

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS**  
**UTILIZADAS EM PROGRAMAS DE MODELAGEM SÓLIDA**

**Por**  
**Henderson José Speck**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador:

**Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS  
UTILIZADAS EM PROGRAMAS DE MODELAGEM SÓLIDA**

**Nome: Henderson José speck**

Área de Concentração:

**Mídia e Conhecimento**

Florianópolis, junho de 2001

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS EM  
PROGRAMAS DE MODELAGEM SÓLIDA**

Nome: **Henderson José speck**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, especialidade em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, em junho de 2001.

---

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção

Banca Examinadora:

---

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.  
Orientador

---

Prof. Francisco Antônio Pereira Fialho, Dr.  
Membro

---

Prof. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo, Dr.  
Membro

---

Prof. Antônio Carlos de Souza, Ms.  
Membro

## **Dedicatória**

**A Doris, minha esposa,  
ao Matheus e a Giselle, meus filhos.**

## Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me proporcionado a possibilidade de realizar este trabalho.

Ao professor, Luis Alberto Gómez, amigo e orientador desse trabalho, por seus ensinamentos, que indicaram vários caminhos, cabendo a nós determinar qual caminho queremos seguir e qual vamos conseguir.

À UFSC, ao CCE e ao Colegiado do Departamento de Expressão Gráfica, que possibilitaram o meu afastamento para cursar o mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, nas pessoas dos Professores Luis Alberto Gómez, Fialho, Alice, que me proporcionaram uma maior compreensão do conhecimento.

Aos meus pais, Hilberto Speck e Élia Souza Speck (in memoriam), por terem me proporcionado uma maior e melhor visão do mundo através de seu trabalho, sacrifício e dedicação.

Aos meus irmãos, Stela, Silesia, Silvania, Hilberto, Hamilton e Hiran.

Agradecimento especial ao amigo Antônio Carlos de Souza, pelo apoio e sugestões que enriqueceram este trabalho.

Aos amigos Álvaro Barcelos, José Arno Sheidt e Júlio César da Silva pelo convívio.

Ao Marcelo, pelo suporte tecnológico gráfico realizado neste trabalho.

Agradecimentos aos professores Conceição Garcia Martins e Felício José Gesser da Escola Técnica Federal de Santa Catarina.

A todos os colegas do curso de Pós-Graduação, que de uma forma ou de outra partilharam seus conhecimentos no desenvolvimento das tarefas durante o transcorrer do curso.

## SUMÁRIO

|   |       |
|---|-------|
| <b>DEDICATÓRIA .....</b>  | IV    |
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>   | V     |
| <b>SUMÁRIO .....</b>  | VI    |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>   | XI    |
| <b>LISTA DE SIGLAS .....</b>  | XV    |
| <b>RESUMO</b>   | XVI   |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | XVII  |
| <br><b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <br>1 |
| 1.1 Justificativa .....   | 1     |
| 1.2 Objeto .....  | 2     |
| 1.3 Objetivos geral e específicos .....                                       | 2     |
| 1.3.1 Objetivo geral .....  | 2     |
| 1.3.2 Objetivos específicos .....   | 3     |
| 1.4 Hipótese de trabalho .....  | 3     |
| 1.5 Metodologia da pesquisa .....   | 4     |
| 1.6 Descrição dos capítulos .....   | 4     |
| <br><b>CAPÍTULO 2. HISTÓRICO: DESENHO, COMPUTADOR E MANU-<br/>FATURA.....</b> | <br>6 |
| 2.1 Histórico do desenho .....  | 6     |
| 2.2 Histórico do computador .....   | 11    |
| 2.2.1 A revolução industrial e a automatização .....                          | 11    |
| 2.2.2 Cartão perfurado .....  | 12    |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.2.3                                       | A válvula o transistor e o CI (circuito integrado) .....                  | 13        |
| 2.3   | Histórico do CAD .....  | 15        |
| 2.4   | Histórico das máquinas ferramentas CNC .....                              | 17        |
| 2.4.1                                       | CAPP – Planejamento de processo assistido por computador....              | 18        |
| 2.4.2                                       | CAM – Manufatura assistida por computador .....                           | 18        |
| 2.4.3                                       | CNC .....   | 19        |
| 2.4.3.1                                     | Linguagem de programação para máquinas CNC .....                          | 19        |
| 2.4.3.2                                     | Tipos de programação .....  | 20        |
| 2.4.3.3                                     | Aplicação dos sistemas CAD/CAM .....                                      | 21        |
| 2.5   | História da computação gráfica .....                                      | 22        |
| 2.6   | História da prototipagem rápida .....                                     | 23        |
| 2.6.1                                       | Aplicações .....  | 25        |
| 2.6.2                                       | Técnicas .....  | 27        |
| 2.7   | Modelagem sólida .....  | 29        |
| 2.7.1                                       | Definições de modelagem sólida.....                                       | 31        |
| 2.7.2                                       | Definições de modelagem paramétrica.....                                  | 32        |
| 2.8   | O futuro .....  | 35        |
| <b>CAPÍTULO 3. TIPOS DE MODELAGEM .....</b> |   | <b>37</b> |
| 3.1   | Introdução .....  | 37        |
| 3.2   | Modelagem <i>wireframe</i> .....  | 37        |
| 3.2.1                                       | Processo de modelagem <i>wireframe</i> .....                              | 38        |
| 3.2.2                                       | Aplicações de modelagem <i>wireframe</i> .....                            | 39        |
| 3.3   | Modelagem de superfícies .....  | 40        |
| 3.3.1                                       | Processo de modelagem com superfícies .....                               | 41        |
| 3.4   | Modelagem sólida .....  | 43        |
| 3.4.1                                       | Processo de modelagem sólida CSG (Construcive Solid<br>Geometry) .....    | 45        |
| 3.4.1.1                                     | Capacidade de modelagem sólida CSG (Constructive Solid<br>Geometry) ..... | 46        |
| 3.4.2                                       | Boundary representation (B-Rep) .....                                     | 47        |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 3.4.2.1                                  | Processo de modelagem sólida B-Rep (Boundary Representation) .....     | 48        |
| 3.4.3                                    | Processo de modelagem sólida híbrida .....                             | 48        |
| 3.4.4                                    | Processo de modelagem sólida baseada em features .....                 | 49        |
| 3.4.5                                    | Modelagem sólida paramétrica .....                                     | 50        |
| <b>CAPÍTULO 4. MODELAGEM SÓLIDA.....</b> |  | <b>51</b> |
| 4.1                                      | Introdução .....   | 51        |
| 4.2                                      | Modelagem sólida no AutoCAD.....                                       | 53        |
| 4.2.1                                    | Primitivas .....   | 54        |
| 4.2.2                                    | Comandos de composição e geração de sólidos .....                      | 56        |
| 4.2.3                                    | Comando de edição de sólidos .....                                     | 63        |
| 4.2.4                                    | Comando de edição avançadas de sólidos .....                           | 64        |
| 4.3                                      | Modelagem sólida no Mechanical Desktop .....                           | 72        |
| 4.3.1                                    | Comandos de modelamento em 2D Sketch.....                              | 74        |
| 4.3.2                                    | Comandos de parametrização.....  | 74        |
| 4.3.3                                    | Sketch Plane, Work Plane e Work.....                                   | 75        |
| 4.3.4                                    | Comandos para criação dos sólidos (edição) .....                       | 75        |
| 4.3.5                                    | Construção de features .....   | 76        |
| 4.3.6                                    | Copiando features .....  | 78        |
| 4.3.7                                    | Comandos de visualização e apresentação dos sólidos .....              | 79        |
| 4.3.8                                    | Browser.....   | 79        |
| 4.4                                      | Modelagem sólida no SolidWorks .....                                   | 80        |
| 4.4.1                                    | Comandos de modelamento em 2D Sketch.....                              | 81        |
| 4.4.2                                    | Comandos de parametrização.....  | 82        |
| 4.4.2.1                                  | O SolidWorks é um modelador sólido paramétrico baseado em perfis ..... | 82        |
| 4.4.3                                    | Planos de construção.....  | 83        |
| 4.4.4                                    | Comandos para criação dos sólidos (edição) .....                       | 83        |
| 4.4.5                                    | Construção de features .....   | 84        |
| 4.4.6                                    | Comandos de visualização e apresentação dos sólidos .....              | 85        |
| 4.4.7                                    | Features manager tree.....   | 86        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 5. FILOSOFIA DE MODELAGEM E AVALIAÇÃO</b>  |           |
| <b>COMPARATIVA ENTRE OS MODELADORES ESTUDADOS .....</b>  | <b>90</b> |
| 5.1 Introdução .....   | 90        |
| 5.2 Filosofia de modelagem no AutoCAD .....  | 90        |
| 5.2.1 Filosofia de modelagem sólida no AutoCAD .....   | 90        |
| 5.2.1.1 Thickness .....  | 90        |
| 5.2.1.2 Facades .....  | 91        |
| 5.2.1.3 Solids .....   | 91        |
| 5.2.2 Primitivas .....   | 91        |
| 5.2.3 Operações de construção .....  | 92        |
| 5.2.3.1 Criação de sólidos por extrusão.....   | 92        |
| 5.2.3.2 Criação de sólidos por revolução .....   | 92        |
| 5.2.3.3 Criação de sólidos compostos .....   | 93        |
| 5.2.4 Operações de edição de sólidos .....   | 93        |
| 5.2.5 Visualização de objetos em 3D .....  | 94        |
| 5.2.6 Conclusões sobre o modelamento no AutoCAD .....  | 94        |
| 5.3 Filosofia de modelagem sólida no Mechanical Desktop.....   | 96        |
| 5.3.1 Primitivas .....   | 97        |
| 5.3.2 Operação de construção e edição .....  | 97        |
| 5.4 Filosofia de modelagem do SolidWorks .....   | 99        |
| 5.4.1 Primitivas .....   | 101       |
| 5.4.2 Operação de construção e edição .....  | 101       |
| 5.5 Avaliação comparativa entre os modeladores estudados .....   | 103       |
| 5.5.1 Análise da modelagem sólida no AutoCAD .....   | 104       |
| 5.5.2 Análise da modelagem sólida no Mechanical Desktop .....  | 106       |
| 5.5.3 Análise da modelagem sólida no SolidWorks .....  | 107       |
| 5.6 Avaliações e considerações sobre a modelagem sólida no AutoCAD,<br>Mechanical Desktop e SolidWorks ..... | 108       |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 6. RECOMENDAÇÕES METODOLÓGICAS PARA APLICAÇÃO NO ENSINO DA MODELAGEM SÓLIDA .....</b>   | <b>118</b> |
| 6.1 Quais aspectos a serem trabalhados e melhorados? .....  | 118        |
| 6.2 Quais as possibilidades de se explorar convenientemente e sistematizar o uso desta nova ferramenta, o computador, no ensino de desenho? ..... | 119        |
| 6.3 Que <i>software</i> propiciou melhorar ensino e desempenho na resolução de modelagem sólida? .....  | 120        |
| 6.4 Conclusões .....  | 121        |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>   | <b>124</b> |
| 7.1 Conclusão .....   | 124        |
| 7.2 Considerações finais .....  | 125        |
| 7.3 Sugestões para futuros trabalhos .....  | 127        |
| <br>  |            |
| <b>REFRERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>128</b> |
| <br>  |            |
| <b>ANEXOS</b>   | <b>133</b> |
| Anexo 1   | 134        |
| Anexo 2   | 135        |
| Anexo 3   | 144        |
| Anexo 4   | 163        |
| Anexo 5   | 180        |

