tridimensional desenvolvido em algum software 3D que deve ser salvo na extensão .STL, como na figura 83.

Em seguida o modelo 3D é editado e preparado nos softwares Magics 17® e SRP Player 1.23 ® específicos da CNC Roland, que é um sistema de Prototipagem Rápida por subtração de material, com um excelente desempenho, fácil operação, e capaz de produzir diversos tipos de modelos, protótipos e moldes (Figura 90).

Figura 90 – Objeto editado pelo software da CNC.

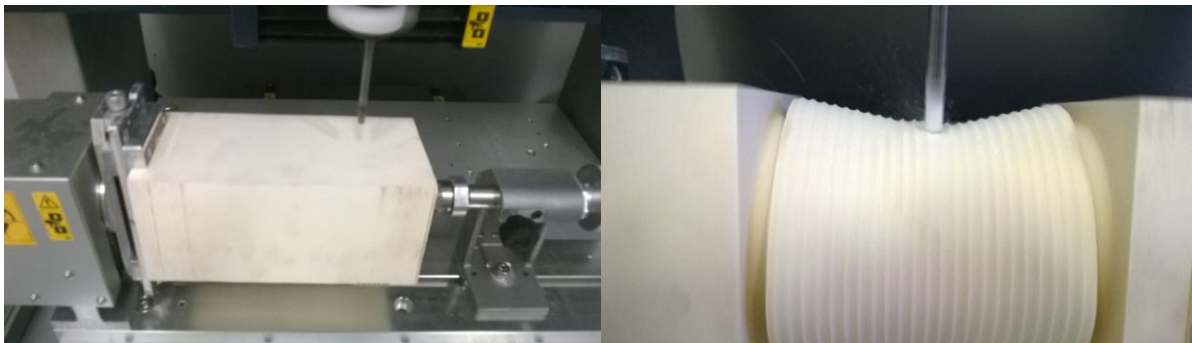


FONTE: Do autor.

Após essa preparação começa-se o trabalho na fresadora que constrói o objeto utilizando um equipamento computadorizado com configuração de três eixos, com um quarto eixo rotacional, permitindo a usinagem de objetos em 360°, nessa

etapa o objeto é usinado com uma fresa de desbaste, dando a forma inicial do modelo (Figura 91).

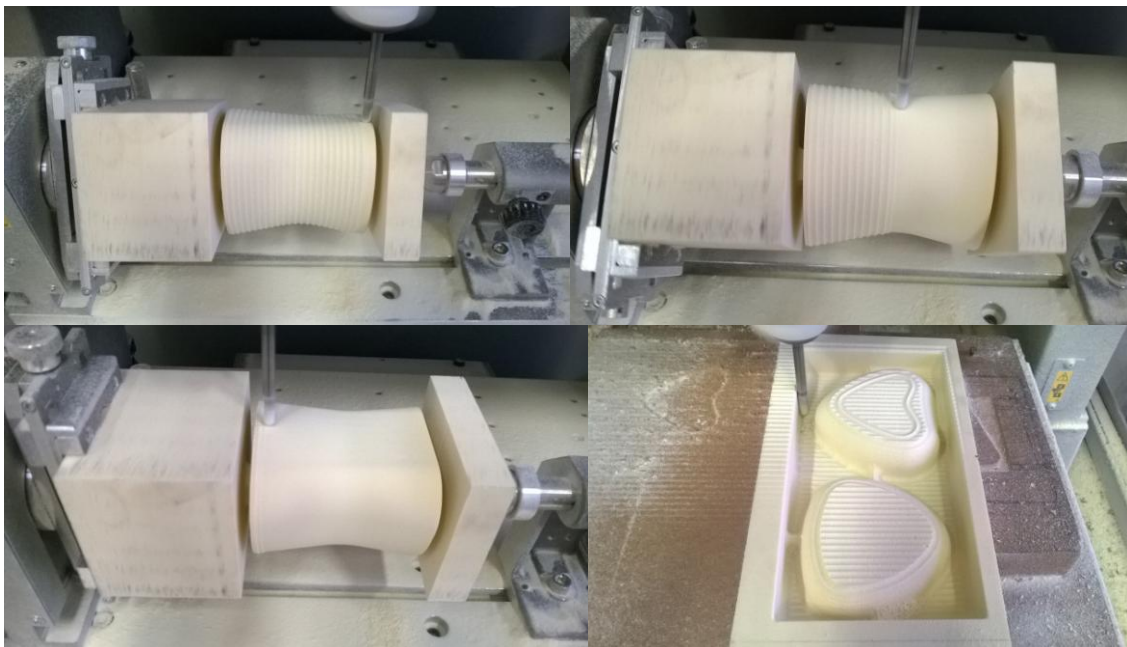
Figura 91 – Objeto sendo usinado na CNC Roland.



FONTE: Do autor.

Após essa etapa começa-se a fase de acabamento onde é utilizada uma fresa menor para dar mais detalhes ao modelo (Figura 92).

Figura 92 – Fase de acabamento.



FONTE: Do autor.

Após a fase de acabamento as partes são destacadas recebem uma finalização com lixa e são coladas gerando assim o modelo finalizado (Figura 93).

Figura 93 – Modelo finalizado na Roland CNC.



FONTE: Do autor

Essa tecnologia permite a confecção de modelos e moldes nos mais diversos materiais como Madeira, polímeros, metais e argilas. Outra vantagem é o baixo custo de produção dentre as tecnologias de Prototipagem Rápida e a velocidade na obtenção de modelos.

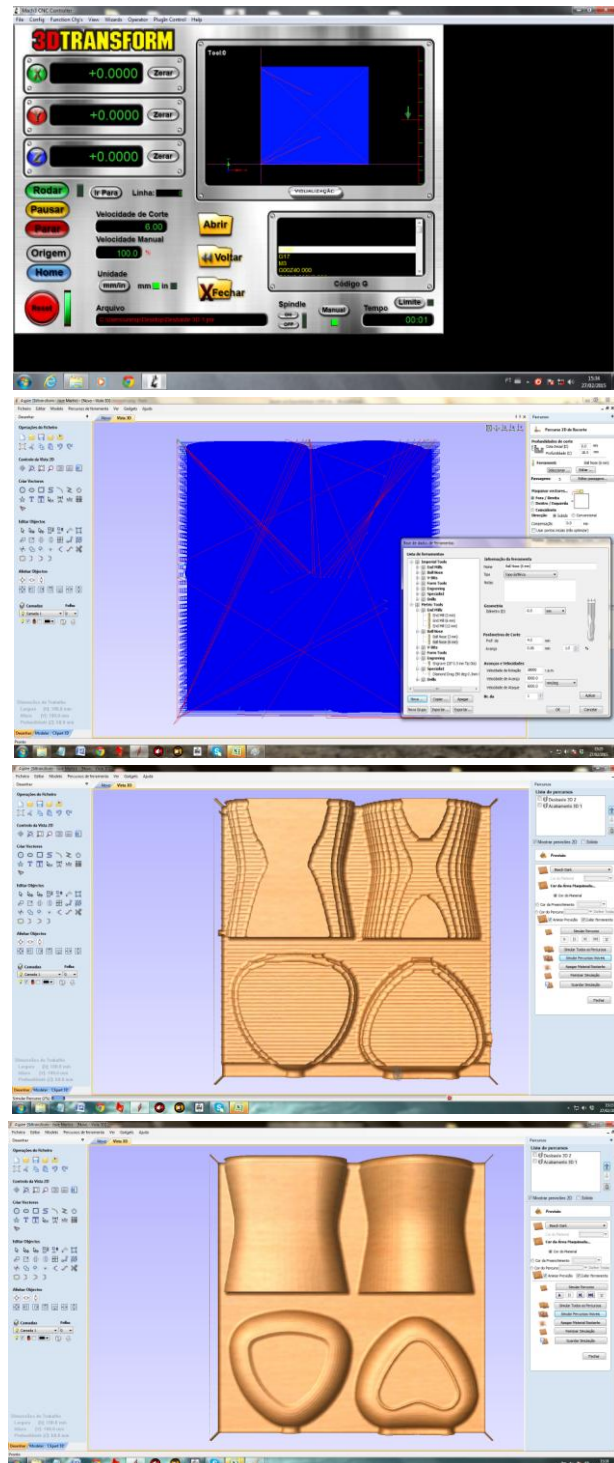
3.2.17 Construção do modelo na Router CNC

Para a construção de um modelo na Router foi necessário um modelo tridimensional desenvolvido em algum software 3D (Figura 83) ou um desenho vetorial desenvolvido em algum software 2D. O modelo 3D ou 2D deve ser salvo na extensão .STL, ou outros arquivos a partir de projetos executados em softwares vetoriais.

Em seguida o modelo 3D é editado e preparado nos softwares Aspire 3.504® e MACH 3.® específicos da Fresadora Router, que é um sistema de Prototipagem Rápida por subtração de material, esse equipamento gera uma estratégia própria

de corte e caminho de ferramenta, estando apta a executar cortes em 2D e/ou modelar em 3D uma ampla variedade de materiais (Figura 94).

Figura 94 – Software de edição da Router.



FONTE: Do autor

Após essa preparação começa-se o trabalho na fresadora que constrói o objeto utilizando um equipamento computadorizado com a configuração de três eixos e com uma mesa que permite a fixação das chapas de MDF ou outros materiais. A chapa é então fixada e a ferramenta faz todo o caminho indicado pelo software e, obedecendo aos limites e formas do modelo 3D, o objeto é usinado com uma fresa de desbaste (Figura 95).

Figura 95 – Processo de usinagem da Fresadora Router.



FONTE: Do autor

Seguida da fase de acabamento onde são utilizados outros tipos de fresa para dar mais detalhes e um bom acabamento ao modelo (Figura 96).

Figura 96 – Fase de acabamento.



FONTE: Do autor

Ao final da usinagem as partes do modelo foram coladas e o mesmo passou por ajustes finais (Figura 97).

Figura 97 – Modelo usinado na Router finalizado.



FONTE: Do autor

Essa tecnologia permite a confecção de modelos e moldes nos mais diversos materiais como madeiras, polímeros, metais, argilas, etc. Outra vantagem é o baixo custo de produção, o maior aproveitamento de material e cortes precisos e bem acabados.

3.3 Equipamentos

Neste estudo foram utilizados alguns equipamentos com o intuito de garantir a confiabilidade e autenticidade das imagens e dados gerados durante o processo.

Portanto destacam-se os equipamentos de medição, os equipamentos de registro das imagens durante o processo de construção dos modelos e moldes e na coleta de dados.

3.3.1 Balança

Para a pesagem e comparação dos modelos foi utilizada uma Balança Eletrônica Filizola, modelo MF – 3/1, com peso máximo de três Quilogramas e mínimo de 10 gramas (Figura 98).

Figura 98 – Balança Digital.



FONTE: <http://www.balancasnet.com.br>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2015.

3.3.2 Paquímetro

Para a medição e comparação dos modelos foi utilizado um Paquímetro Digital de 300 mm/12" Absolute da marca Mitutoyo, utilizado para coleta de larguras e comprimentos (Figura 99).

Figura 99 – Paquímetro Digital Mitutoyo, utilizado na medição dos modelos.



FONTE: <http://www.mitutoyo.com.br>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2015.

3.3.3 Z- Builder

Para a confecção dos modelos utilizando prototipagem aditiva foi utilizada a impressora Z-Builder que a partir de uma resina fotopolimerizável produz objetos por deposição de material, camada sobre camada que são solidificadas por um fecho de luz UV (Figura 100).

Figura 100 – Impressora Z-Builder.



FONTE: <http://www.shapeways.com> Acessado em: 20 de Abril de 2015.

3.3.4 Z- Printer

Para a confecção dos modelos utilizando prototipagem aditiva também foi utilizada a impressora Z-Printer, que como as demais tecnologias aditivas produzem os objetos por deposição de material, camada sobre camada, a diferença é que esse tipo de impressora é baseado no pó, e constrói objetos utilizando aglutinantes que são depositados sobre cada uma das camadas de pó (gesso), solidificando-as, conforme o objeto vai sendo construído (Figura 101).

Figura 101 – Impressora Z-Printer.



FONTE: <http://www.zcorp.com> Acessado em: 20 de Abril de 2015.

3.3.5 CNC Roland

Para a construção dos modelos utilizando a prototipagem subtrativa foi utilizado a Fresadora CNC Roland MDX 540, que é um equipamento computadorizado com configuração de três eixos, mas que com o seu quarto eixo rotacional, permite a usinagem de objetos em 360° (Figura 00).

Figura 102 – Fresadora CNC Roland MDX 540.



FONTE: <http://www.actioncnc.com>. Acessado em: 20 de Abril de 2015.

3.3.6 Router CNC

Para a construção dos modelos utilizando a prototipagem subtrativa também foi utilizado a Fresadora Router CNC que é um equipamento computadorizado com configuração de três eixos, e que sendo equipado com uma mesa de 2.000 x 3.000 mm, permite a fixação de chapas de MDF inteiras, sem a necessidade de cortá-las para o processamento.

Figura 103 – Fresadora Router CNC.



FONTE: <http://www.3dtransform.com.br>. Acessado em: 20 de Abril de 2015.

3.4 Protocolos

Foi utilizado para a coleta de dados, um Termo de Consentimento livre esclarecido (APÊNDICE 01), deixando claro os objetivos do estudo e a natureza da coleta de dados. Também foi utilizado um protocolo para a avaliação dos modelos. Esse protocolo utilizou os princípios de função estética, simbólica e prática definidos por Löbach (2001) para elaborar três questões auxiliaram na avaliação dos modelos (APÊNDICE 02). Os protocolos foram numerados de acordo com cada modelo, no total 16, que foram apresentados aos sujeitos de forma randomizada.

3.5 Sujeitos

Participaram desse estudo 15 sujeitos, sendo 3 mulheres e 12 homens. Todos profissionais de nível superior em Design com experiência no uso de protótipos e modelos em projetos de desenvolvimento de produto.

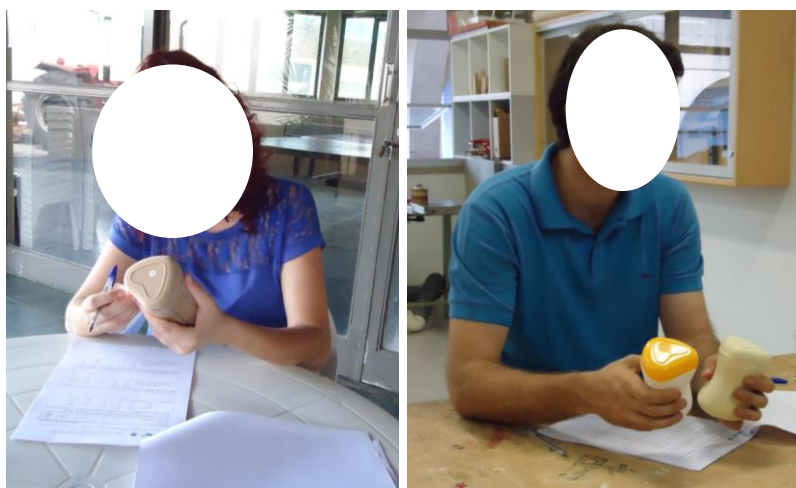
3.6 Coleta de dados

As abordagens deste estudo foram realizadas nos locais de trabalho de cada profissional.

Inicialmente os participantes foram convidados a ler e assinar o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) (APÊNDICE 01), em seguida o procedimento era explicado de forma simples e clara. Nessa etapa o participante podia esclarecer todas as dúvidas em relação ao procedimento.

Assim, eram entregues aos sujeitos os protocolos já randomizados (APÊNDICE 02) referentes a cada um dos modelos. Cada sujeito teve uma sequência de modelo pré-estabelecida, onde eram orientados a manusear o protótipo e responder a três perguntas a respeito da interação com os diferentes modelos e sua aplicação, refletindo sobre as funções do produto a ser desenvolvido (Figura 104).

Figura 104 – Participantes avaliando modelos durante teste.



FONTE: Do autor

Em relação à função estética cada participante tinha que responder a 3 critérios, Superfície, Cor, Textura. Já em relação à função simbólica tinham que dar a sua opinião em relação a dois critérios: Fidelidade da forma e Percepção da forma de coração, critério esse último que é uma das principais características da embalagem que serviu de referência. A função prática foi representada por 3 critérios: Ergonomia, Propriedades físicas e Possibilidade de realizar testes com usuário. O participante tinha como guia para as respostas ancoras que partiam de, mais inadequado, inadequado, indiferente, adequado, mais adequado (APÊNDICE 02).

Após responder todos os formulários, era solicitado ao participante que desse a sua opinião sobre qualquer um dos modelos que ele avaliou, lembrando que essa opinião era voluntária, podendo o participante conceder-la ou não.

3.7 Análises dos dados

Para realizar a análise estatística, os dados foram organizados e tabulados em planilhas eletrônicas no Microsoft Excel®, agrupados de acordo com as variáveis a serem estudadas (**Função Estética**: Superfície, Cor, textura / **Função simbólica**: Fidelidade da forma, Percepção da forma de coração / **Função Prática**: Ergonomia, Propriedades físicas, Teste experimentais com usuário). Além dos critérios físicos observados nos modelos (Peso / Dimensões / Custo de construção do modelo).

Com o uso do mesmo software aplicou-se cálculos de estatística descritiva para obtenção de Média, Desvio padrão, Gráficos.

Posteriormente os dados foram submetidos a testes para verificação de diferença significativa no Statistica®. Tendo sido realizada verificação do pressuposto de normalidade com teste de Shapiro-Wilks, onde se obteve valores de

p menores que 0,05, ou seja, a amostra não apresentou normalidade. Logo, se tratando de amostras dependentes que não apresentam normalidade, aplicou-se o teste estatístico não paramétrico Wilcoxon.

4. Resultados e Discussões

4.1 Pesos e dimensões

Os modelos foram pesados um a um e tabulados para serem comparados ao objeto que serviu de referência para a construção dos mesmos. Em relação ao peso, tanto as técnicas tradicionais quanto as técnicas de prototipagem rápida mostraram-se diferentes do peso da embalagem original, estando esta vazia ou cheia. Ou seja, nenhuma das técnicas conseguiu atingir o peso do objeto original (Tabela 02).

Tabela 02 – Pesos e medidas dos modelos.

Modelos	Peso (g)	Dimensão (mm)
Objeto Original vazio	44.5	119.16
Objeto Original cheio	249.5	119.16
M1	237.0	116,05
M2	73.0	116,04
M3	152.5	118,23
M4	55.5	120,73
M5	470.0	124,97
M6	747.0	117,09
M7	352.0	121,33
M8	331.0	118,23
M9	610.5	117,08
M10	599.5	111,37
M11	589.0	118,78
M12	509.0	114,26
M13	160.0	121,02
M14	148.0	120
M15	73.5	116,56
M16	95.5	120,45

Destacam-se pela aproximação do peso do objeto original vazio os modelos M4(Espuma de poliuretano), M2 (Papelão e cola), e M15 (Resina de poliuretano rotomoldada), respectivamente. Todos confeccionados com técnicas tradicionais.

Já o modelo M16 (Impressão na Z Builder) foi o que mais se aproximou do peso do objeto original entre as tecnologias de prototipagem rápida (Tabela 02).

Na comparação de peso com objeto original cheio o único modelo que se aproximou foi o M1 (Papel machê), também confeccionado com técnicas tradicionais.

Ao que se pode dizer que, para o critério peso, em estudos que buscassem compreender melhor as Funções Práticas do produto, onde esse critério é bastante importante, haveria a necessidade de controlar o material nas técnicas apresentadas neste trabalho, ou ainda descobrir novas possibilidades.

Os modelos foram medidos com um paquímetro digital a fim de se obter precisão em relação às dimensões. E observou-se que todos os modelos tiveram uma grande aproximação com o objeto original, apresentando diferenças de 3 a 4 mm para mais ou para menos (Tabela 02).

Podendo-se afirmar que quanto ao critério dimensão todos os modelos apresentaram-se como satisfatório o que seria de grande importância para análises das funções práticas e estéticas do produto.

4.2 Custo

Os modelos foram construídos com diversos materiais e técnicas, que iam desde materiais básicos até tecnologias mais sofisticadas, isso possibilitou a análise de custo de cada modelo, quantificando valores de matéria prima, tecnologias, mão de obra e tempo de execução.

Destaca-se que a análise foi realizada a partir do custo dos materiais e tecnologias no mercado e a mão de obra foi quantificada com uma média feita entre

profissionais do mercado que constroem modelos de maneira tradicional e profissionais de modelagem virtual (Tabela 03).

Tabela 03 – Comparação de custo e tempo de execução dos modelos.

Modelos	Equipamento/técnica	Material	Custo final do modelo (R\$)	Tempo (h)
M1	Papel Mache	Papel / Cola	21,00	10
M2	Plano seriado	Papelão / Cola	830,00	140
M3	Encaixe	MDF / Cola	840,00	140
M4	CNC	Espuma PU	930,00	127
M5	Plano Seriado	MDF / Cola	840,00	140
M6	Modelagem	Clay	750,00	144
M7	CNC Roland	MDF / Cola	980,00	127
M8	CNC Router	MDF / Cola	870,00	127
M9	Molde Silicone	Gesso	688,00	185
M10	Molde Silicone	Resina Pliéster	727,00	180
M11	Molde Silicone	Cera	730,00	172
M12	Molde Silicone	Resina de Poliuretano	810,00	168
M13	CNC	Cibatool	850,00	127
M14	Z Printer	Pó / Aglutinante	1680,00	128
M15	RotoMoldagem	Resina de Poliuretano	810,00	168
M16	Z Builder	Resina SI 500	2230,00	127

Em relação às técnicas tradicionais, nota-se o baixo custo do modelo M1(Papel Machê), pois esse modelo consiste apenas de papel e cola material esse que além de ser fácil de encontrar tem um baixo custo, tornando mais viável a confecção do modelo. Já os demais modelos tradicionais – M6 (Modelagem em

Clay), M9 (Gesso), M10 (Resina de Poliéster), M11 (Cera), M12 (Resina de Poliuretano), M15 (Resina de Poliuretano Rotomoldada) –, apresentam um custo mais elevado, pois necessitam de um molde que permita a moldagem. Esse custo está ligado também à mão de obra do profissional de modelagem que vai executar o trabalho. Nota-se que o custo da mão de obra, o molde e o tempo de execução se aproximam (Tabela 03).

As tecnologias de Prototipagem rápida apresentam um custo mais elevado em relação aos demais, devido às tecnologias e a construção do modelo 3D, uma vez que para se utilizar uma tecnologia de prototipagem aditiva – M 14 (Z Printer), M16 (Z Builder) – ou subtrativa – M4 (Espuma de Poliuretano), M7 (MDF), M8 (MDF), M13 (Cibatool) – é necessário um modelo digital tridimensional. Modelo esse que se não for construído pela própria pessoa, terá que ser construído por um profissional em modelagem 3D (Tabela 03).

Em relação às tecnologias subtrativas nota-se uma aproximação de custo em relação às tecnologias tradicionais. Já as tecnologias aditivas de maneira geral destacam-se pelo alto custo (Tabela 03), custo esse que é compensado pela possibilidade de testes funcionais (função prática) com o modelo.

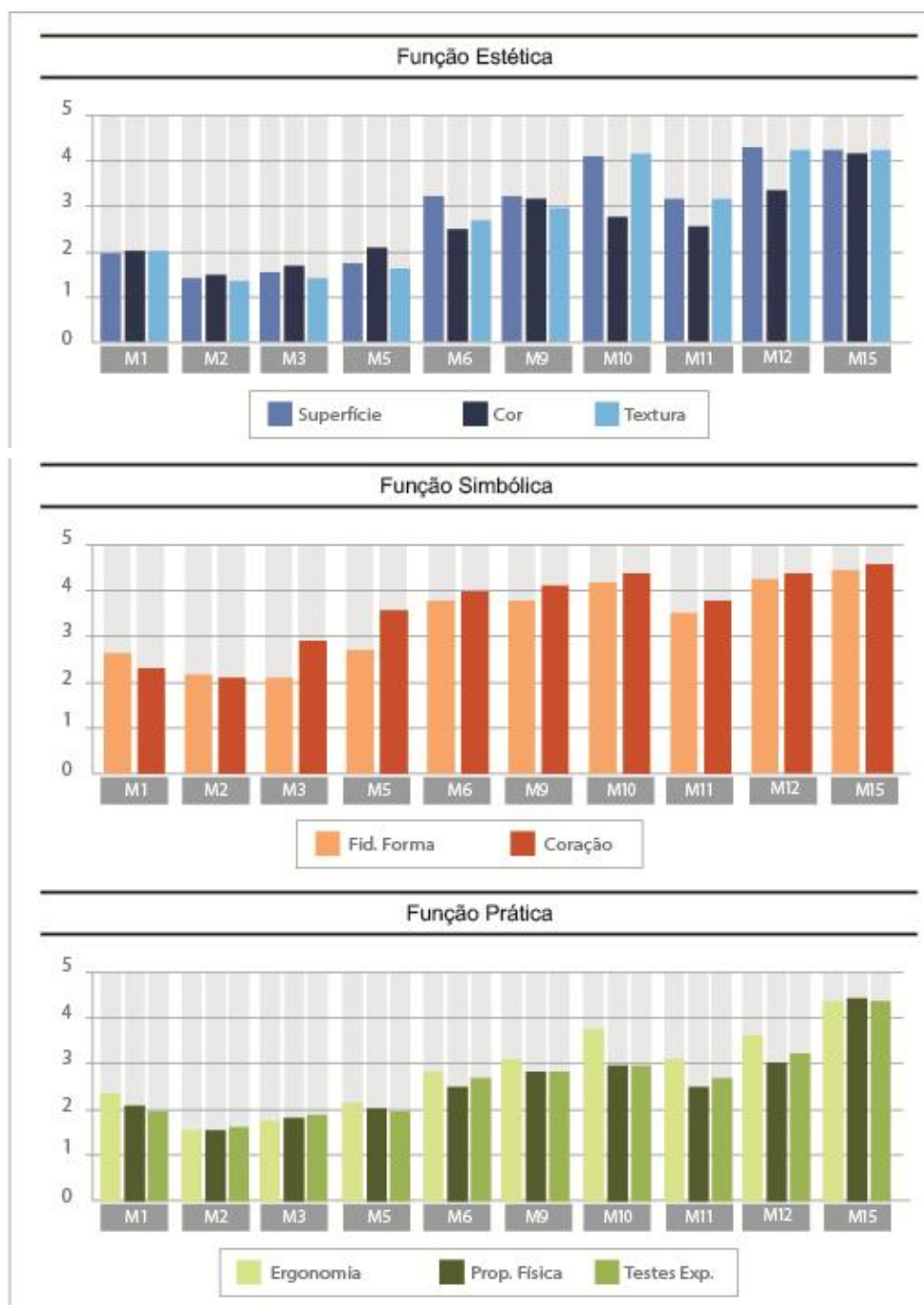
4.3 Funções dos modelos

Os Modelos foram divididos em dois grupos, os confeccionados por técnicas tradicionais e os confeccionados por técnicas de prototipagem rápida. Em seguida foram analisados em relação aos critérios utilizados para a avaliação dos mesmos durante os testes (**Função Estética:** Superfície, Cor, textura / **Função simbólica:** Fidelidade da forma, Percepção da forma de coração / **Função Prática:** Ergonomia, Propriedades físicas, Teste experimentais com usuário).

4.3.1 Modelos técnicas tradicionais

Os Modelos confeccionados por técnicas tradicionais apresentaram grande diferença entre si, destacando-se os modelos M6, M9, M10, M12, M15 que apresentaram maior pontuação nos critérios questionados para as três funções. E neste contexto o M15 se apresentou como superior a todos os outros modelos (Figura 105).

Figura 105 – Comparação dos critérios com os modelos tradicionais.

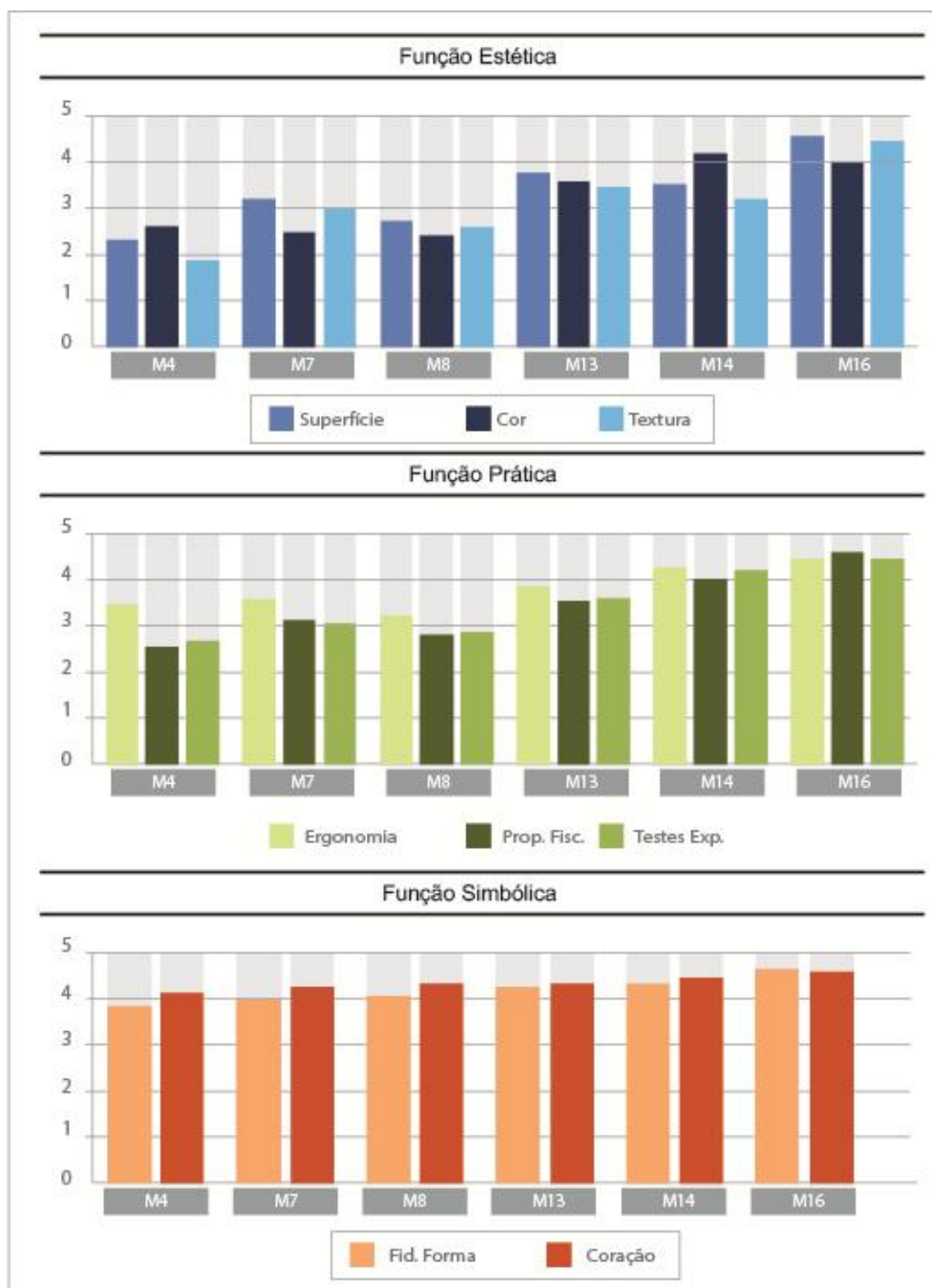


FONTE: Do autor

4.3.2 Modelos prototipagem rápida

Os modelos confeccionados por técnicas de prototipagem rápida também apresentaram diferenças entre si, destacando-se os modelos M14 e M16 confeccionados por técnicas de prototipagem aditiva com maior pontuação nos critérios avaliados, com destaque para as Funções Prática e Estética (Figura 106).