## Lista de Figuras

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 3.1  | Modelagem <i>wireframe</i> .....                    | 38 |
| Figura 3.2  | Modelagem de superfície .....                       | 42 |
| Figura 3.3  | Modelagem de superfície .....                       | 43 |
| Figura 3.4  | Modelagem sólida.....                               | 44 |
| Figura 4.1  | Interface do AutoCad com montagem do patinete.....  | 51 |
| Figura 4.2  | Menu de barras, draw, solid.....                    | 53 |
| Figura 4.3  | Menu de barras, solid .....                         | 54 |
| Figura 4.4  | Box .....   | 54 |
| Figura 4.5  | Sphere .....  | 54 |
| Figura 4.6  | Cylinder .....                                      | 55 |
| Figura 4.7  | Cone.....   | 55 |
| Figura 4.8  | Wedge .....   | 56 |
| Figura 4.9  | Torus .....   | 56 |
| Figura 4.10 | Perfil simples, perfil extrudado, extrude path..... | 57 |
| Figura 4.11 | Extrude de uma curva – path.....                    | 58 |
| Figura 4.12 | Perfil do clip extrudado .....                      | 58 |
| Figura 4.13 | Perfil do clip renderizado.....                     | 58 |
| Figura 4.14 | Grampo de roupa.....                                | 58 |
| Figura 4.15 | Revolve – Pião .....                                | 59 |
| Figura 4.16 | Slice – corte em perspectiva.....                   | 59 |
| Figura 4.17 | Secções.....  | 60 |
| Figura 4.18 | Interferência.....                                  | 60 |
| Figura 4.19 | Array reCangular.....                               | 61 |
| Figura 4.20 | Array Polar .....                                   | 61 |
| Figura 4.21 | Mirror 3D .....                                     | 62 |
| Figura 4.22 | Rotate 3D .....                                     | 62 |
| Figura 4.23 | Align 3D .....                                      | 62 |
| Figura 4.24 | Chamfer.....  | 63 |
| Figura 4.25 | Fillet.....   | 64 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 4.26 | Barra de ferramentas de edição 3D.....                           | 64 |
| Figura 4.27 | Acesso a barra de ferramentas de edição 3D .....                 | 64 |
| Figura 4.28 | Ferramentas de união.....  | 65 |
| Figura 4.29 | Ferramentas de subtração.....                                    | 65 |
| Figura 4.30 | Ferramentas de intersecção .....                                 | 65 |
| Figura 4.31 | Extrude faces .....  | 66 |
| Figura 4.32 | Move faces .....   | 66 |
| Figura 4.33 | Offset faces .....   | 67 |
| Figura 4.34 | Delete faces .....   | 67 |
| Figura 4.35 | Rotate faces.....  | 67 |
| Figura 4.36 | Taper faces .....  | 68 |
| Figura 4.37 | Copy faces .....   | 68 |
| Figura 4.38 | Color faces .....  | 68 |
| Figura 4.39 | Copy edges .....   | 69 |
| Figura 4.40 | Color edges .....  | 69 |
| Figura 4.41 | Imprint .....  | 69 |
| Figura 4.42 | Clean.....   | 70 |
| Figura 4.43 | Separate.....  | 70 |
| Figura 4.44 | Shell.....   | 71 |
| Figura 4.45 | Interface do Mechanical Desktop com montagem do<br>patinete..... | 72 |
| Figura 4.46 | Barra de ferramentas 2D sketching .....                          | 74 |
| Figura 4.47 | Barra de ferramentas 2d constraints .....                        | 74 |
| Figura 4.48 | Barra de ferramentas work features .....                         | 74 |
| Figura 4.49 | Janela de ferramentas work plane feature .....                   | 75 |
| Figura 4.50 | Barra de ferramentas part modeling.....                          | 75 |
| Figura 4.51 | Janela de ferramentas hole feature.....                          | 76 |
| Figura 4.52 | Janela de ferramentas fillet .....                               | 77 |
| Figura 4.53 | Janela de ferramentas chamfer feature .....                      | 77 |
| Figura 4.54 | Janela de ferramentas shell feature .....                        | 78 |
| Figura 4.55 | Barra de ferramentas desktop view .....                          | 79 |
| Figura 4.56 | Árvore de gerenciamento (Browser).....                           | 79 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Figura 4.57 | Visualização do patinete montado na Interface do SolidWorks .....      | 80  |
| Figura 4.58 | Barra de ferramentas standard.....                                     | 81  |
| Figura 4.59 | Barra de ferramentas sketch tools .....                                | 82  |
| Figura 4.60 | Barra de ferramentas sketch relations .....                            | 82  |
| Figura 4.61 | Janela de ferramentas de adição de relações geométricas ..             | 82  |
| Figura 4.62 | Barra de ferramentas de referências geométricas .....                  | 83  |
| Figura 4.63 | Especificação dos planos de construção.....                            | 83  |
| Figura 4.64 | Barra de ferramentas features completa (customize) .....               | 83  |
| Figura 4.65 | Barra de ferramentas features .....                                    | 84  |
| Figura 4.66 | Barra de ferramentas features .....                                    | 84  |
| Figura 4.67 | Barra de ferramentas view e standard view .....                        | 85  |
| Figura 4.68 | Feature managertree (árvore de gerenciamento de perfis) ..             | 86  |
| Figura 4.69 | Tela do SolidWorks com perspectiva .....                               | 87  |
| Figura 4.70 | Interface assembly.....  | 88  |
| Figura 4.71 | Barra de ferramentas dos ícones de montagem (assembly) .....           | 88  |
| Figura 4.72 | Interface assembly (montagem).....                                     | 89  |
| Figura 5.1  | Patinete e paca nº 2 do conjunto .....                                 | 104 |
| Figura A1.1 | Conjunto e detalhes do acoplamento.....                                | 134 |
| Figura A2.1 | Modelo renderizado da peça 2.....                                      | 135 |
| Figura A2.2 | Perfil de revolução.....   | 137 |
| Figura A2.3 | Perfil revolucionado.....  | 137 |
| Figura A2.4 | Perfil revolucionado com círculos auxiliares .....                     | 138 |
| Figura A2.5 | Perfil revolucionado com círculos extrudados .....                     | 139 |
| Figura A2.6 | Perfil revolucionado com círculos extrudados em sua posição .....      | 139 |