Figura 106 – Comparação dos critérios com os modelos de prototipagem rápida.



FONTE: Do autor

Quanto aos critérios selecionados para análise da Função Estética, os modelos M4, M7 e M8 apresentaram percepções muito abaixo dos demais, ao que se observa que se trata de três técnicas de prototipagem rápida por subtração de material, com exceção para o modelo M13, que embora seja produzido por processo semelhante possui médias de percepção maiores. O que pode ter ocorrido por conta do melhor acabamento superficial que o material (Cibatool) permite (Figura 106).

Observa-se ainda que quanto a Função Simbólica, não são percebidas grandes diferenças entre os modelos por parte dos sujeitos, ao que pode dizer que todos os modelos alcançaram valores muito acima da média, sendo todos bem avaliados para estes critérios (Figura 106).

4.3.3 Comparação das técnicas em relação à função dos produtos

Comparando os modelos em relação ao peso, medida e os critérios utilizados para avaliá-los, é perceptível uma semelhança entre os modelos em relação ao peso onde apenas o modelo M1 conseguiu se aproximar do objeto original cheio e o modelo M4 conseguiu se aproximar do objeto original vazio.

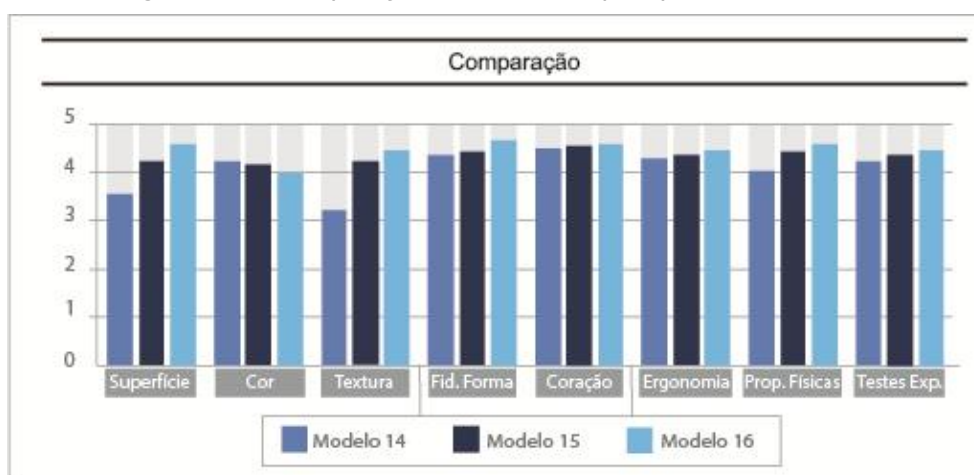
Já em relação às medidas todos os modelos atenderam a essa necessidade mostrando que, apesar do material ou técnica empregada, todos atendem a esse requisito.

Comparados do ponto de vista da utilização de mão de obra de um profissional para criar o modelo base, seja ele tradicional ou virtual, as técnicas não se diferenciam muito em relação ao tempo de execução. Já em relação ao custo, as técnicas de prototipagem aditivas se destacam pelo alto custo, mas um fator deve ser levado em consideração, pois os modelos M14 e M16 permitem uma maior interação e funcionalidade com o modelo.

Já as técnicas tradicionais, em sua maioria, não permitem esse tipo de interação funcional. Limitando o modelo para análises estéticas ou simbólicas. Com

exceção ao modelo M15, que apesar de confeccionado por uma técnica tradicional (rotomoldagem manual), atendeu aos critérios relacionados a funcionalidade. E, quanto a Função Prática, quando comparado aos modelos M14 e M16, é percebido como superior a M14 e inferior a M16, isso provavelmente ocorra, pois M14 apresenta certa fragilidade quanto ao material de que é feito. O que pode ser percebido nos critérios superfície e textura da Função Estética (Figura 107).

Figura 107 – Comparação dos modelos que apresentam funcionalidade.



FONTE: Do autor

Quanto a Função Simbólica, estes modelos (M14, M15 e M16) também são percebidos pelos sujeitos com médias bastante altas e quase sempre próximas, com destaque mai uma vez para o modelo M16, seguido do modelo M15.

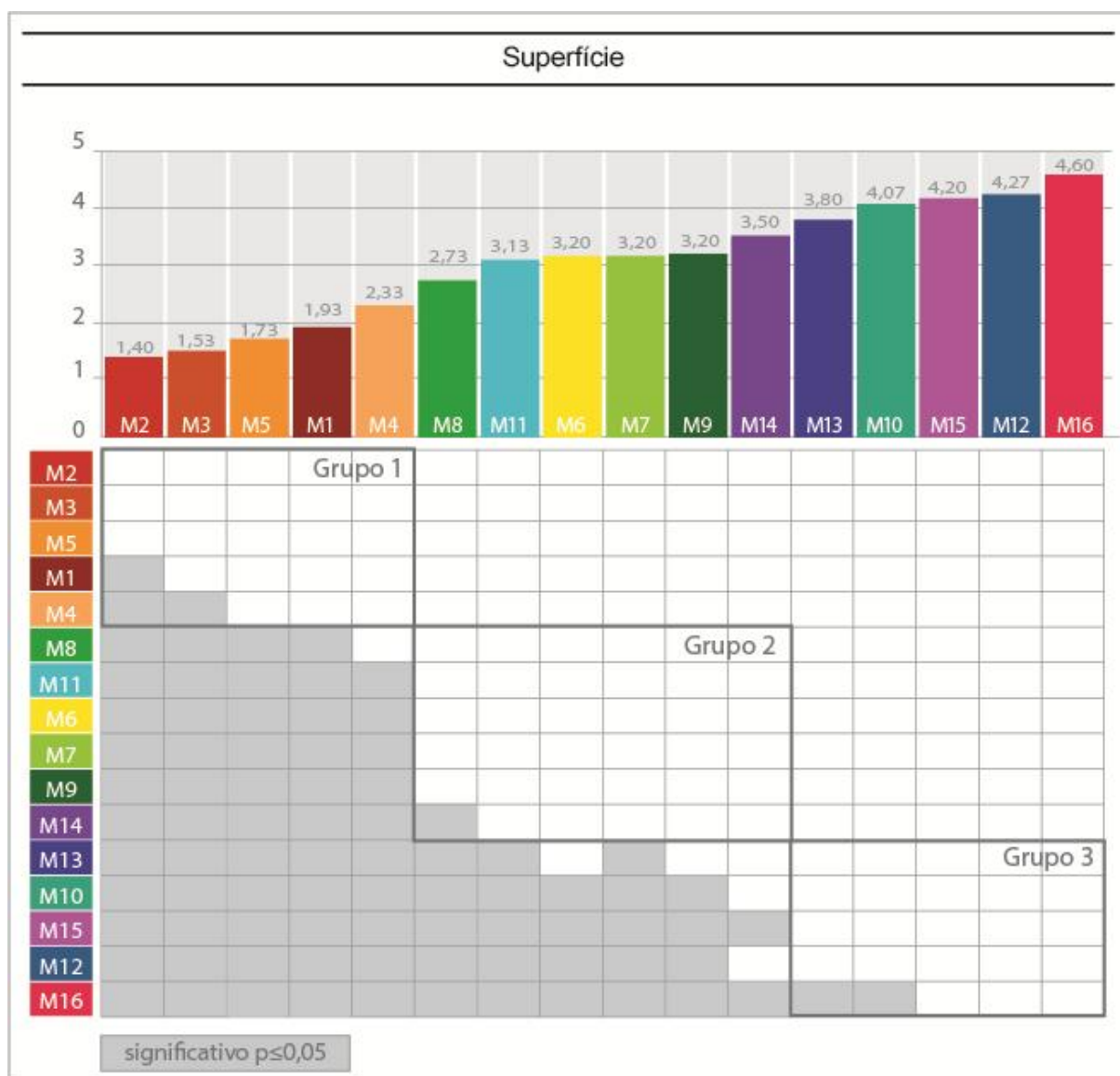
4.4 Comparação dos modelos

A análise estatística realizada permitiu a comparação dos modelos para cada critério analisado dentro das funções estabelecidas (**Função Estética**: Superfície, Cor, textura / **Função simbólica**: Fidelidade da forma, Percepção da forma de coração / **Função Prática**: Ergonomia, Propriedades físicas, Teste experimentais com usuário) e a união dos modelos em grupos caracterizados como semelhantes, por haver menores diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre eles.

4.4.1 Superfície

Para o critério Superfície (Figura 108) as médias foram ranqueadas de forma crescentes, e pode-se notar que segundo a percepção dos especialistas as menores médias foram atribuídas para as superfícies mais irregulares e as maiores para as superfícies mais regulares, portanto mais próximas da superfície da embalagem original.

Figura 108 – Comparação dos modelos em relação ao critério superfície.



Assim, nota-se que as médias de percepção de M1, M2, M3, M4 e M5 estão abaixo do valor médio da escala utilizada, que é de 0 a 5, ou seja, abaixo de 2,5. Assim, forma-se o primeiro grupo para este critério, que foi selecionado por

apresentar menor ocorrência de diferença significativa entre estes modelos do que se comparado com os demais.

Valendo neste grupo ressaltar a diferença significativa encontrada entre M4 (produzido em espuma de Poliuretano) com relação a M2 e M3 (produzidos em fatias de papelão e chapas de MDF encaixadas, respectivamente), que provavelmente ocorre devido à superfície de M4 ser entre os modelos deste grupo a que apresenta melhor acabamento. De forma contrária, M2 (produzido em fatias de papelão) se diferenciou significativamente de M1 (produzidos em Papel e cola) por apresentar superfície bastante irregular.

Um segundo grupo foi formado com M6, M7, M8, M9, M11 e M14, que apresentaram médias de percepção acima de 2,5 e abaixo de 3,5, estes modelos, diferente dos modelos do primeiro grupo, apresentam superfície maciça e mais regular. Destacando-se M6, M7 e M9, cujas médias de percepção são iguais, sendo produzidos em clay, MDF (produzido na CNC Roland) e gesso, respectivamente.

No entanto, dentro deste grupo, M8 (produzido em MDF na Router CNC) se diferenciou significativamente do M14 (produzido em pó e aglutinante na Zprinter). Sendo M14 considerado aquele com superfície mais regular dentre os modelos deste grupo, além disso, vale destacar que este modelo é o único deste grupo que permite a abertura e, portanto uma maior interação, o que pode ter influenciado na percepção deste modelo.

O terceiro grupo foi formado por M10, M12, M13, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 3,5 e são os modelos que apresentam de fato melhor acabamento superficial. Destacando-se M10 e M12 que mesmo sendo modelos sólidos se destacaram em relação aos outros no critério superfície. Modelos fabricados respectivamente de: Resina de Poliéster com carga e Resina de Poliuretano, materiais esses que oferecem um excelente acabamento superficial.

Em relação a M15 e M16 ambos apresentaram uma excelente média no critério superfície, com destaque para M16, que foi o modelo melhor ranqueado nesse critério, apresentando diferença significativa em relação a M10 e M13, valendo ressaltar que tanto M15 quanto M16 permitem abertura e uma maior interação, sendo M15 produzido em Resina de Poliuretano rotomoldada e M16 fabricado com resina fotopolimerizável por meio de uma prototipagem aditiva.

4.4.2 Cor

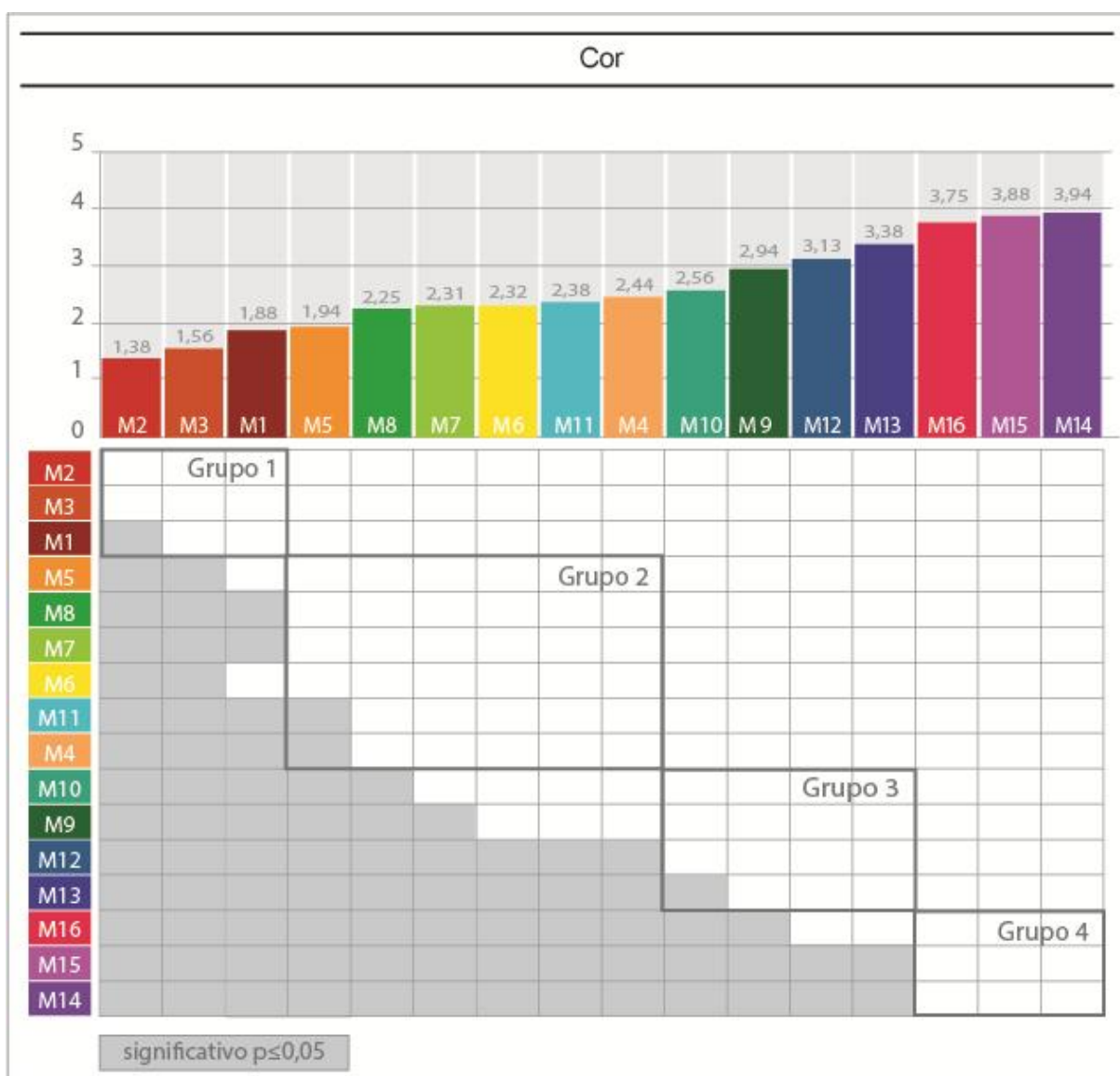
Para o critério Cor (Figura 109) as médias também foram ranqueadas de forma crescente, e pode-se notar que segundo a percepção dos especialistas as menores médias foram atribuídas para os modelos que apresentaram materiais com cores mais escuras, enquanto as maiores médias foram atribuídas para os modelos que apresentavam materiais com cores mais próximas da embalagem original.