| Figura A2.7 | Perfil revolucionado com círculos extrudados após o array polar .....  | 140 |
| Figura A2.8 | Perfil revolucionado com furos para parafusos e círculo auxiliar ..... | 140 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Figura A2.9  | Perfil revolucionado com furos para parafusos e círculo auxiliar extrudado.....                        | 141 |
| Figura A2.10 | Perfil revolucionado com furos para parafusos e círculo auxiliar extrudado em sua posição na peça..... | 141 |
| Figura A2.11 | Perfil revolucionado com furos para parafusos e círculo auxiliar extrudado em sua posição na peça..... | 142 |
| Figura A2.12 | Visualização com hide .....  | 143 |
| Figura A3.1  | Criar um novo desenho no MDT .....   | 144 |
| Figura A3.2  | Interface do Mechanical Desktop.....   | 144 |
| Figura A3.3  | Janelas dos planos de trabalho.....  | 145 |
| Figura A3.4  | Círculo .....  | 145 |
| Figura A3.5  | Círculo com restrições geométricas .....   | 146 |
| Figura A3.6  | Barra de ferramentas do Mechanical Desktop.....  | 146 |
| Figura A4.1  | Peça 2 renderizada .....   | 163 |
| Figura A4.2  | Criar novo documento no SW .....   | 164 |
| Figura A4.3  | Janela de propriedades (grid/snap) .....   | 164 |
| Figura A4.4  | Janela de propriedades (units) .....   | 165 |
| Figura A4.5  | Janela de propriedades de detalhes dimensionais .....  | 165 |
| Figura A4.6  | Interface do SW com círculo de base da peça 2.....   | 167 |
| Figura A4.7  | Janela de extrusão do perfil.....  | 167 |
| Figura A4.8  | Janela de extrusão do perfil.....  | 169 |
| Figura A4.9  | Janela de extrusão do perfil.....  | 170 |
| Figura A4.10 | Janela de corte por extrusão do perfil .....   | 171 |
| Figura A4.11 | Janela de corte por extrusão do perfil .....   | 172 |
| Figura A4.12 | Janela de corte por extrusão do perfil .....   | 173 |
| Figura A4.13 | Janela de corte por extrusão do perfil .....   | 174 |
| Figura A4.14 | Janela de aplicação do padrão circular .....   | 174 |
| Figura A4.15 | Janela de corte por extrusão do perfil .....   | 175 |
| Figura A4.16 | Janela de aplicação do padrão circular .....   | 176 |
| Figura A4.17 | Janela de aplicação do fillet.....   | 177 |
| Figura A4.18 | Aplicação da visualização rotate 3D na peça.....   | 177 |
| Figura A4.19 | Aplicação do comando de renderização na peça .....   | 179 |

## Lista de Siglas

|       |   |
|-------|---|
| 2D    | Bi-dimensional (Duas dimensões)                               |
| 3D    | Tri-dimensional (Três dimensões)                              |
| APT   | Automatically programmed tools                                |
| AME   | Advanced modeling extension                                   |
| B-REP | Boundary representation                                       |
| CAD   | Computer aided drafting                                       |
| CAE   | Computer aided engineering                                    |
| CAM   | Computer aided manufacturing                                  |
| CAPP  | Computer aided process planning                               |
| CI    | Circuit integrator  |
| CIM   | Computer integrated manufacturing                             |
| CNC   | Computerized numerical control                                |
| CSG   | Constructive solid geometry                                   |
| DSPC  | Direct shell production casting                               |
| EOS   | Eletro optical systems  |
| FDM   | Fused deposition modeling                                     |
| ISO   | International Standard Organization                           |
| LOM   | Laminated object manufacturing                                |
| LSI   | Large scale integration                                       |
| MDT   | Mechanical Desktop  |
| MIT   | Massachussets Institute of Technology                         |
| NURBS | Non-uniform rational b-splines                                |
| OLE   | Object Link Embeded   |
| PC    | Personal computer   |
| SGC   | Solid ground curing   |
| SL    | Stereolithography   |
| SLS   | Selective laser sintering                                     |
| SW    | SolidWorks  |
| UCS   | User coordinate system  |
| VDAFS | Verband der deutschen automobilindustrie flachenschnittstelle |
| VRML  | Virtual Reality Modeling Language                             |

## Resumo

Este trabalho de dissertação apresenta uma avaliação comparativa entre *softwares* de CAD – Desenho Auxiliado por Computador – enfocando os processos de modelagem sólida e seus sistemas de representação.

Utilizo para o estudo comparativo o desenvolvimento do projeto de um conjunto mecânico utilizando os *softwares*: AutoCAD, Mechanical Desktop e Solidworks.

Mostra que os programas de modelagem sólida permitem reduzir o ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde seu esboço até sua execução.

Tem como objetivo, apontar as técnicas que cada um dos *softwares* utiliza nos processos de modelagem, com o propósito de auxiliar profissionais ligados a área de ensino, desenho e projeto para o uso sistematizado dessas ferramentas.

## **Abstract**

This work presents a comparison of computer aided design programs when used in solid modelling process and their systems of representation.

For comparison, a project of the same mechanical set is developed using AutoCAD, Mechanical Desktop and SolidWorks.

This work shows that solid modeling programs can reduce products project development cycle from conception to fabrication. It has as objective showing the technics used by each *software* in solid modelling process in order to help design and project people to use this tools sistematically.

# CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

A associação do computador com as tecnologias relacionadas a televisão, chamada de computação gráfica, foi até pouco tempo explorada apenas por aqueles que tinham acesso a grandes computadores e a dispositivos de visualização de custo elevado, necessários a geração de imagens gráficas. Agora, devido ao desenvolvimento da microeletrônica é possível encontrar micro computadores pequenos e a custos acessíveis, suficientemente poderosos para processar aplicações sofisticadas de computação gráfica.