Assim, nota-se que um primeiro grupo foi formado para esse critério entre os modelos M1, M3 e M2, que apresentaram médias baixas, menor que 2,0, uma vez que esses modelos além de apresentarem a cor neutra. Neste grupo ressalta-se a diferença significativa encontrada entre M1 (produzido com papel e cola) com relação a M2 (produzidos em fatias de papelão), que provavelmente ocorre devido à superfície de M2, que entre os modelos deste grupo é a que apresenta maiores irregularidades em relação ao acabamento. Já M3 (Produzido com chapas de MDF encaixadas) não apresentou diferenças significativas em relação aos demais modelos desse grupo.

O Segundo grupo foi formado com M4, M5, M6, M7, M8 e M11, onde a maioria apresentou médias de percepção acima de 2,0 e abaixo de 2,5, o que faz sentido, pois neste grupo todos os modelos apresentam além da cor neutra, um aspecto maciço e uma superfície lisa, com exceção de M5 que apresentou média

abaixo de 2,0 e no grupo é o único modelo que apresenta irregularidades em relação ao acabamento. Esse modelo apresentou diferenças significativas entre M4 e M11 (produzidos em Espuma de Poliuretano e Cera, respectivamente). Essa diferença pode ter influência do acabamento irregular de M5, já que em relação à cor todos apresentam cores próximas. Valendo ressaltar que M5 é produzido com chapas de MDF empilhadas e coladas, M6 produzido em Clay, M7 e M8, em MDF (fabricados na CNC Roland e Router CNC, respectivamente).

Figura 109 – Comparação dos modelos em relação ao critério Cor.



Já o Terceiro grupo foi formado por M9, M10, M12 e M13 que apresentaram médias acima de 2,5 e abaixo de 3,5. Os modelos desse grupo passam a apresentar

uma coloração mais clara e um acabamento mais regular e próximo ao do objeto original. Destacando-se M12 e M13 que apresentaram médias acima de 3,0 em relação ao critério Cor. Destacando-se que M13 (Cibatool usinado na CNC Roland) se diferenciou significativamente de M10 (produzidos em Resina Poliéster) o que se deve ao fato de que M13 apresentar, além de um excelente acabamento, uma tonalidade clara, que também o aproxima do objeto original, tonalidade essa que também aparece em M9 (produzido em Gesso).

O Quarto grupo é formado por M14, M15 e M16, grupo esse que apresentou as médias mais altas ficando todas acima de 3,5 e abaixo de 4,0, uma vez que todos os modelos desse grupo apresentam cores próximas do objeto original. Nenhum modelo desse grupo apresentou diferença significativa entre si, com destaque para o M14 (fabricado com pó e aglutinante na ZPrinter) que apresenta a maior média, o que faz sentido, pois dentre os modelos desse grupo M14 é o que mais se aproxima do objeto original, uma vez que apresenta as cores do mesmo.

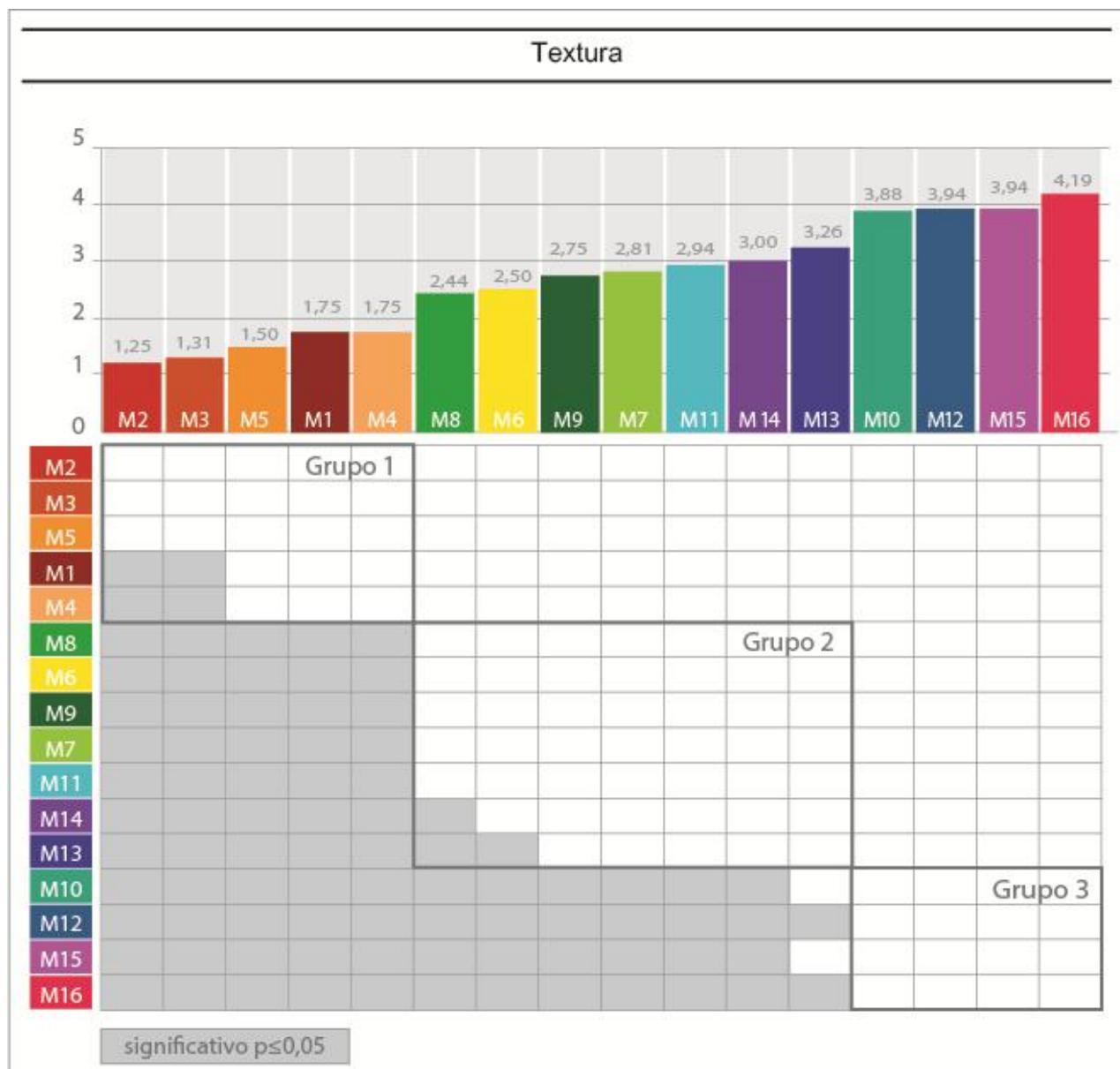
4.4.3 Textura

Para o critério Textura (Figura 110) as médias também foram ranqueadas de forma crescente, e pode-se notar que segundo a percepção dos especialistas as menores médias foram atribuídas para os modelos que apresentavam superfície com acabamentos mais irregulares e as maiores para os modelos que apresentavam acabamentos mais regulares e próximas da embalagem original.

Nota-se que um primeiro grupo foi formado para este critério, que foi selecionado por apresentar menor diferença significativa entre estes modelos do que se comparado com os demais. Valendo neste grupo ressaltar a diferença significativa encontrada entre M4 (produzido em espuma de Poliuretano) com relação a M2 e M3 (produzidos em fatias de papelão e chapas de MDF encaixadas, respectivamente), que provavelmente ocorre devido à superfície de M4 ser entre os modelos deste grupo a que apresenta melhor acabamento. De forma contrária, M1

(produzido em Papel e Cola) se diferenciou significativamente de M2 e M3 (produzidos em fatias de Papelão e Chapa de MDF encaixadas, respectivamente) por apresentar superfície mais regular.

Figura 110 – Comparação dos modelos em relação ao critério Textura.



O Segundo grupo foi formado pelos modelos M6, M7, M8, M9, M11, M13 e M14, que apresentaram médias de percepção entre 2,0 e abaixo de 3,5. Faz sentido que estes modelos estejam, assim agrupados, pois estes modelos, diferente dos modelos do primeiro grupo, apresentam superfície maciça e mais regular.

No entanto, dentro deste grupo, M8 (produzido em MDF na Router CNC) se diferenciou significativamente do M13 e M14 (Usinado na CNC Roland em Cibatool e produzido em pó e aglutinante por prototipagem aditiva ZPrinter), isso se deve ao fato de que M8 apresentar um acabamento mais irregular quando comparado aos dois modelos.

Sendo M13 considerado aquele com superfície mais regular dentre os modelos deste grupo, o que faz sentido, pois o material (Cibatool oferece um excelente acabamento se comparado aos modelos desse grupo. Além disso, vale destacar o M14 que também apresentou uma média alta e que neste grupo é o único que permite a abertura e, portanto uma maior interação, o que pode ter influenciado na percepção deste critério. Já M6 (Produzido em Clay) se diferenciou de M13, provavelmente isto tenha ocorrido, pois se comparados os dois modelos, M6 apresenta uma sensação tátil mais irregular em relação ao acabamento de M13.

Já o terceiro grupo foi formado pelos modelos M10, M12, M15 e M16, que apresentaram médias acima de 3,5. Esses modelos de fato apresentam melhor acabamento superficial, destacando-se entre eles M12 e M15, que apresentaram médias idênticas em relação ao critério Textura. Os resultados desta média de percepção são coerentes, pois ambos são compostos do mesmo material – a resina de Poliuretano, que oferece um excelente acabamento –, mas produzidos de maneira diferente.

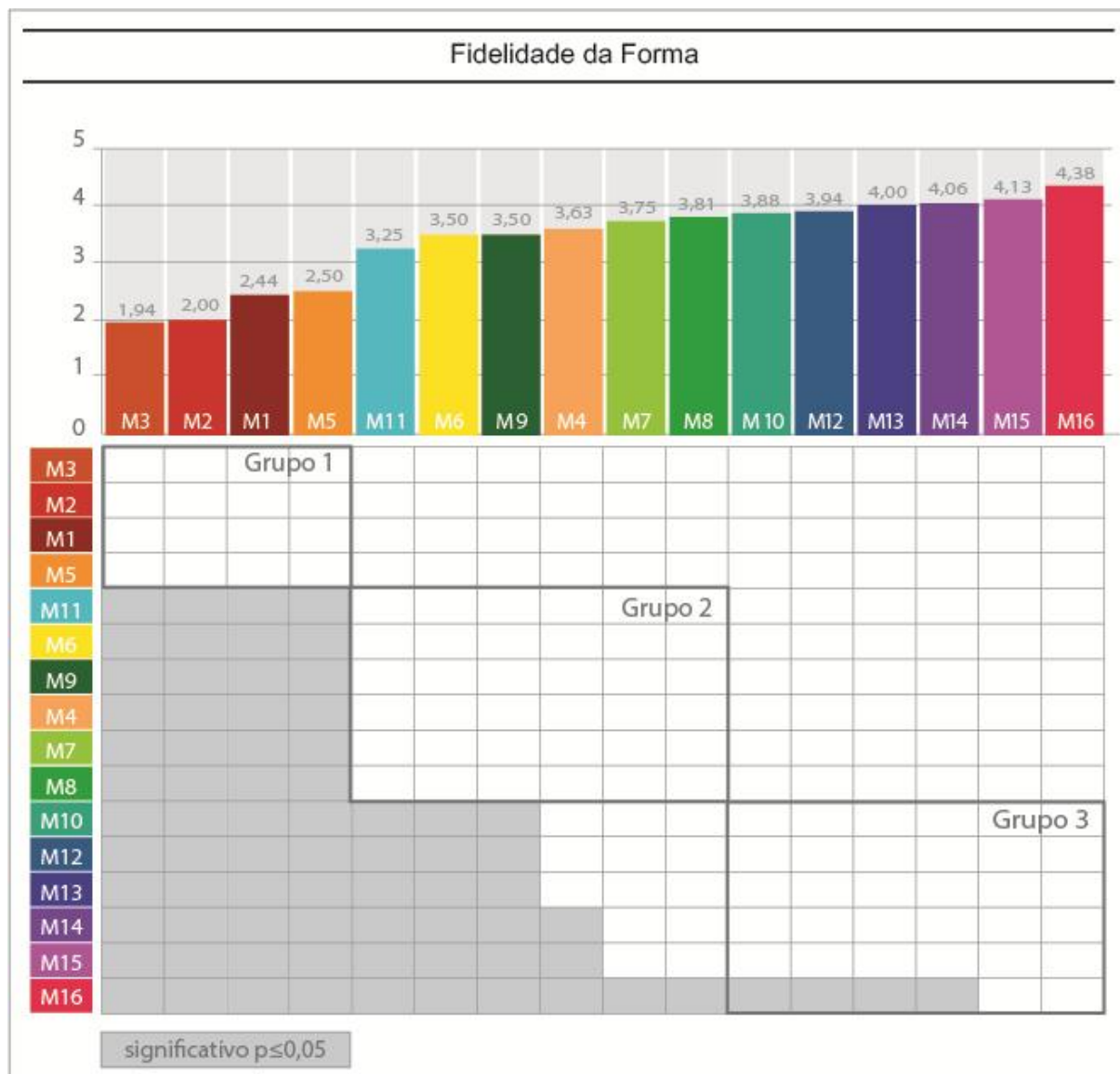
M16 apresentou uma excelente média no critério textura, sendo importante notar que este modelo é produzido em resina fotopolimerizável, por tecnologia de prototipagem aditiva (ZBuilder) e que é um modelo que permite abertura, e uma maior interação.

4.4.4 Fidelidade da Forma

Para o critério Fidelidade da Forma (Figura 111) as médias também foram ranqueadas de forma crescente, e pode-se notar que segundo a percepção dos

especialistas, as menores médias foram atribuídas aos modelos sem acabamento superficial e as maiores médias foram atribuídas de fato aos modelos com maior fidelidade e melhor acabamento.

Figura 111 – Comparação dos modelos em relação ao critério Fidelidade da Forma.



Nota-se que as médias de percepção de M1, M2, M3 e M5 estão abaixo do valor médio da escala utilizada, que é de 0 a 5, ou seja, abaixo de 2,5. Isso se deve ao fato desses modelos apresentarem um acabamento superficial inferior em relação aos demais, não atendendo ao critério de 'Fidelidade da Forma'.

O primeiro grupo formado para este critério foi selecionado por apresentarem menor diferença significativa entre estes modelos do que se comparado com os demais. Neste grupo encontram-se os modelos M1, M2, M3 e M5, não tendo sido encontradas diferenças significativas entre eles, pode-se dizer que se trata de um grupo consistente por apresentar diferença entre seus elementos em relação a todos os modelos dos demais grupos. M1 (Produzido com papel e Cola), M2 (fatias de papelão empilhadas), M3 (Chapas de MDF cortadas e encaixadas) e M5 (Chapas de MDF cortadas e empilhadas) são modelos que apresentam uma superfície irregular devido aos materiais e técnicas que foram produzidos.

O segundo grupo foi formado com M4, M6, M7, M8, M9 e M11, que apresentaram médias de percepção acima de 3,0, o que faz sentido, pois estes modelos, diferente dos modelos do primeiro grupo, são em sua maioria modelos maciços e cujas técnicas e materiais permitem melhor acabamento superficial.

No entanto, dentro deste grupo, vale ressaltar M6 e M9 (produzido em Clay e Gesso, respectivamente) que apresentaram médias idênticas de 3,5, o que faz sentido já que os dois têm mesmas medidas próximas e pesos aproximados, além do material que passa uma sensação térmica mais fria que os demais modelos.

Já o terceiro grupo foi formado por M10, M12, M13, M14, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 3,5, e trata de modelos que apresentam melhor acabamento e com isso se aproximam mais da forma do objeto original. Destacando-se M14, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 4,0, modelos esses que são produzidos em Resina de Poliuretano rotomoldada (M15) e prototipagem aditiva com pó e aglutinante (M14) e Resina fotopolimerizável (M15). Além disso, neste grupo há destaque para o modelo M16 se diferenciou significativamente de M10, M12, M13 – modelos maciços – e M14 – que oferece a opção de abertura – como o mais fiel a forma. Ao que se nota que M15 se diferenciou significativamente de M14, pois apesar de ambos permitirem a abertura

dos potes, M14 possui paredes espessas e maior peso em relação à embalagem original.

Já M15 que também permite abertura e interação, não se diferenciou de M16, pois os dois modelos estão muito próximos do objeto original o que certamente contribuiu para a boa classificação dos especialistas de ambos.

4.4.5 Coração

Para o critério Coração (Figura 112) as médias também foram ranqueadas de forma crescente. Nota-se que segundo a percepção dos especialistas as menores médias também foram atribuídas aos modelos sem acabamento superficial e as maiores médias foram atribuídas de fato aos modelos com maior fidelidade a forma de coração da embalagem original. Havendo grande proximidade com a classificação das médias atribuídas ao critério 'Fidelidade da forma'.

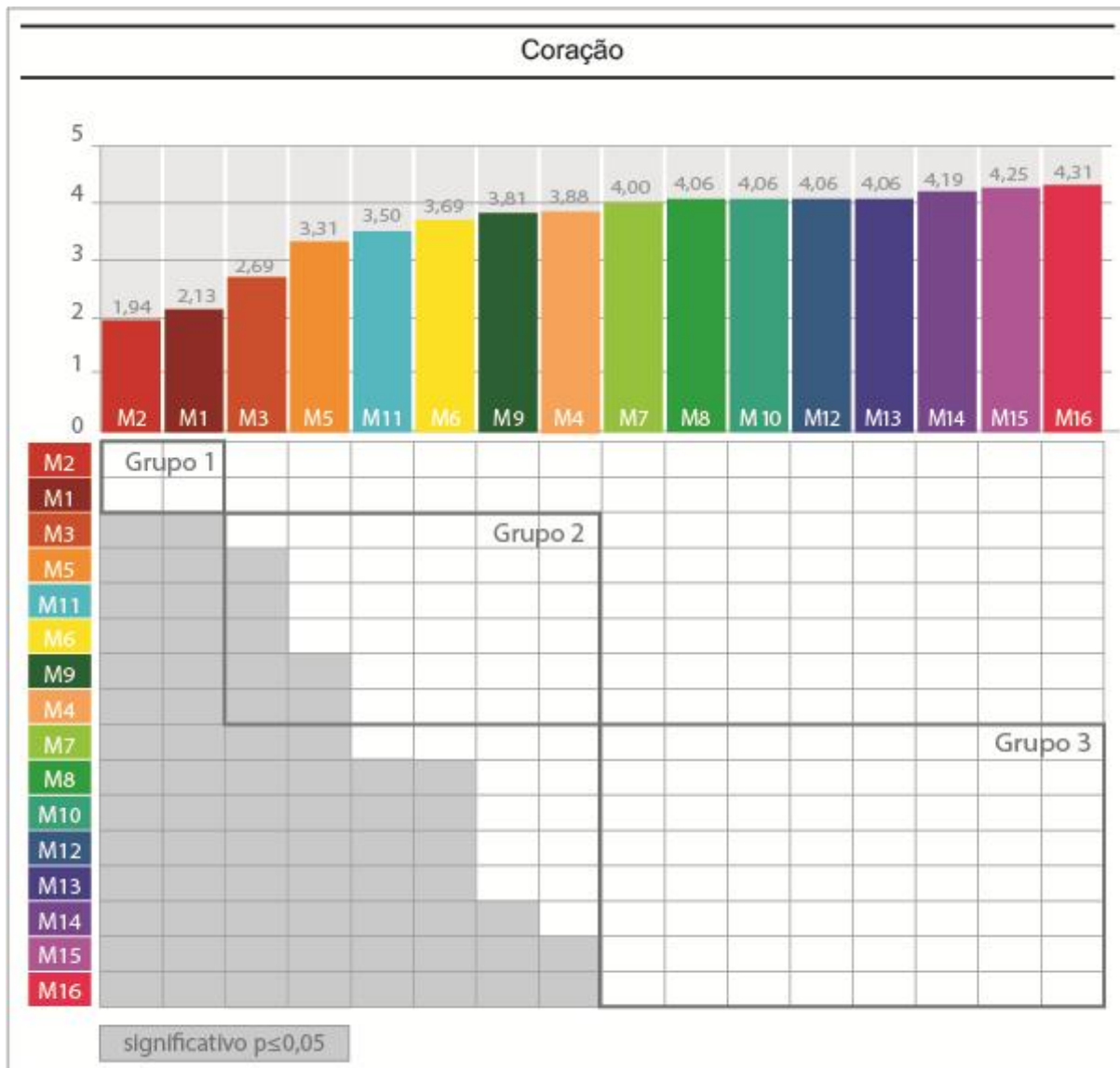
Nota-se que as médias de percepção de M1, M2, estão abaixo do valor médio da escala utilizada, que é de 0 a 5, ou seja, abaixo de 2,5. Isso se deve ao fato desses modelos apresentarem um acabamento irregular em relação aos demais não atendendo ao critério da forma de Coração.

O Primeiro grupo formado para este critério foi selecionado por não apresentarem diferença significativa entre estes modelos quando comparados com os demais. Valendo destacar que não há diferença significativa entre eles, mas que o grupo apresenta diferença significativa em relação aos demais modelos. Fazem parte desse grupo M1 (Produzido com papel e Cola), M2 (fatias de papelão empilhadas), modelos que apresentam um acabamento superficial irregular devido aos materiais e técnicas que foram produzidos.

O Segundo grupo foi formado com M3, M4, M5, M6, M9 e M11, que apresentaram médias de percepção acima de 2,5, e que diferente dos modelos do

primeiro grupo, apresentam verdadeiramente maior proximidade a forma de coração quando comparados ao objeto original.

Figura 112 – Comparação dos modelos em relação ao critério Coração.



Entretanto, o modelo M3 (produzido em placas de MDF cortadas e encaixadas) apresenta diferença significativa em relação a todos os modelos desse grupo, assim como do grupo anterior. Contudo, mesmo assim optou-se por colocá-lo no segundo grupo por haver neste outros modelos feitos do mesmo material (placas de MDF).

Entre os demais modelos deste grupo, destaca-se ainda M5 (produzida de placas de MDF cortadas e empilhadas), que se diferenciou significativamente de M9 e M4 (produzidos em gesso e espuma de Poliuretano), isso também pode ser atribuído ao material e técnica que M5 é produzido, que dificulta a compreensão da forma de coração do objeto original.

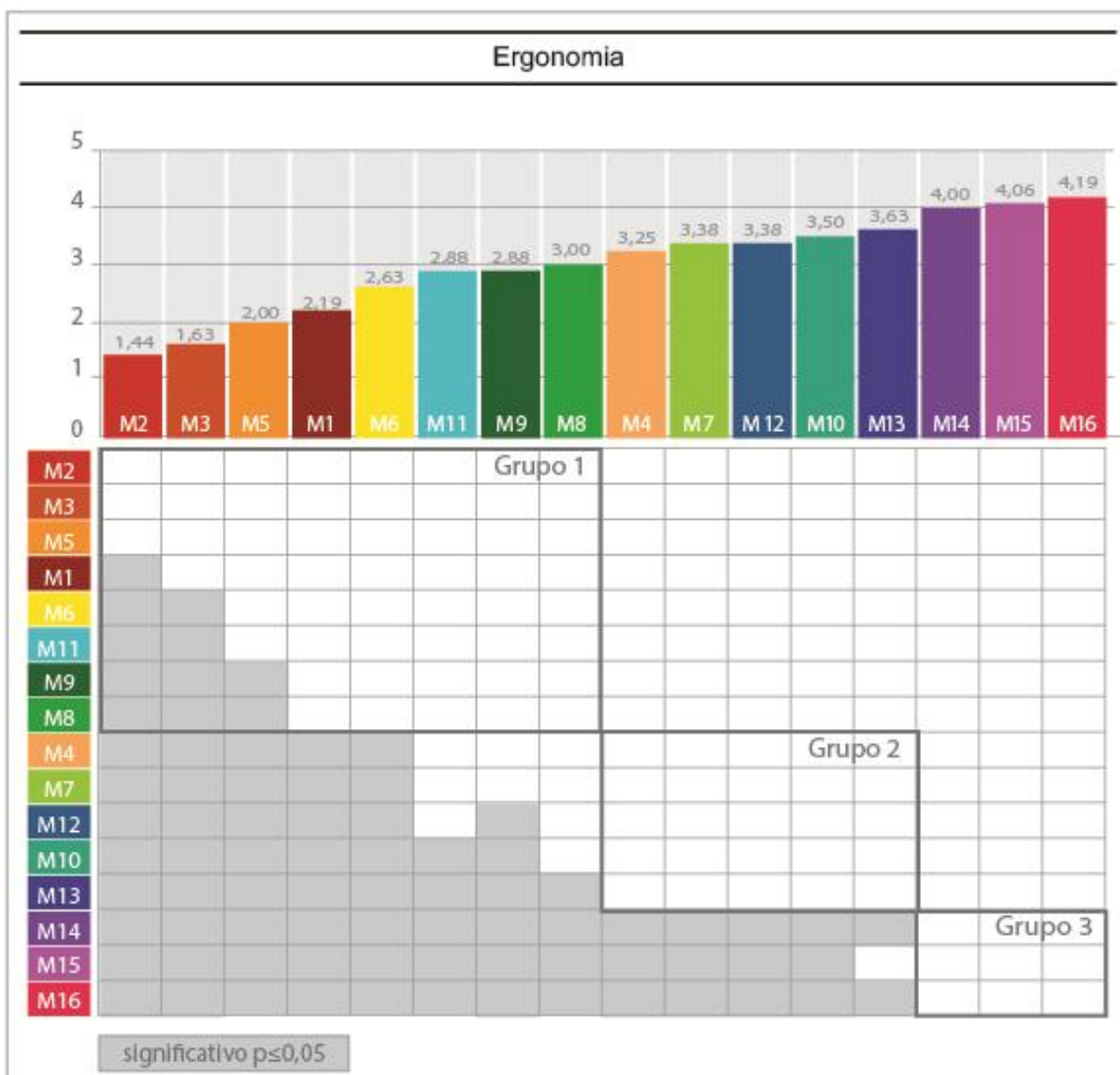
Já o terceiro grupo foi formado por M7, M8, M10, M12, M13, M14, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 4,0. Neste grupo estão os modelos que apresentam bom acabamento superficial e que realmente se aproximam da forma de Coração do objeto original. Destacando-se M8, M10, M12 e M13 que apresentaram médias idênticas (4,06), modelos esses que são produzidos em MDF usinado na Router CNC (M8), Resina de Poliéster (M10), Resina de Poliuretano (M12) e Cibatool usinado na CNC Roland (M13). Essa média de percepção igual certamente ocorre devido ao aspecto físico, já que estes modelos são modelos sólidos e apresentam um excelente acabamento.

Contudo, destacam-se M15 e M16, que apresentam as maiores médias, e como no critério anterior esses dois modelos permitem abertura e interação, fatores esses que podem ter contribuído para a classificação dos especialistas, pois ao se buscar a forma de Coração a funcionalidade pode contribuir para a aproximação com o objeto original.

4.4.6 Ergonomia

Assim como nos anteriores, no critério Ergonomia (Figura 113) as médias foram ranqueadas de forma crescente, e pode-se notar que segundo a percepção dos especialistas as maiores médias foram atribuídas aos modelos que permitem melhor interação, ou seja, abertura por meio de rosca, e as menores médias foram atribuídas para os modelos que não permitem sequer uma boa pega por conta das superfícies mais irregulares.

Figura 113 – Comparação dos modelos em relação ao critério Ergonomia.



O Primeiro grupo para este critério, que foi selecionado por haver menor diferença significativa entre os modelos M1, M2, M3, M5, M6, M8, M9 e M11 que se comparado com os demais.

Valendo neste grupo ressaltar a diferença significativa encontrada entre M2 (produzido com fatias de papelão coladas) com relação a M1, M6, M11, M9 e M8 (produzidos em Papel e Cola, Clay, Cera, Espuma de Poliuretano, Gesso e MDF usinado na Router CNC, respectivamente). Isto provavelmente ocorreu devido à superfície de M2 ser a que apresenta o pior acabamento superficial entre os modelos deste grupo.

Da mesma forma M3 (placas de MDF cortadas e encaixadas) se diferenciou significativamente de M6, M11, M9 e M8. O que provavelmente também está ligado ao pior acabamento superficial desse modelo. Seguido de M5 (placas de MDF Cortadas e empilhadas) que apresenta um acabamento mais regular e teve diferença significativa apenas entre M8 e M9 que apresentam melhor acabamento e provável melhor possibilidade de análise ergonômica.

Um segundo grupo foi formado com M4, M7, M12, M10 e M13, que apresentaram médias de percepção acima de 3,0. Estes modelos, diferente dos modelos do primeiro grupo, apresentam superfície maciça e mais regular o que do ponto de vista dos especialistas oferece uma ainda melhor avaliação ergonômica, além de oferecer melhor manipulação, não apresentando diferença significativa entre eles.