A manipulação e visualização de informações em forma de gráficos e imagens permite ao usuário interagir com elas muito mais rapidamente do que se estivessem friamente apresentadas em forma de texto. Em outras palavras, o homem pode absorver ou transmitir um número maior de informações, quando estas se encontram representadas graficamente.

Estudos realizados a respeito do cérebro humano, mostram que este possui uma área destinada a interpretação e criação de imagens e outra voltada para a linguagem. A primeira processa as informações em paralelo, ou seja, capta, correlaciona e interpreta dados instantaneamente. A segunda trabalha seqüencialmente, analisando uma única informação de cada vez. A zona cerebral voltada para as imagens é também a responsável pelo pensamento criativo, enquanto que na zona dedicada as linguagens são realizados os raciocínios lógicos (Romeu, 1998).

Na tentativa de proporcionar opções na graficação de desenhos e projetos de uma forma mais rápida e precisa, a computação gráfica busca, com a aplicação de *softwares* específicos, facilitar a construção e visualização dos projetos (peças, objetos) a serem representados em três dimensões.

## 1.2 Objeto

Esta pesquisa trata da avaliação comparativa da metodologia utilizada para a modelagem sólida entre diferentes *softwares*.

Como o assunto envolve conhecimentos, de desenho (sua representação) e informática, será necessário o entendimento destes assuntos, para então direcionarmos a apresentação de *softwares* específicos, e sua filosofia de trabalho.

Este trabalho refere-se a um estudo sobre o uso da computação gráfica, através dos *softwares* AutoCAD (Autodesk), Mechanical Desktop (Autodesk) e Solidworks (Unigraphics) na apresentação final dos desenhos e projetos 3D.

Para que a computação gráfica seja inserida de uma forma mais significativa, enriquecendo ainda mais o conteúdo curricular, e as formas de apresentação dos desenhos e projetos, elaboramos o seguinte questionamento: Como fazer a integração destes *softwares*, no processo de ensino para a capacitação do estudante, ou profissional da área de engenharia?

## 1.3 Objetivos geral e específicos

### 1.3.1 Objetivo geral

Aperfeiçoar o ensino do desenho e projeto através do uso da computação gráfica promovendo um estudo comparativo entre os *softwares*, de modelagem sólida, a fim de proporcionar novas metodologias no ensino-aprendizagem de representação gráfica, via computador, numa disciplina de modelagem.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Pesquisar os *softwares* existentes no mercado relativos a modelagem sólida;
- O aperfeiçoamento do conteúdo curricular no ensino de desenho oferecendo outras formas de apresentação através da Computação Gráfica;
- Apresentar uma proposta de inserção de uma disciplina de modelagem nos cursos de engenharia, arquitetura e comunicação e expressão visual, utilizando *softwares* de computação gráfica, de maneira mais abrangente e objetiva, para o desenvolvimento do desenho e projeto utilizando modelagem geométrica sólida;
- Verificar os recursos necessários para a implantação deste projeto.

### 1.4 Hipótese de trabalho

Como os processos de modelagem geométrica nos *softwares* de modelagem sólida requerem o desenvolvimento de novas metodologias de ensino-aprendizagem, principalmente no que diz respeito a motivação dos estudantes para com estas novas ferramentas de desenho e projeto.

Aproveitando o desenvolvimento da informática, mais precisamente a área da Computação Gráfica, com seus recursos de geração, visualização, e manipulação de imagens tridimensionais, o enfoque deste trabalho será “Avaliação comparativa da Metodologia Utilizada para A Modelagem Sólida entre os *Softwares*”.

Os *softwares* de modelagem sólida permitem encurtar o *product development cycle*.

## 1.5 Metodologia da pesquisa

Este trabalho busca, a partir de conhecimentos já existentes na área da Computação Gráfica e Desenho Técnico, selecionar, analisar, correlacionar, integrar e comparar processos de modelagem sólida entre os *softwares* objeto desse trabalho.

É, portanto uma pesquisa descritiva bibliográfica e um trabalho de avaliação/comparação de *softwares* onde a metodologia utilizada se ancorou na:

- Seleção das fontes bibliográficas;
- Análise do material informativo;
- Revisão da Literatura pré-existente;
- Comparação de *Softwares*.

## 1.6 Descrição dos capítulos

O presente trabalho foi estruturado em 7 capítulos. A descrição de cada um dos capítulos dentro de um contexto geral é a seguinte:

O capítulo 1 enfoca a parte introdutória sobre o tema, a justificativa, o objeto, os objetivos geral e específico, a hipótese de trabalho e a metodologia da pesquisa.

No capítulo 2 são abordadas algumas considerações sobre a história do desenho e do computador, a revolução industrial e a automatização, projeto auxiliado por computador, resumo histórico do controle numérico (CNC), sistemas CAD/CAM e prototipagem rápida bem como considerações sobre modelagem sólida e modelagem paramétrica.

O capítulo 3 apresenta um levantamento dos principais sistemas de modelagem de sólidos, os processos de modelagem sólida seus recursos e suas aplicações.

No capítulo 4 é realizado uma descrição da estrutura de modelagem sólida no AutoCAD, no Mechanical Desktop e no Solidworks, destacando-se suas primitivas geométricas, e os comandos de construção e edição de sólidos bem como as *features* (componentes, elementos).

O capítulo 5 apresenta uma comparação entre os modeladores do AutoCAD, Mechanical Desktop e Solidworks, abordando o processo de sistematização e a filosofia de trabalho empregada por cada um dos *softwares*.

O capítulo 6 trata do desenvolvimento do modelo proposto onde a metodologia da modelagem sólida, entre diferentes *softwares* é apresentada com intuito de atualização e adequação curricular a nova era tecnológica onde deparamos com os seguintes questionamentos:

- a) Quais os aspectos a serem trabalhados e melhorados?
- b) Quais as possibilidades de se explorar convenientemente e sistematizar o uso desta nova ferramenta, o computador, no ensino do desenho?
- c) Que *software* propiciou melhor ensino e desempenho na resolução de modelagem sólida em 3D?
- d) Conclusões, vantagens e tabela de avaliação comparativa.

O capítulo 7 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

Os anexos mostram o processo de construção de um conjunto mecânico utilizando cada um dos 3 (três) *softwares* avaliados e o plano de ensino da disciplina Modelagem.

## **CAPÍTULO 2. HISTÓRICO: DESENHO, COMPUTADOR E MANUFATURA**

### **2.1 Histórico do desenho**

O desenho pode ser entendido como uma das primeiras formas de comunicação e de expressão do homem. Já na pré-história registros eram feitos usando-se as rochas como telas, para representar objetos tridimensionais (Estephanio, 1984).

Consta que os primeiros desenhos realizados pelo homem pré-histórico foram achados por acaso em 1880, na caverna de Altamira, Espanha, por um fidalgo espanhol. Segundo os estudiosos e historiadores de arte, a caverna de Altamira significa “a Capela Sistina da Pré-história”, devido a riqueza e variedade de pinturas e afrescos ali encontrados. Nas paredes e teto dessa tão famosa caverna estão desenhados coloridos bisões, cavalos e outros animais, transparecendo estarem parados ou em movimento.

Em 1940 foram encontradas as cavernas de Montinac-Lascaux, na França, tão importantes quanto as de Altamira, onde se encontram também gravuras de animais, destacando-se a de um boi que atinge aproximadamente cinco metros de comprimento. Datam de há muitos séculos as primeiras tentativas de representação de desenhos técnicos. Assim, chegaram até aos nossos dias testemunhos de “desenhos de projeto” executados pelos egípcios para construção das pirâmides ou pelos povos da mesopotâmia para a construção de monumentos e edifícios. São bem conhecidos também os desenhos executados pelos Romanos para a construção de edifícios, aquedutos, fortalezas etc. (Romeu, 1998).