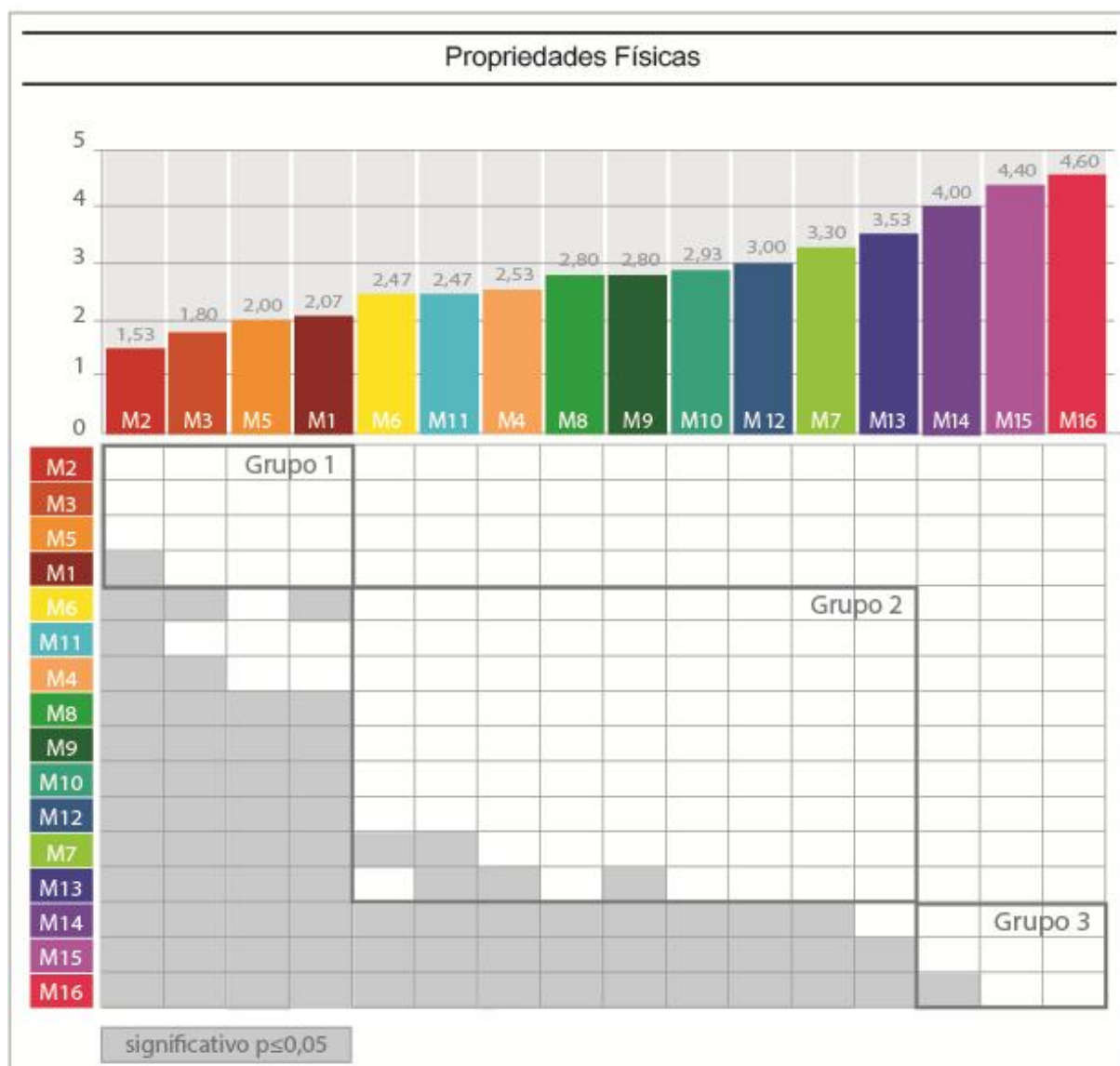
Modelos esses que são produzidos em espuma de Poliuretano (M4), MDF usinado na CNC Roland (M7), Resina de Poliuretano (M12), Resina de Poliéster com Carga (M10) e Cibatool usinado na CNC.

Já o terceiro grupo foi formado por M14, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 4,0 e são os modelos que apresentam melhor acabamento e maior proximidade a embalagem original, portanto são os que melhor atendem as especificações para testes ergonômicos. Nenhum modelo desse grupo apresentou diferenças significativas entre si. Em relação a médias os modelos desse grupo alcançaram as maiores, modelos esses que são produzidos em Pó e aglutinante por meio de prototipagem aditiva (M14), Resina de Poliuretano rotomoldada (M15) e Resina fotopolimerizável por meio de prototipagem aditiva (M16). Destaque para M16, que foi o modelo melhor ranqueado nesse critério, valendo ressaltar que os modelos desse grupo permitem abertura e uma maior interação o que foi levado em conta, pois nesse critério Ergonomia, simular o uso e a manipulação do objeto faz toda diferença.

4.4.7 Propriedades Físicas

Também para o critério Propriedades Físicas (Figura 114) as médias foram ranqueadas de forma crescente, chegando-se a uma ordem parecida com a encontrada nas médias do critério ergonomia, o que certamente demonstra a relação deste critério com o anterior. Dessa forma, mais uma vez, na percepção dos especialistas, as menores médias foram atribuídas para os modelos que possuem acabamento superficial inferior e as maiores aos modelos que permitem interação e possuem melhor acabamento superficial.

Figura 114 – Comparação dos modelos em relação ao critério Propriedades Físicas.



No entanto, quanto a este critério, vale destacar que não se encontrou nos resultados das percepções dos especialistas relações com os pesos e tamanhos aproximados da embalagem original (tabela 02), pois assim sendo, M4 se destacaria, sendo seguido de M15 e M16. No entanto, M16 e M15 tiveram maiores médias de percepção para este critério, o que provavelmente tenha ocorrido pela influência da maior possibilidade de interação destes modelos.

Assim, quanto às médias de percepção dos especialistas encontradas para este critério, nota-se que as médias de percepção de M1, M2, M3 e M5 estão abaixo do valor médio da escala utilizada, que é de 0 a 5, ou seja, abaixo de 2,5, formando-se o primeiro grupo para este critério. No qual apenas a diferença significativa encontrada entre M2 (produzido com fatias de papelão coladas) com relação a M1 (produzido em Papel e Cola), que provavelmente ocorre devido à superfície de M2 ser entre os modelos deste grupo o que apresenta o pior acabamento superficial. Destacando-se M1 como o modelo que apresentou melhores médias de propriedade física dentro desse grupo.

Um segundo grupo foi formado com M4, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12 e M13, que apresentaram médias de percepção acima de 2,5, pois diferente dos modelos do primeiro grupo, são modelos maciços e com superfície de acabamento mais regular. Sendo M6 e M11 exceções nesse grupo uma vez que apresentaram médias abaixo de 2,5 e apresentaram médias idênticas, devido ao material Clay (M6) e Cera (M11) que são de fato muito parecidos, principalmente por suas superfícies poderem ser modificadas com a pressão das mãos e de outros objetos.

Tendo M6 (Clay) se diferenciado significativamente de M7 (MDF usinado na CNC Roland); M11 (Cera) se diferenciado de M7 e M13 (Cibatool usinado na CNC); M13 se diferenciado significativamente de M4 (espuma de Poliuretano); e M9 (Gesso) é dentre os modelos desse grupo o que apresenta maiores médias para este critério. Valores e diferenças que fazem sentido, quando se observa o material de que os modelos são feitos e que certamente influenciaram nas percepções.

Já o terceiro grupo foi formado por M14, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 4,0 e são os modelos considerados como os que apresentam melhores propriedades físicas. M16 (Resina fotopolimerizável por meio de prototipagem aditiva) apresentou diferença significativa entre M14, que apresenta certa fragilidade pelo material que é produzido, Pó e aglutinante por meio de prototipagem aditiva, o que pode ter influenciado na percepção dos especialistas. Já M15 (produzido em resina de Poliuretano rotomoldada) e M16 não apresentaram diferença entre si. Destacando-se o modelo M16, que foi o modelo melhor ranqueado nesse critério. Lembrando que os modelos desse grupo permitem abertura e uma maior interação o que foi levado em conta, pois nesse critério os materiais e simulações de uso fazem toda diferença.

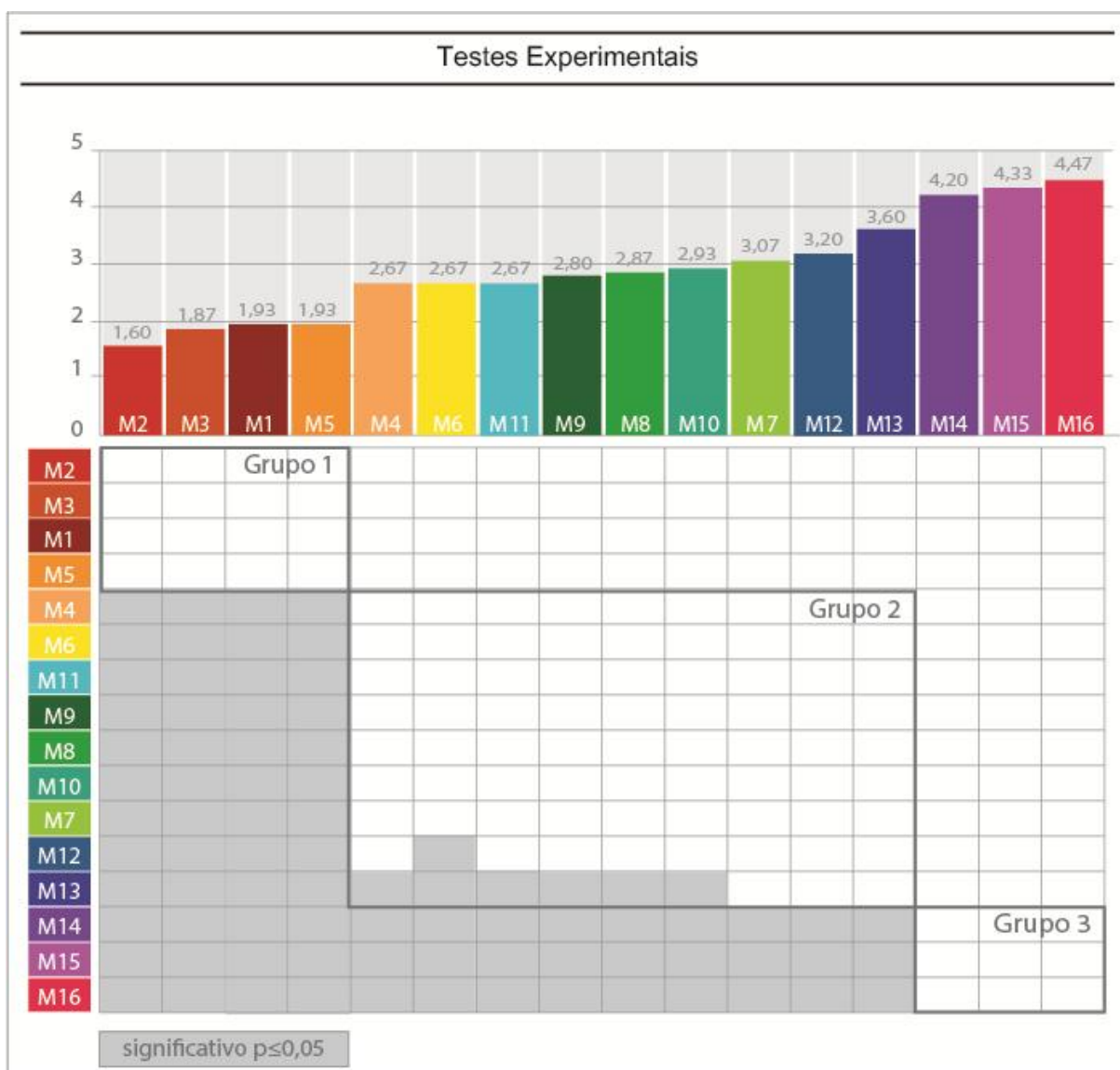
4.4.8 Testes Experimentais

Para o critério Testes Experimentais (Figura 115) as médias também foram ranqueadas de forma crescente, onde as menores médias foram atribuídas para os modelos que apresentam menores possibilidades de interação – pega e abertura, por exemplo - e acabamento mais irregular e as maiores para os modelos com melhores possibilidades de interação e acabamento superficial mais regular, se aproximando da embalagem original.

Para esse critério as médias de percepção de M1, M2, M3 e M5 estão abaixo de 2,0, formando o primeiro grupo, modelos entre os quais não ocorreu nenhuma diferença significativa. O que faz sentido, pois esses modelos além de apresentarem o acabamento irregular são os que apresentam menores possibilidades de testes, produzidos em papel e cola (M1), fatias de papelão coladas (M2), fatias de MDF cortadas e encaixadas (M3) e fatias de MDF empilhadas e coladas (M5).

Um segundo grupo foi formado com M4, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12 e M13, que apresentaram médias de percepção acima de 2,5, diferenciando-se dos modelos do primeiro grupo, pois são modelos maciços e de superfície mais regular.

Figura 115 – Comparação dos modelos em relação ao critério Testes Experimentais.



Neste grupo, no entanto, o modelo M13 apresentou diferença significativa entre M4, M6, M8, M9, M10 e M11, uma vez que M13 apresenta um acabamento superior aos demais modelos desse grupo. Já M12 se diferenciou significativamente apenas de M6, fato esse que também pode estar ligado ao material e acabamento. Uma curiosidade são as médias idênticas de M4, M6, M11 que apresentam materiais distintos entre si. Os modelos desse grupo são produzidos em espuma de Poliuretano (M4), Clay (M6), MDF usinado na CNC Roland (M7), MDF usinado na Router CNC (M8), Gesso (M9), Resina de Poliéster com Carga (M10), Cera (M11), Resina de Poliuretano (M12) e Cibatool usinado na CNC Roland (M13).

Já o terceiro grupo foi formado por M14, M15 e M16 que apresentaram médias acima de 4,0 e são os modelos que apresentam além de melhor acabamento, maiores possibilidades de testes funcionais, por permitirem a abertura. Não havendo diferenças significativas entre os modelos desse grupo, que tem modelos produzidos em resina de Poliuretano rotomoldada (M15) e resina fotopolimerizável por meio de prototipagem aditiva (M16).

Como os modelos desse grupo permitem abertura e uma maior interação com o modelo, as maiores médias fazem todo sentido, pois nesse critério o que se é levado em conta é a possibilidade de testes funcionais e simulação de uso com os modelos.

Além disso, nota-se com relação aos grupos formados, a proximidade da avaliação desse critério com o critério anterior – Propriedades Físicas – pois em ambos os grupos foram formados com os mesmos modelos.

4.5 Sínteses dos resultados e discussões

Para melhor demonstrar os resultados que foram obtidos com as análises estatísticas e poder fazer uma comparação da ordem dos modelos antes e depois da avaliação com os especialistas foi criada uma tabela com as médias ranqueadas (Tabela 04). Tabela essa que apresenta a ordem dos modelos classificados antes das avaliações, que foi determinada levando em conta somente uma percepção primária dos modelos.

Tabela 04 – Ordem dos modelos antes e depois.

Reorganização dos Modelos																
Ordem antes	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Superfície	M2	M3	M5	M1	M4	M8	M11	M6	M7	M9	M14	M13	M10	M15	M12	M16
Cor	M2	M3	M1	M5	M8	M7	M6	M11	M4	M10	M9	M12	M13	M16	M15	M14
Textura	M2	M3	M5	M1	M4	M8	M6	M9	M7	M11	M14	M13	M10	M12	M15	M16
Fidelidade da Forma	M3	M2	M1	M5	M11	M6	M9	M4	M7	M8	M10	M12	M13	M14	M15	M16
Coração	M2	M1	M3	M5	M11	M6	M9	M4	M7	M8	M10	M12	M13	M14	M15	M16
Ergonomia	M2	M3	M5	M1	M6	M11	M9	M8	M4	M7	M12	M10	M13	M14	M15	M16
Propriedades Físicas	M2	M3	M5	M1	M6	M11	M4	M8	M9	M10	M12	M7	M13	M14	M15	M16
Testes Experimentais	M2	M3	M1	M5	M4	M6	M11	M9	M8	M10	M7	M12	M13	M14	M15	M16
Ordem depois	M2	M3	M5	M1	M11	M6	M9	M4	M8	M7	M10	M12	M13	M14	M15	M16

Já para a avaliação com os especialistas os critérios foram aprimorados e direcionados atendendo requisitos recorrentes em metodologias de projeto de produto e que levam em conta as funções práticas, estéticas e simbólicas que um produto pode assumir e que foram claramente reconhecidos na embalagem original, chegando-se aos critérios: Superfície, Cor, Textura, Fidelidade da Forma, Coração, Ergonomia, Propriedades Físicas, Testes Experimentais. Esses critérios foram utilizados para avaliar os modelos sob o ponto de vista de especialistas e serviram de base para estabelecer uma nova ordem para os modelos. Ordem essa que apresenta algumas modificações, como de M1 a M10, que certamente estão relacionadas ao acabamento superficial desses modelos, seus materiais e possibilidades de interação. Como no caso de M1, que de acordo com os especialistas está mais bem ranqueado do que M2, M3 e M5, sendo que esses modelos só se alteraram na ordem, mas ainda sim continuam sendo os que obtiveram menores médias. Da mesma forma os modelos seguintes, de M11 a M10, também apresentaram alterações, sendo M4 e M11 os modelos que mais se modificaram, onde M4 foi considerado um modelo intermediário superior a M11.

Já M12, M13, M14, M15 e M16 foram os modelos que não sofreram modificações na sua ordem, isso se deve ao fato de serem modelos que apresentam os melhores acabamentos superficiais sendo M14, M15 e M16 modelos que permitem abertura e maior interação.

Para melhor ilustrar os grupos que foram formados após as análises estatísticas foi criada uma tabela (Tabela 05), que mostra nitidamente a divisão que foi estabelecida e a formação dos grupos, e o agrupamento final.

Tabela 05 – Grupos de modelos estabelecido pela análise estatística.

Grupos dos Modelos																
Grupo antes	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Superfície	M2	M3	M5	M1	M4	M8	M11	M6	M7	M9	M14	M13	M10	M15	M12	M16
Cor	M2	M3	M1	M5	M8	M7	M6	M11	M4	M10	M9	M12	M13	M16	M15	M14
Textura	M2	M3	M5	M1	M4	M8	M6	M9	M7	M11	M14	M13	M10	M12	M15	M16
Fidelidade da Forma	M3	M2	M1	M5	M11	M6	M9	M4	M7	M8	M10	M12	M13	M14	M15	M16
Coração	M2	M1	M3	M5	M11	M6	M9	M4	M7	M8	M10	M12	M13	M14	M15	M16
Ergonomia	M2	M3	M5	M1	M6	M11	M9	M8	M4	M7	M12	M10	M13	M14	M15	M16
Propriedades Físicas	M2	M3	M5	M1	M6	M11	M4	M8	M9	M10	M12	M7	M13	M14	M15	M16
Testes Experimentais	M2	M3	M1	M5	M4	M6	M11	M9	M8	M10	M7	M12	M13	M14	M15	M16
Grupo depois	M2	M3	M5	M1	M11	M6	M9	M4	M8	M7	M10	M12	M13	M14	M15	M16

Na tabela observa-se a divisão dos modelos em 4 grupos e como eles foram ordenados. Nota-se que M1, M2, M3 e M5 formam o primeiro grupo que apresenta modelos com acabamento superficial inferior, técnicas e materiais mais simples. Já M11, M6, M9 e M4 estão no segundo grupo e apresentam características intermediárias de produção, material e acabamento, M8, M7, M10, M12 e M13 formam um terceiro grupo e já apresentam uma maior complexidade na produção e o uso de materiais melhores. O quarto e último grupo é formado por M14, M15 e M16, que são modelos produzidos com técnicas e tecnologias mais sofisticadas, logo apresentam melhores acabamentos e são modelos mais elaborados, chegando de fato mais próximo ao material do objeto original e possibilitando a abertura e a funcionalidade do modelo.

Na tabela 06 os modelos foram pintados de acordo com seu grupo específico e é possível ver com mais clareza a divisão final proposta.

Tabela 06 – Grupos de modelos estabelecido pela análise estatística organizados.

Grupos dos Modelos organizados																
Grupo antes	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Superfície	M2	M3	M5	M1	M4	M8	M11	M6	M7	M9	M14	M13	M10	M15	M12	M16
Cor	M2	M3	M1	M5	M8	M7	M6	M11	M4	M10	M9	M12	M13	M16	M15	M14
Textura	M2	M3	M5	M1	M4	M8	M6	M9	M7	M11	M14	M13	M10	M12	M15	M16
Fidelidade da Forma	M3	M2	M1	M5	M11	M6	M9	M4	M7	M8	M10	M12	M13	M14	M15	M16
Coração	M2	M1	M3	M5	M11	M6	M9	M4	M7	M8	M10	M12	M13	M14	M15	M16
Ergonomia	M2	M3	M5	M1	M6	M11	M9	M8	M4	M7	M12	M10	M13	M14	M15	M16
Propriedades Físicas	M2	M3	M5	M1	M6	M11	M4	M8	M9	M10	M12	M7	M13	M14	M15	M16
Testes Experimentais	M2	M3	M1	M5	M4	M6	M11	M9	M8	M10	M7	M12	M13	M14	M15	M16
Grupo depois	M2	M3	M5	M1	M11	M6	M9	M4	M8	M7	M10	M12	M13	M14	M15	M16

Nessa tabela é possível observar a mancha sólida formada pelos grupos, e com essa tabela estabelecida foi possível classificar e ilustrar onde cada grupo de modelo está inserido, seja na classificação de modelos pelos autores consultados (Literatura), seja nas metodologias de Design ergonômico citadas na revisão da literatura (Ergonomia), como se vê na Tabela 07 a seguir, na qual é possível observar onde as classificações dos modelos se encaixam com as definições feitas pelos autores e com as etapas metodológicas que foram analisadas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Tabela 07 – Análise e Comparações dos modelos dentro da Literatura e Ergonomia.

Analises e comparações																
Grupo depois	M2	M3	M5	M1	M11	M6	M9	M4	M8	M7	M10	M12	M13	M14	M15	M16
VOLPATO (2007)	modelo volumétrico				modelo de apresentação				mock - ups				protótipo			
ULLMAN (2010)	baixa fidelidade				média fidelidade								alta fidelidade			
Ergonomi Design Gruppen (1997)	Criação de ideias tridimensionais								Testes Funcionais (Mock - ups / Protótipos)							
NORRIS e WILSON(1997)	Detalhamento do Desenho				Concepção do Desenho								Produção Mercado e Evolução			
SANDVIK (1997)	Projeto				Avaliação e Modificação do Modelo				Definição do produto				Especificação para produção			
FRISONI e MORAES (2001)	Análise do Produto				Projeção do Produto				Avaliação e Validação do Produto				Detalhamento do Projeto			

Assim, Volpato (2007) classifica os modelos na seguinte ordem, **Modelo Volumétrico** (M2, M3, M5, M1) como sendo aqueles de confecção simples e com

materiais baratos, que visam à redução das formas às dimensões básicas; **Modelo de Apresentação** (M11, M6, M9 e M4) que são aqueles em escala ou não e que se aproximam ao máximo da aparência final do produto, muito utilizados na indústria automotiva; **Mock-ups** (M8, M7, M10, M12 e M13) que tratam de modelos físicos que imitam o produto final, geralmente em escala natural e que são utilizados para estudos ergonômicos iniciais ou testes simulados, o que possibilita a reavaliação do produto, caso necessário, sem custos elevados; já os **Protótipos** (M14, M15 e M16) são aqueles que apresentam características dimensionais e morfológicas muito próximas do produto final, sendo em alguns casos confeccionados com os mesmos materiais e sistemas funcionais do produto final, destacando-se por permitir a avaliação sob o ponto de vista da funcionalidade.

Ullman (2010) classifica os modelos como sendo de **Baixa** (M2, M3, M5, M1), **Média** (M11, M6, M9, M4, M8, M7, M10, M12 e M13) e **Alta Fidelidade** (M14, M15 e M16), afirmando que nas fases iniciais de projetos, a utilização dos mesmos é geralmente em níveis baixos de fidelidade, assim conforme o projeto vai avançando a fidelidade vai aumentando, exigindo um maior refinamento e aumento dos custos do projeto.

Sob o ponto de vista das metodologias ergonômicas é interessante ressaltar as etapas e mostrar onde cada modelo está inserido, como na metodologia utilizada pelo *Ergonomi Design Gruppen* – 1997 (figura 1) que mostra dentro da sua metodologia duas etapas bem distintas nas quais seria necessário a utilização de modelos: a etapa de **Criação de ideias Tridimensionais**, nas quais se poderiam utilizar os modelos M2, M3, M5, M1, M11, M6, M9 e M4 (grupo 1 e 2); e a etapa dos **Testes Funcionais Modelos / Protótipos**, nas quais se poderiam utilizar os modelos M8, M7, M10, M12, M13, M14, M15 e M16 (grupo 3 e 4). Sendo esta divisão proposta seguindo a lógica de que na primeira etapa não é necessário a funcionalidade do modelo, se prendendo apenas a forma e materiais simples, enquanto a segunda etapa requer modelos mais elaborados e materiais que se

aproximem do produto final, permitindo até mesmo a possibilidade de testes funcionais.

Na metodologia utilizada por Norris e Wilson – 1997 (figura 2) é apresentado três etapas que utilizam modelos na sua avaliação são elas, **Detalhamento do Desenho**, onde são utilizados modelos simples apenas para dar uma forma e aplicar testes iniciais no projeto, podendo-se utilizar os modelos M2, M3, M5 e M1 (grupo 1); **Concepção do Desenho**, onde se poderiam utilizar os modelos M11, M6, M9, M4, M8, M7, M10, M12 e M13 (grupo 2 e 3) que apresentam materiais elaborados e que já proporcionam a análise ergonômica do modelo para fechamento do desenho final do projeto, já na etapa de **Produção Mercado e Evolução**, sugere-se os modelos M14, M15 e M16 (grupo 4) por serem modelos que empregam sofisticação na sua construção, permitindo testes funcionais, ergonômicos e que se aproximam do produto final.

No caso da metodologia utilizada por Sandvik – 1997 (figura 3), na qual o autor apresenta quatro etapas que fazem uso de modelos, são elas **Projeto**, na qual poderiam ser utilizados M2, M3, M5, M1 (grupo 1), por se tratar da etapa inicial de criação e que utiliza modelos simples; **Avaliação e Modificação do Modelo**, com os modelos M11, M6, M9 e M4 (grupo 2), por ser uma etapa que permite testes iniciais de usabilidade, utilizando materiais de fácil manipulação e custo moderado, **Definição do Produto**, com os modelos M8, M7, M10, M12 e M13 (grupo 3), por tratar-se de uma etapa de afinamento do projeto, fazendo uso de materiais que proporcionam melhor acabamento e a possibilidade de testes de usabilidade e ergonômicos; já na etapa **Especificação para Produção**, sugere-se o uso de M14, M15 e M16 (grupo 4), por representar a etapa final do projeto com modelos que simulem a funcionalidade e até mesmo o material final, e que fazem toda a diferença nessa etapa por possibilitar a construção de modelos muito próximos ao produto final.

Na metodologia desenvolvida por Frisoni e Moraes (2001), os autores apresentam quatro etapas que utilizam modelos durante o desenvolvimento de um produto: **Análise do Produto**, na qual se utilizariam os modelos M2, M3, M5 e M1 (grupo 1), por ser esta uma etapa inicial e com a possibilidade de uso de modelos mais simples para uma análise primária sobre a forma do produto, já a **Projeção do produto**, onde sugere-se o uso dos modelos M11, M6, M9 e M4 (grupo 2), sendo uma etapa intermediária que permite o uso de materiais com certa plasticidade a fim de se atingir um resultado satisfatório em relação ao modelo, a **Avaliação e Validação do Produto**, com os modelos M8, M7, M10, M12 e M13 (grupo 3), principalmente por ser esta uma etapa de definição, onde os materiais do modelo devem permitir uma melhor avaliação do acabamento, possibilitando testes mais elaborados e ergonômicos, já o **Detalhamento do Projeto**, com os modelos M14, M15 e M16 (grupo 4), etapa na qual se fariam uso de modelos com materiais e tecnologias sofisticadas e que possibilitam uma proximidade maior do modelo com o produto final, possibilitando a análise ergonômica e funcional.

5. Considerações Finais

A motivação para esta pesquisa surgiu de uma aptidão pessoal que levou a questionamentos sobre a necessidade de estudos que tratassem da questão de modelos e protótipos relacionados com as metodologias de desenvolvimento de produto e com a ergonomia. Pois não se encontram na literatura estudos que classifiquem os modelos e protótipos quanto a aos tipos de materiais, as técnicas de fabricação, as tecnologias existentes e a sua relação e classificação dentro das etapas de desenvolvimento de um produto.

Assim, surgiu o questionamento e a hipótese no qual esse estudo se apoiou, acreditando que diferentes tipos de modelos e protótipos permitem diferentes interações e percepções de usuários e profissionais e por isso devem ser utilizados em diferentes fases do desenvolvimento de produtos ergonômicos.

Esta hipótese foi confirmada, ao demonstrar a partir da percepção dos especialistas e de uma análise estatística que os modelos e protótipos não só seguem uma ordem coerente, como também se dividem em grupos. Esses grupos são classificados e organizados sob a perspectiva de diversos critérios que variam de desde o material, acabamento superficial, textura e funcionalidade.

A questão de pesquisa do estudo surgiu da preocupação com relação aos aspectos metodológicos para o desenvolvimento de produtos ditos ergonômicos, nos quais nota-se a diminuição do uso de modelos que ajustem de fato a interface usuário-produto durante o processo de desenvolvimento dos mesmos.

Ao se estabelecer uma nova organização dos modelos e os seus respectivos grupos, os mesmos foram comparados com as classificações encontradas na literatura e aplicados as metodologias de design ergonômico citadas neste estudo. E o que se vê é uma grande semelhança na forma de classificar os modelos e nas possibilidades de inclusão destes nas metodologias, pois cada autor e metodologia

classificam de uma maneira, mas mesmo assim ainda dividem as etapas em fases iniciais, fases intermediárias e fases finais onde cada grupo de modelos pareceu se encaixar.

Em relação à metodologia empregada, o estudo além de demonstrar e exemplificar a construção de diversos modelos nos mais variados matérias, quantifica os mesmo evidenciando a técnica, o tempo, o custo e relevância que cada modelo tem dentro das etapas de desenvolvimento de produto, deixando um material bem ilustrado, e que pode servir de guia para futuros estudos.

Ressaltando que para futuros estudos muitas outras técnicas e materiais poderão ser empregados e que novos testes podem ser realizados com os modelos a fim de se estabelecer outras diretrizes, principalmente no que tange testar a aplicação destes modelos no desenvolvimento de projetos que utilizem as metodologias citadas com os grupos de modelos aqui estabelecidos.