O principal problema que permaneceu durante muito tempo na execução dos desenhos técnicos foi a dificuldade em representar com rigor objetos tridimensionais sobre superfícies planas. Só no século XV o gênio Leonardo da

Vinci trouxe algum progresso aos métodos de representação. Leonardo realizou um estudo da teoria do desenho e pintura, efetuou numerosos desenhos dos seus inventos e promoveu a divulgação dos seus métodos, que felizmente encontraram continuadores. As técnicas de representação em desenho viriam a sofrer novo e importante impulso no século XVIII com Gaspar Monge que ao sistematizar a Geometria Descritiva lançou simultaneamente as bases dos sistemas de representação que ainda hoje se utilizam. (URL: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br> acessado em 16/06/00).

“No Egito antigo, os artistas usavam a técnica do afresco. O desenho era figurativo, representava a imagem na sua verdadeira realidade visual, não alterando nem estilizando. Estas representações gráficas obedeciam a norma da frontalidade, e as imagens mostravam-se deformadas. Na representação do rosto de perfil, os olhos se encontravam na frente. A mesma coisa ocorre com o tórax, enquanto que as pernas e os pés estão de perfil. Pensou-se, no início, que se tratasse de ingenuidade ou incapacidade. No entanto isso não seria possível já que o povo era tão adiantado em outras atividades e conhecimentos. A imagem dos deuses, dos reis, imperadores e governantes, em suma dos poderosos exigia o máximo de reverência das pessoas que os contemplavam” (Estephano, 1984).

No Egito não era usada a perspectiva científica. Para representar o espaço, utilizavam o processo também usado por outros povos antigos: as figuras eram sobrepostas ou eram cenas em faixas horizontais. Em suas pinturas havia a falta do claro-escuro, ou seja, as gradações de luz e sombra para dar o efeito de volume (Romeu, 1984).

No entanto a partir do século V A.C. com Polignoto de Tassos, o desenho é libertado do frontalismo e da posição exclusivamente de perfil, apresentando os rostos de três-quartos e de frente, procurando a representação dos estados de alma, que iria ter influência tanto na pintura de vasos quanto nas esculturas decorativas.

Através dos séculos, os desenhistas e pintores vem desenvolvendo técnicas, desde as representações em perspectivas deformadas e imperfeitas do homem primitivo, cruzando um período de desenhos praticamente artísticos, até chegar o período atual dos bem representados e normalizados tipos de desenho industrial (Romeu, 1998).

No fim do século XV já haviam desenhistas aptos a executar elevações reais. Um dos exemplos mais antigos da utilização da planta e da elevação faz parte de um álbum de desenhos na Livraria do Vaticano, desenhado por Giuliano de Sangallo. Sendo que a data assinalada na página inicial é de 1465, mas o álbum na realidade não foi terminado antes de 1490 (Hoelscher, 1978).

Os desenhos realizados pelos primeiros engenheiros e arquitetos possuíam a idéia da teoria que foi desenvolvida até atingir a forma da projeção geométrica atual. O sistema de representação por projeções ortogonais sobre planos dispostos perpendicularmente entre si, constituindo os chamados diedros, foi primeiramente solucionado por Gaspar Monge, no século XVIII, e passou a ser utilizado para a resolução de problemas geométricos. Toda a base de Geometria Descritiva está fundamentada nos conceitos de Gaspar Monge e sobre eles se baseia todo o desenho industrial moderno (Hoelscher, 1978).

A constatação de que crianças de pouca idade se expressam com facilidade através do desenho, semelhante aos homens primitivos prova a espontaneidade e facilidade de representação e interpretação do desenho (Estephanio, 1984).

O desenho participou diretamente na evolução da humanidade diversificando-se e especializando-se em função de suas particularidades de aplicações.

Segundo (Estephanio, 1984) baseado no seu caráter descritivo surgiu a escrita. Em diferentes épocas os recursos utilizados tem sido os mais variados. Na Mesopotâmia, por exemplo, os desenhos de mapas e plantas das cidades eram traçados em placas de argila.

Cem anos antes de Cristo traçava-se em pergaminhos com auxílio de bastões de chumbo.

Por volta do século XVI, após a utilização do chumbo junto ao estanho e a prata, chegou-se ao grafite. O mesmo, na época, era envolvido por portaminas artisticamente trabalhado.

No século XVII, na Alemanha, foi desenvolvida a idéia de colar tiras de grafite em madeira, proporcionando maior firmeza para o traçado e fazendo surgir então o lápis (Estephanio, 1984).

Em 1795 o francês Conte aperfeiçoou o uso do grafite por meio de uma mistura de grafite moído com cerâmica desenlameada e posteriormente submetida a um processo de estiramento por pressão. Dependendo da proporção de grafite e cerâmica eram obtidos diferentes graus de pureza.

O grande valor de seus aspectos estéticos e formais transformou-o em desenho artístico e finalmente o aprimoramento da capacidade de apresentação da forma e de solução de problemas de geometria evoluiu para o “Desenho Técnico”.

Um dos maiores complicadores residia na dificuldade de se demonstrar a volumetria das formas em superfícies planas, problema que foi minimizado no século XV quando Leonardo da Vinci desenvolveu um estudo relativo a teoria do desenho e representou graficamente inúmeros de seus inventos (Estephanio, 1984). Desenho Técnico é a expressão mais utilizada atualmente para desenhos dos diversos tipos, feitos a nanquim ou a lápis, com exceção

daqueles que possam ser classificados como arte pura. O desenho técnico contempla desde a simples representação gráfica de uma peça mecânica em três vistas até o mais completo ábaco ou cálculo gráfico. É realizado em uma folha de papel antecipadamente e criteriosamente escolhida que constitui uma superfície plana delimitada por suas dimensões. Nesta superfície, representam-se os objetos formados, na realidade, por volumes.

O desenho técnico possibilita, portanto, através de um conjunto de linhas, números e representações escritas, emitir dados sobre a função, formato dimensional, forma de trabalho e material de um dado objeto que poderá ser construído sem o contato direto entre o desenhista ou o projetista e o executante.

“A finalidade principal do Desenho Técnico é a representação precisa, no plano, das formas do mundo material e, portanto, tridimensional, de modo a possibilitar a construção e constituição espacial das mesmas” (Bornancini, 1981).

Segundo (Estephano, 1984) o desenho técnico representa uma interface de ligação indispensável entre as mais diversas áreas de um projeto industrial, sendo um idioma universal, idioma este que difere de qualquer outro pela clareza e precisão, não contendo dúvidas ou dificuldades de leitura e interpretação. Requer-se do desenho a representação gráfica clara das diversas formas apresentadas com a definição de todos os detalhes de modo que mesmo operários de menor qualificação, consigam realizar o projeto desenhado sem precisar de explicações verbais demoradas, e, normalmente mal interpretadas.

Colaboraram ainda para que o desenho fosse aceito como um potencial instrumento de autonomia e de desenvolvimento tecnológico alguns eventos, tais como: a Exposição Universal de Desenho, realizada em 1828 na França e a Exposição Industrial de Londres em 1851.

Hoje o desenho técnico assume uma posição difusa e multidisciplinar e, aliado a importantes recursos, como os computadores, auxilia na produção do mundo material com que convivemos, utilizando-se de uma linguagem normalizada e universal. Das idéias preliminares aos estágios finais de representação, sua aplicação se faz presente em projetos mecânicos; mobiliários; arquitetônicos; aeroespaciais; navais e em inúmeras outras áreas (Estephano, 1984).

## **2.2 Histórico do computador**

Segundo (Romeu, 1998) é atribuído ao matemático francês Blaise Pascal (XVII), o desenvolvimento em 1667 de uma máquina capaz de realizar operações de adição e subtração. A máquina inventada por Pascal foi a primeira a mostrar a característica de armazenar os cálculos efetuados.

No ano anterior da invenção de Pascal, nascia o alemão Leibnitz, a quem a matemática deve muitas contribuições. Leibnitz é o responsável pelo aperfeiçoamento da máquina rudimentar de cálculo, pelo desenvolvimento de um novo sistema numérico, o sistema binário. Os dois primeiros dispositivos mantêm entre si a característica comum de serem construídos utilizando engrenagens numeradas de zero a nove que, quando acionadas, realizavam operações mudando os valores de posição dos algarismos indicados em cada uma delas. A máquina de Leibnitz foi construída para operar na base binária, realizando inclusive multiplicações e divisões, mantendo, porém, a mesma arquitetura mecânica. Máquinas mecânicas desse tipo foram muito utilizadas até aproximadamente 1960 (Romeu, 1998).

### **2.2.1 A revolução industrial e a automatização**

Segundo (Yousset, 1985), em 1804 o tecelão francês Joseph-Marie Jacquard constrói em Lyon um tear automático controlado por seqüências de cartões perfurados. O tear de Jacquard controlava, a partir de um “programa”

definido por cartões perfurados, o movimento das agulhas e pinças, que por sua vez determinavam os fios a serem trançados. É notável aqui o fato de que, pela primeira vez, utilizou-se a idéia de programação a partir do cartão perfurado.

Alguns anos após o aparecimento do tear de Jacquard, são formulados os princípios gerais que norteiam os modernos sistemas de processamentos de dados. Esse princípios foram enunciados por Charles Babbage, em 1833. Nascido em 1792, Charles Babbage participava de um grupo de jovens que constituía a “*Analytical Society*”, cujo maior objetivo era deixar mais sábio o mundo que havia encontrado.

É atribuído ao matemático inglês Charles Babbage a exploração e difusão da informática, acelerando a concepção dos modernos computadores.

A máquina concebida por Babbage deixou, já no século XIX, enraizadas as idéias básicas do processamento de dados. Os princípios da máquina de Babbage são os seguintes:

- Um programa previamente elaborado deve comandar a máquina;
- A máquina deve ser capaz de armazenar resultados intermediários para posterior aproveitamento;
- A máquina deve possuir dispositivos de entrada e saída de dados e instruções.
- As operações devem ser executadas de forma cíclica, aproveitando os resultados armazenados na memória;
- A máquina deve ser capaz de tomar decisões e escolher cursos alternativos de ação (Yousset, 1985).

### **2.2.2 Cartão perfurado**

No fim do século XIX, a técnica de processamento de dados ensaia seus primeiros passos em direção ao que conhecemos nos dias atuais. O grande

desenvolvimento na sistematização do processamento de dados foi realizado por Herman Hollerith (1860-1929) durante o censo demográfico dos EUA de 1890.

Utilizando a idéia do cartão de Jackard, Hollerith procurou formas de mecanizar os trabalhos de apuração, iniciando-se assim, em 1885, a construção de uma máquina de cartões perfurados (Yousset 1985).

### **2.2.3 A válvula, o transistor e o circuito integrado**

Na década de 30 foram realizadas as primeiras experiências para a construção de calculadoras baseadas em relês eletromagnéticos. Essas calculadoras, construídas por Konrad Zuse na Alemanha, eram comandadas por programas perfurados em fita de papel. Também na década de 30, nos EUA, Howard Aiken começa a projeto de fabricação de uma calculadora automática controlada por programa, construída com relês (Yousset, 1985). Essa calculadora ficou pronta em 1944, recebendo o nome de Mark I (Yousset, 1985).

Um salto qualitativo grande foi dado entre 1943 e 1946, data do funcionamento daquele que é considerado o primeiro computador eletrônico. O ENIAC (Eletronic Numeric Integrator and Calculator), construído nos EUA, possuía uma arquitetura diferente da do Mark I, pois baseava-se no uso de válvulas ao invés de relês, o que aumentava muito sua velocidade de realização de cálculos (Yousset, 1985).

A partir de 1951 o uso extensivo de computadores já era realidade com o UNIVAC I, começando o que foi chamado de primeira geração de computadores. Dessa maneira, a primeira geração é comumente caracterizada pelo uso de válvulas.

Ainda na década de 50 as pesquisas para o desenvolvimento do transistor trouxeram um novo avanço no desenvolvimento de computadores

mais compactos e de menor custo. Como o transistor tem menor custo e tamanho que a válvula substituindo-a com vantagens, tal objetivo foi conseguido, caracterizando assim o que chamamos de computadores de segunda geração (Yousset, 1985).

Com o surgimento da tecnologia de estado sólido, que propiciou o desenvolvimento de microcircuitos, iniciou-se assim a terceira geração de computadores.

De 1964 para cá observamos o surgimento dos minicomputadores e dos microcomputadores.

Por volta de 1970 a tecnologia de produção de chip com um alto grau de integração (LSI – Large Scale Integration) tem como consequência uma maior compactação e miniaturização, possibilitando também uma maior capacidade de processamento de informação. Inicia-se a quarta geração de computadores (Yousset, 1985).

Nesta mesma década a Microsoft desenvolve o sistema MS-DOS para IBM, em seguida este programa tornou-se o mais utilizado em todo mundo.

Em 1984 a Apple lança o Macintosh, um microcomputador com o mouse e o monitor de alta resolução. Os vídeos *Touch Screen* (sensíveis ao toque), chegam ao mercado nesta mesma época.

Bill Gates, fundador da Microsoft, lança no mercado em 1987 o Windows, com um ambiente operacional gráfico que tem por objetivo facilitar a utilização do microcomputador (Romeu, 1998).

Em 1993 a Intel lança no mercado o microprocessador Pentium, a última geração dos computadores (Romeu, 1998).

Em agosto de 1995, a Microsoft lança no mercado o seu novo sistema operacional, o Windows 95 (Romeu, 1998).

Em agosto de 1998, a Microsoft lança no mercado o seu novo sistema operacional, o Windows 98, evolução do Windows 95 (Romeu, 1998).

Em fevereiro de 2000, a Microsoft lança no mercado o seu novo sistema operacional, o Windows 2000, evolução do Windows NT (Romeu, 1998).

## **2.3 Histórico do CAD**

Segundo (Voisinet 1988) a revolução industrial do século XIX, melhorou e muito os poderes físicos do homem. No nosso século assistimos a uma segunda revolução industrial com os computadores nos mais diversos campos em que o homem atua (negócios, ciência). É surpreendente que o uso do computador na engenharia, mais especificamente na área de desenho, não tenha acompanhado esse desenvolvimento.

O primeiro passo em direção aos gráficos de computadores foi dado por um sistema chamado SKETCHPAD desenvolvido por Ivan Sutherland, na Universidade de Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1963.

Esse sistema consistia de um osciloscópio de raios catódicos acionado por um computador Lincoln TX2 onde as informações eram exibidas na tela. Os desenhos podiam ser feitos na tela, mas o sistema exigia muito recurso, boa potência do computador e extremamente dispendioso.

A partir daí, grande progresso se fez nessa área, o que viabilizou a utilização da unidade de exibição visual (*visual display unit-vdu*) ou seja a utilização de gráficos de computadores.

Outra grande evolução foi no próprio computador, sua diminuição de tamanho, passando pelo minicomputador e agora para o microcomputador, o que viabilizou o baixo custo.

No que tange ao desenho ou desenvolvimento de um projeto, com suas fases de criação ou geração de idéias, formas geométricas, cálculos de desempenho e o processo de fabricação, gradativamente os computadores estão permitindo aos desenhistas industriais substituir o trabalho tradicional seja em atividades simuladas, utilizando um computador que processe tanto em modelo matemático como analógico.

O emprego da computação gráfica está presente no nosso dia a dia, mesmo que nem sempre nos demos conta disso, através de vinhetas usadas pelas televisões, nos efeitos especiais em filmes de tv e cinema, nos videogames, simuladores de vôo, desenhos animados, projetos de automóveis, aviões e embarcações, na medicina para diagnósticos exames e cirurgias.