Em suma, esta pesquisa demonstrou a importância do designer conhecer os diferentes tipos de modelos ao longo de sua formação e também de sua vida profissional, afim de aprimorar sua compreensão do uso desses modelos em cada etapa das metodologias de desenvolvimento de um projeto. Tendo como objetivo produtos que proporcionem interações plenas, não só quanto à ergonomia, mas quanto a todos os requisitos que o bom design preconiza.

6. Referências Bibliográficas

- ABRAMS, J. G. Dibujos de presentation. México. Tilde Editores S/A, 1990.
- ALCOFORADO, M. G. Metodologia de Design Mediada por protótipos [Tese de Doutorado] Bauru: Unesp, 2014, 460 p.
- BARBOSA, R. T. Design & Prototipagem: Conhecimento e uso da prototipagem Rápida no Design Brasileiro. [Dissertação de Mestrado] Bauru, UNESP, 2009, 198p.
- BAXTER, M. Projeto de Produto: Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. 1998.
- BORRELLY, D. F. Estudo comparativo da degradação de poliestireno e de poliestireno de alto impacto por envelhecimentos natural e artificial. [Dissertação de Mestrado] São Paulo: USP, 2002, 108p.
- BUCHHOLZ, B., ARMSTRONG, T. J. : A Kinematic model of the humam hand to evaluate its prehensile capabilities. Journal Biomechanics Vol. 25, No. 2, pp. 149.-162, 1992.
- CAPUANO, E. A. P.; CARVALHO, M. M.; Prototipagem rápida: a escolha da tecnologia PR mais adequada a estratégia para o desenvolvimento de produtos.In: XX ENEGEP Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000. Anais do XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Paulo, 2000.
- CARACAS, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, S. C. de, Dimensão Simbólica e Identidade: na perspectiva dos objetos. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 2, 2002. Anais do 2º Congresso Internacional de Pesquisa em Design, Rio de Janeiro, 2002.
- CARDOSO, R.. Uma introdução à história do design.3. ed.São Paulo:EdgardBlücher, 2008.
- CARVALHO, J.; VOLPATO, N. Prototipagem Rápida como processo de fabricação. In: Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações, São Paulo: Edgar Blücher, 2007.

- CECCARELLI, Nicolò (2003), Disegno digitale, modello e progetto: una questione di equilibri, DDD - Rivista trimestrale di Disegno Digitale e Design, Poli.Design Anno 2 n. 5, 2003, pp. 12-20.
- CHRISSIS, M.B.; KONRAD, M.; SHRUM, S. CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley, 2003.
- COFFITO. Definição de Fisioterapia. Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacional. Disponível em: <http://www.coffito.org.br/conteudo/con_view.asp?secao=27>. Acessado em: 23 de Setembro de 2014.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. e ROCHBERG, E. The Meaning of Things. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- D'ADDERIO, Luciana (2001), Crafting the Virtual Prototype: How Firms Integrate Knowledge and Capabilities Across Organisational Boundaries, Research Policy, Vol. 30, pp.1409-24.
- DE MASI, D. A emoção e a regra: os grupos criativos na Europa de 1850 a 1950 ed. José Olympio, Rio de Janeiro, 8.Edição, 2000.
- DOLZAN, J. E. Revoluções da linguagem estética: a escola Bauhaus (1919-1933).[Dissertação de Mestrado]. Tubarão : UNISUL, 2008, 95p.
- DORTA, Tomás (2006), Vers la maîtrise du virtuel à travers le réel: un nouvel usage de l'informatique en design, Université de Montreal, pp.131-138.
- DUMAS, A. Theory and Practice of Industrial Design, Disponível em : http://www.adi.pt/docs/innoregio_theor_design.pdf. Acessado em: 25 Setembro de 2014.
- EVANS, Mark (1992), Model or prototype which, when and why? IDATER, Conference, Loughborough University, 1992, pp.42-46
- FAGGIANI, K.; NOJIMA, V. L. M. S. A importância do design nos significados da cultura material. In: Anais do 7o P&D Design - Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [CD-ROM]. 2006.

- FERRARIO, V. F., MIAN, F., PERETTA, R., ROSATI, R., SFORZA, C. : Three-Dimensional Computerized Anthropometry of the Nose: Landmark Representation Compared to Surface Analysis. *Cleft Palate–Craniofacial Journal*, 2007.
- FERREIRA, A. B. H. O dicionário Aurélio eletrônico – Século XXI. Versão 3.0. Rio de Janeiro: Lexikon Informática / Nova Fronteira, 1999. CD-ROM.
- FORTI, F. S. A. Uma Avaliação do ensino da Prototipagem Virtual nas Graduações de Design de Produto do Estado do Rio de Janeiro. [Dissertação de Mestrado], COPPE, Universidade Federal do rio de Janeiro, 2005, 105p.
- FRISONI, B. C.; MORAES, A. de. Ergodesign: uma associação. In: MORAES, A.; FRISONI, B. C. Ergodesign: produtos e processos. Rio de Janeiro: 2AB, 2001. p. 195-206.
- GOMES FILHO, J. Design do objeto: bases conceituais. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 255p.
- GORNI, A. A. Introdução à Prototipagem Rápida e Seus Processos, *Revista Plástico Industrial*, Março 2001, pp.230-239.
- HANINGTON, Bruce M. (2006), Interface in form: paper and product prototyping for feedback and fun, Volume 13, Issue 1, *The art of prototyping*, pp.28-30.
- HENDRICK, H.W. Macroergonomics: a new approach for improving productivity, safety and quality of work life. In: *Anais do VI Congresso Brasileiro e II Congresso Latino-americano de Ergonomia*. Florianópolis: Abergo, p. 39-58. 1993.
- IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. São Paulo. Editora Edgard Blücher, 2005.
- INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, Definition of Ergonomics (IEA), 2010 Disponível em: <
http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html>. Acessado em: 25 de Setembro de 2014.
- KELLEY, T. A arte da inovação, tradução Maria Claudia Lopes, São Paulo: Futura, 2001.
- KINDLEIN, W. J. A importância do Binômio Design e Engenharia como Catalisador de Inovação. 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design,

- 2004, FAAP, São Paulo. In: Anais 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, FAAP, São Paulo, 2004
- KNIGHT, T. Interaction in Visual Design Computing, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, EUA, 2004 p.1-31.
- KOTOGIANNIS, T.; EMBREY, D. A user-centred design approach for introducing computer-based process information systems, Applied Ergonomics Vol 28, No. 2, p. 109-119, Elsevier Science Ltd, 1997.
- LACOMBLEZ, M.; SILVA, A.; FREITAS, I. Ergonomia e Antropometria, Lisboa: Universidade Aberta, 1996.
- LI, Z., CHANG, C., DEMPSEY, P. G., OUYANG, L., DUAN, J. : Validation of a three-dimensional hand scanning and dimension extraction method with dimension data. Ergonomics, Vol. 51, No. 11, November, p.1672–1692. Londres. Taylor & Francis, 2008.
- LÖBACH, B. Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.
- LOPES, J.; NAVEIRO, R. M.; O Uso de Modelos Tridimensionais no Desenvolvimento de Projetos. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 3, 1998. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Rio de Janeiro, 1998.
- MACARRÃO, Leonardo Júnior. Importância do uso de mock-ups e de técnicas de prototipagem e ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto na indústria automotiva, [Dissertação de Mestrado] São Paulo: USP, 2004, 141p.
- MARSON, E. ; CAMPOS, L. A.; ANDRADE NETO, M. L.; KAMISAKI, M. S.; SILVA, J. C. P.; PASCHOARELLI, L. C. A Bauhaus dos manifestos de Walter Gropius. In: 9º Congresso de Pesquisa e desenvolvimento em Design, 2010, São Paulo. Anais do 9º Congresso de Pesquisa e desenvolvimento em Design. São Paulo, 2010.
- MARTINS, A. F. P. Da maquete para o desenho: meios de representação tridimensional no design de artefactos, [Dissertação de Mestrado] Aveiro: Universidade de Aveiro, 2010, 149p.

- MEDEIROS, C. R. P. X.; OKIMOTO, M. L. L. R.; Percepção dos Aspectos de Usabilidade e de Design na Aquisição de Produtos: Um Estudo de Caso no Setor de Transporte. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 6, 2004. Anais do 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, São Paulo, 2004.
- MERKE, L. E.; SANTOS, M. R. Design em transformação: mapeando tendências histórico-culturais passadas e presentes. In: 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, UFSC, Florianópolis, 2001.
- NORRIS, B.; WILSON, J. R. Designing safety into products: making ergonomics evaluation a part of the design process. Nottingham: Institute for Occupational Ergonomics/University of Nottingham, 1997. 30 p.
- OPPERUD; A. Semiotic product analysis. In: McDONAGH, D.; HEKKERT, P.; Van ERP, J.; GYI, D. Design and emotion: the experience of everyday things. London: Taylor & Francis, 2004.
- PASCHOARELLI, L. C.; O Posto de Trabalho carteira escolar como objeto de desenvolvimento da educação infantil: uma contribuição da ergonomia e do design [Dissertação de Mestrado]. Bauru: UNESP, 1997, 121p.
- PASCHOARELLI, L. C.; Usabilidade aplicada ao design ergonômico de transdutores de ultra-sonografia: uma proposta metodológica para avaliação e análise do produto [Tese de Doutorado]. São Carlos: UFSCar, 2003, 143p.
- PASCHOARELLI, L. C. Design Ergonômico de Instrumentos Manuais: Metodologias de Desenvolvimento, Avaliação e Análise do Produto. 1. ed. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2011. v. 1. 148p.
- PASCHOARELLI, L. C.; SILVA, J. C. P. Design ergonômico: uma revisão dos seus aspectos metodológicos. Conexão. 05 (10): 198-213, 2006.
- PASCHOARELLI, L. C.; SANTOS, R. J. H. S. Usability Evaluation of Different Door Handles. In: Kaber, D.; Boy, G.. (Org.). Advances in Cognitive Ergonomics. 1 ed. Miami: CRC Press, 2011, p. 291-299.
- PASCHOARELLI, L. C.; SILVA, D. C.; SILVA, J. C. P. Metodologia de Design de Instrumentos Manuais: Mock-Ups e Protótipos na Avaliação Ergonômica. In:

Metodologia em design : inter-relacoes / orgs. Marizilda dos Santos Menezes, Luis Carlos Paschoarelli, Mônica Moura. - São Paulo : Estação das Letras e Cores, 2011.

PENNA, E. Modelagem, modelos em design, São Paulo. Catálise, 2002.

PHEASANT, S. Bodyspace: anthropometry, ergonomics, and the design of work, Boca raton, FL, Taylor & Francis Group, 2006.

PICARELLI, M.; COSTA, C.Z.; TARALLI, C.H.; NETTO, N.A.G.; SALATA, R. Desenho Industrial na Edificação: Ensino e Pesquisa. São Paulo. 1ª edição. Universidade de São Paulo, 1983.

PIPES, A. Desenho para Designers: habilidades de desenho, esboços de conceito, design auxiliado por computador, ilustração, ferramentas e materiais, apresentações, técnicas de produção /Alan Pipes ; tradução Marcelo A. L. Alves. - São Paulo : Blücher, 2010 223 p.

PRESTE, R.C.; BERTOL, L. S.; SILVA, F. P.; BATISTA,V. J.; KINDLEIN JUNIOR, W. Desenvolvimento de dispositivos personalizados para adequação postural sentada. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 9, 2010 , São Paulo. Anais do IX Congresso Internacional de Pesquisa em Design. São Paulo: CIPED, 2010, CD-ROM.

RELVAS, C. A. M.; Processos de prototipagem rápida no fabrico de modelos de geometria complexa: Estudo realizado sobre modelo anatômico da mão [Dissertação de Mestrado]. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002, 121p.

ROCKPORT, DESIGN SECRETS: Products, 50 Real-Life Projects Uncovered, IDSA – Industrial Designers Society of America, Rockport Publishers, 2003.

ROGERS, M. S., BARR. A. B., KASEMSONTITUM. B., REMPEL. D.M. : A three-dimensional anthropometric solid model of the hand based on landmark measurements. London: Taylor & Francis, 2012.

SANTOS, J. R. L. Breve histórico do uso de modelos 3D físicos no desenvolvimento de projetos. 7º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design,

- 2006 UFPR, Curitiba, In: Anais 7º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2006 UFPR, Curitiba, 2006.
- SASS, L. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design, Elsevier Ltd, Design Studies 27, 2006, pp. 325-355.
- SCHMITZ, T. et al. The application of high-speed CNC machining to prototype production. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 41, p. 1209-1228, 2001.
- SCHNEIDER, B. Design – Uma introdução, O design no contexto social, cultural e econômico.ed. Blucher, São Paulo 2010.
- SCHULMANN, D. O Desenho Industrial. Campinas, São Paulo. Editora Papirus. 1994.
- SEVENER, Z. A Semantic Differential Study of the Influence of Aesthetic Properties on Product Pleasure. In: International Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces [CD-ROM]. Pittsburgh, PA, 2003.
- SILVA, E. A.; HEIDRICH, R.; JÚNIOR, W. K. Reflexões sobre técnicas e materiais para agilizar a representação de design de produto: Concepção x Exeqüibilidade. In: Anais do I Congresso Internacional de Pesquisa em Design – Brasil / V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Brasília, AEnD-Br, 2002.
- SILVA, F. P.; BERETTA, E. M.; BATISTA, V. J.; KINDLEIN JUNIOR, W.; Projeto de assentos visando a readequação postural de pessoas com deficiência física. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 5, 2009, Bauru. Anais do V Congresso Internacional de Pesquisa em Design. Bauru: CIPED, 2009, CD-ROM.
- SILVA, J. C. R. P.; SILVA, J. C. P.; PASCHOARELLI, L. C. A história da Bauhaus e a contribuição de seus diretores. In: Bauhaus e a Institucionalização do Design: reflexões e contribuições/ orgs. José Carlos Plácido da Silva, Luis Carlos Paschoarelli. Ed. Estação das Letras e Cores,p. 47-68, 2011.
- SIODMOK, A. A hotbed of creativity, In: Thomas, Emily (ed.). Innovation by design in public services. Londres: Solace Foundantion Imprint (SFI), p.34-39, 2008.

- SOUZA, A. T.; et al. As fases da Bauhaus e suas contradições. In: Anais do 5º Congresso Internacional de Pesquisa em Design. Bauru, 10 a 12 out. 2009. Anais do 5º Congresso Internacional de Pesquisa em Design. Bauru, UNESP: PP. 137-142, 2009.
- STRUNCK, G. Viver de Design. Rio de Janeiro, 3ª edição, Editora 2AB, 2001.
- TOLSTEDT, J. L. Prototyping as a means of requirements elicitation. In: SAE International Off-Highway Congress, Las Vegas, Nevada, 19-21 março 2002. SAE Technical Paper Series nº 2002-01-1466.
- ULLMAN, D. G. The mechanical design process. 4a Edição. New York : McGraw-Hill, 2010.
- VOLPATO, N.; FERREIRA, C. V.; SANTOS, J. R. L. Integração da prototipagem rápida com o processo de desenvolvimento de produto. In: Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações, São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- WOLDSTAD, J. C. Digital human models for ergonomics. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition. Volume 1-3. USA. Taylor & Francis, 2006.
- YANG, M. Y.; RYU, S. G. Development of a composite suitable for rapid prototype machining. Journal of Materials Processing Technology. 113, p. 280-284, 2001.