A área da computação gráfica é muito abrangente dentro da engenharia sendo possível atualmente ver o trabalho de uma peça em uma máquina através de movimentos simulados, antes mesmo da sua fabricação ou observar o desgaste apresentado em um material a partir de uma máquina simulada e antecipar a melhor maneira de executá-la, ou observar por dentro de um edifício que só existe armazenado na memória do computador.

A maioria dos *softwares* desenvolvidos para o desenho e o projeto (CAD), apresentam ferramentas capazes de criar o efeito de sombreamento, iluminação e perspectivas em modelos tridimensionais.

Estas ferramentas propiciam expressar de modo mais realista e amplo a forma e os detalhes dos objetos a serem representados, melhorando a sua interpretação (Voisinet, 1988).

## 2.4 Histórico das máquinas ferramentas CNC

Em 1948, o americano John T. Parsons desenvolveu um método de emprego de cartões perfurados com informações para controlar os movimentos de uma máquina-ferramenta.

Demonstrado o invento, a Força Aérea patrocinou uma série de projetos de pesquisa, coordenados pelo laboratório de servomecanismos do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Poucos anos depois, o MIT desenvolveu um protótipo de uma fresadora com três eixos dotados de servomecanismos de posição.

**Tabela 1 – Um resumo da evolução do CNC aparece na Tabela 1 (Fonte: Machado, 1986)**

|      |   |
|------|---|
| 1940 | Mark I: primeiro computador construído pela Universidade de HARVARD e pela IBM                          |
| 1949 | Contrato da PARSON com a USAF para a fabricação de máquinas de CNC.                                     |
| 1952 | Demonstração da viabilidade técnica com protótipo funcionando pelo MIT.                                 |
| 1953 | Desenvolvimento do sistema de programação pelo MIT.   |
| 1956 | Desenvolvimento das bases para a linguagem APT, de programação para CNC através do computador pelo MIT. |
| 1957 | Início da comercialização do CNC.   |
| 1957 | ATA desenvolve a linguagem APT para os computadores IBM.  |
| 1959 | Primeira máquina com trocador automático de ferramentas IBM-ENDICOTT.                                   |
| 1961 | A EIA publica as normas RS 244.   |
| 1962 | A BENDIX desenvolve o Comando Adaptativo.   |
| 1967 | Primeiras aplicações do CNC no Brasil.  |
| 1970 | Aplicação dos primeiros comandos CNC.   |
| 1971 | Fabricado no Brasil o primeiro torno com CNC pela ROMI, com comando SLO-SYN.                            |
| 1977 | Comandos Numéricos com CNC usando a tecnologia dos microprocessadores.                                  |
| 1980 | Sistemas flexíveis de fabricação são aplicados em larga escala.   |

A partir desta época, fabricantes de máquinas-ferramenta começaram a desenvolver projetos particulares.

A Essa atividade deu origem ao comando numérico, que implementou uma forma programável de automação com processo controlado por números, letras ou símbolos.

Com esse equipamento, o MIT desenvolveu uma linguagem de programação que auxilia a entrada de comandos de trajetórias de ferramentas na máquina. Trata-se da linguagem APT (do inglês, Automatically Programmed Tools, ou “Ferramentas Programadas Automaticamente”).

Os robôs (do tcheco *robota*, que significa “escravo, trabalho forçado”) substituíram a mão-de-obra no transporte de materiais e em atividades perigosas. O robô programável foi projetado em 1954 pelo americano George Devol, que mais tarde fundou a fábrica de robôs Unimation. Poucos anos depois, a GM instalou robôs em sua linha de produção para soldagem de carrocerias.

#### **2.4.1 CAPP – Planejamento de processo assistido por computador**

O planejamento de processo pode ser entendido como o ato de preparar instruções de operação detalhadas para transformar um desenho de engenharia em produto final.

O CAPP possibilita a integração com outros *software* isto é: os sistemas de planejamento de processo podem ser projetados para operar com outros pacotes de *software* tendo em vista a integração do fluxo de informações. É o caso dos programas CAD e dos sistemas de dados de usinagem.

#### **2.4.2 CAM – Manufatura assistida por computador**

A Manufatura Assistida por Computador (CAM) consiste no uso de sistemas computacionais para planejamento, gerenciamento e controle de

operações de uma fábrica. O CAM pode ser classificado em duas grandes categorias:

- Sistemas computadorizados de controle e monitoração - neste caso, o computador liga-se diretamente ao processo a ser monitorado ou controlado.
- Sistemas de suporte da produção - trata-se de uma aplicação indireta.

O computador é utilizado como ferramenta de suporte para as atividades de produção, não havendo interface direta do computador com o processo de manufatura.

### **2.4.3 CNC**

Todos os sistemas baseados em computador são operados por meio de um conjunto de instruções estabelecidas previamente. Essas instruções compõem um programa e quando são postas em prática, constituem uma programação.

No caso específico de uma máquina CNC, o programa é feito, com frequência, para usinagem de um componente ou peça. As instruções são apresentadas ao comando da máquina na ordem em que o programador precisa delas para realizar o trabalho.

O programa CNC transmite à máquina a geometria da peça e as informações relativas à movimentação das ferramentas necessárias ao trabalho.

#### **2.4.3.1 Linguagens de programação para máquinas CNC**

Existem muitas linguagens de programação atualmente. A maioria delas se relaciona com movimentações contínuas ou ponto a ponto. Uma das

linguagens mais populares e poderosas é a APT (do inglês *Automatically Programmed Tools*, isto é, Ferramentas Automaticamente Programadas).

A linguagem APT teve as primeiras aplicações industriais no início de 1959.

Hoje é um dos tipos de linguagem mais difundidos nos Estados Unidos. Outras linguagens como Adapt, Exapt e Uniapt derivam da APT.

Em 1982, a ISO (Organização Internacional para Normalização) estabeleceu os princípios básicos da programação CNC (norma ISO 6983). A norma indica o formato básico do programa, de modo que um conjunto de comandos, compostos de palavras-chave, possa dar instruções para o sistema de controle.

As instruções podem referir-se a uma movimentação específica dos eixos da máquina, a uma indicação de sentido de giro do eixo-árvore ou mesmo a um pedido de troca de ferramenta.

#### **2.4.3.2 Tipos de programação**

Para saber como se dá o processo de geração de programas CNC e onde se encaixam as ferramentas CAM, precisamos analisar alguns tipos de programação, a saber:

- manual (já em desuso);
- assistida por computador;
- gráfica interativa.

Para preparar um programa manual de uma peça, o programador escreve as instruções num formato próprio, onde estão as coordenadas dos pontos da ferramenta com relação à peça. O formulário é utilizado para preparar a fita NC ou os cartões perfurados, que serão lidos, posteriormente, pelo comando da máquina.

A programação assistida por computador pode ser feita diretamente no terminal do computador, de forma interativa, por meio de diálogos. Assim, transfere-se grande parte do trabalho para o computador.

O programa de geração interativa que surgiu nos anos 80 permite ao programador executar o programa de forma gráfica no monitor, visualizando os percursos das ferramentas e os deslocamentos da peça. A codificação é executada automaticamente, sem participação do programador. A este tipo de programação costuma-se associar os sistemas CAM.

O fluxo se inicia com o desenho da peça em CAD. Este passa pelas etapas de geração dos caminhos da ferramenta normalmente executados com recursos gráficos. Segue-se a atividade de pós-processamento, em que se juntam informações relativas ao plano de ferramentas e ao formato e estilo da programação. Os formatos dependem do hardware: variam de acordo com as particularidades de cada comando. Como resultado, obtemos o programa CNC desejado. A seguir, faz-se a edição, se necessária, e por último a comunicação com o comando da máquina.

A comunicação entre o comando e o computador é feita normalmente por meio das portas de comunicação. São portas seriais em que há transmissão de um bit por vez. Todo o processo de transferência não dura mais do que alguns segundos.

#### **2.4.3.3 Aplicação dos sistemas CAD/CAM**

Existem vários pacotes de programas CAD/CAM para diversos tipos de plataformas de computadores (PC, estações de trabalho, etc.). Cada pacote tem suas funções e um segmento de mercado bem definido e, conseqüentemente, um grupo de usuários específicos. Por exemplo, existem sistemas para as áreas de mecânica, eletricidade, arquitetura, calçados, têxtil etc.

Na indústria têxtil, o desenhista que usa o método tradicional de desenho de um tecido combina um grande número de variáveis: espessura, cor, padrões, passadas. O resultado final deve ser comprovado no tecido, sendo necessário, muitas vezes, paralisar parte da produção para se fazer uma prova física. Com o sistema CAD/CAM, essa parada não é necessária e todo o processo se torna mais rápido, uma vez que as modificações podem ser vistas na tela do monitor, antes de serem enviadas para as máquinas específicas. (URL: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/> acessado em 10/11/2000)

## **2.5 História da Computação Gráfica**

Ainda nos anos 50, surge a idéia da computação gráfica interativa: forma de entrada de dados por meio de símbolos gráficos com respostas em tempo real. O MIT produziu figuras simples por meio da interface de tubo de raios catódicos (idêntico ao tubo de imagem de um televisor) com um computador. (URL: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/> acessado em 10/11/2000)

Em 1959, a GM começou a explorar a computação gráfica.

A década de 1960 foi o período mais crítico das pesquisas na área de computação gráfica interativa. Na época, o grande passo da pesquisa foi o desenvolvimento do sistema sketchpad, que tornou possível criar desenhos e alterações de objetos de maneira interativa, num tubo de raios catódicos.

No início dos anos 60, o termo CAD do inglês Computer Aided Design ou “Projeto Auxiliado por Computador” começou a ser utilizado para indicar os sistemas gráficos orientados para projetos.

Nos anos 70, as pesquisas desenvolvidas na década anterior começaram a dar frutos. Setores governamentais e industriais passaram a reconhecer a importância da computação gráfica como forma de aumentar a produtividade.

Na década de 1980, as pesquisas visaram à integração e/ou automatização dos diversos elementos de projeto e manufatura com o objetivo de criar a fábrica do futuro. O foco das pesquisas foi expandir os sistemas CAD/CAM (Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador). Desenvolveu-se também o modelamento geométrico tridimensional com mais aplicações de engenharia (CAE – Engenharia Auxiliada por Computador). Alguns exemplos dessas aplicações são a análise e simulação de mecanismos, o projeto e análise de injeção de moldes e a aplicação do método dos elementos finitos.

Hoje, os conceitos de integração total do ambiente produtivo com o uso dos sistemas de comunicação de dados e novas técnicas de gerenciamento estão se disseminando rapidamente. O CIM (Manufatura Integrada por Computador) já é uma realidade, (URL: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/> acessado em 10/11/2000)

## **2.6 História da prototipagem rápida**

Uma poderosa ferramenta educacional está agora disponível por um custo razoável para educação na engenharia. A prototipagem rápida permite a engenharia desenvolver protótipos físicos de um desenho em pouco tempo. Os protótipos são construídos a partir de papel, plástico resina ou metal. Esse processo tem o potencial de mudanças fundamentais da maneira como os produtos são desenvolvidos para o mercado.

Nos últimos anos surgiu uma nova família de máquinas altamente inovadoras que permitem, com tecnologias e materiais diferentes, obter um protótipo de um modelo ou de um molde, de maneira precisa e rápida a partir do modelo sólido gerado no sistema CAD 3D. Tais máquinas, conhecidas como máquinas de prototipagem rápida, permitem obter peças físicas acabadas, de modo automático, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que não permitiriam sua obtenção em máquinas convencionais de usinagem, ou tornariam sua execução demorada ou complexa em centros de usinagem numericamente comandados. Dessa forma, tais máquinas possibilitam uma maior velocidade e menor custo na obtenção

de protótipos se comparado aos processos tradicionais de usinagem. Além disso, em certos casos estas técnicas permitem a obtenção de matrizes capazes de produzir uma quantidade limitada de peças, ideal para o emprego na produção de lotes pilotos. Tal tecnologia possibilita que as empresas possam desenvolver produtos mais rapidamente (menor *time to market*) e com menor custo, e, principalmente, com um acréscimo na qualidade por meio de uma melhor avaliação do projeto. Leva também à uma diminuição das incertezas e riscos. É o caso do ferramental, por exemplo, cujo risco de perda por falhas no projeto diminui drasticamente e também, do produto que, uma vez tornado físico pode ser melhor avaliado antes da decisão de dar continuidade ao seu desenvolvimento.

Segundo (Wohlers, 1998), o custo das mudanças de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto, aumenta aproximadamente em cerca de uma ordem de magnitude conforme passa-se de uma fase para a seguinte (URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem.html>, acessado em 10/11/2000).

Prototipagem rápida é uma tecnologia que possibilita produzir modelos e protótipos diretamente a partir do modelo sólido 3D gerado no sistema CAD. Ao contrário dos processos de usinagem, que subtraem material da peça em bruto para se obter a peça desejada. Camada por camada, a partir de seções transversais da peça obtidas a partir do modelo 3D, as máquinas de prototipagem rápida produzem peças em plásticos, madeira, cerâmica ou metais. Os dados para as máquinas de prototipagem são gerados no sistema CAD no formato STL, que aproxima o modelo sólido por pequenos triângulos ou facetas. Quanto menor forem estes triângulos, melhor a aproximação da superfície, ao custo naturalmente de maior tamanho do arquivo STL e tempo de processamento. Um vez que o arquivo STL é gerado, as demais operações são executadas pelo próprio *software* que acompanha as máquinas de prototipagem rápida. Basicamente estes *softwares* irão, além de operações básicas de visualização, gerar as seções transversais do modelo que será construído.

Tais dados são então descarregados para a máquina que irá depositar as camadas sucessivamente até que a peça seja gerada.

### **2.6.1 Aplicações**

Sistemas de prototipagem rápida surgiram inicialmente em 1987 com o processo de estereolitografia (StereoLithography - SL) da empresa americana 3D Systems, processo que solidifica camadas (layers) de resina foto-sensível por meio de laser. O sistema SLA-1, o primeiro sistema de prototipagem disponível comercialmente foi um precursor da máquina SLA - 250, bastante popular nos dias de hoje. Após a empresa 3D Systems iniciar a comercialização de máquinas SL nos EUA, as empresas japonesas NTT Data e Sony/D-MEC passaram a comercializar suas versões de máquinas de estereolitografia em 1988 e 1989, respectivamente. Em seguida, em 1990, a empresa Electro Optical Systems - EOS na Alemanha, passou a comercializar o sistema conhecido como Stereos.

Logo após vieram as tecnologias conhecidas como Fused Deposition Modeling (FDM) da empresa americana Stratasys, Solid Ground Curing (SGC) da israelense Cubital e Laminated Object Manufacturing (LOM), todas em 1991. A tecnologia FDM faz a extrusão de filamentos de materiais termoplásticos camada por camada, semelhante à estereolitografia, só que utilizando um cabeçote de fusão do material em vez de cabeçote laser. A SGC, também trabalha com resina foto-sensível a raios UV, só que solidifica cada camada numa única operação a partir da utilização de máscaras criadas com tinta eletrostática numa placa de vidro. Já a LOM solidifica e corta folhas de papel (atualmente folhas de termoplásticos reforçado com fibras) usando laser controlado por computador.

Sistemas de Sinterização (Selective Laser Sintering - SLS) da empresa americana DTM e o sistema Soliform de estereolitografia da japonesa Teijin Seiki tornaram-se disponíveis em 1992. Usando calor gerado pelo laser, SLS

funde pós metálicos e pode ser utilizado para obtenção direta de matrizes de injeção.

Em 1993, a americana Soligen comercializou o produto conhecido por Direct Shell Production Casting (DSPC), que utiliza um mecanismo de jato de tinta para depositar líquido agregante em pós cerâmicos para produção de cascas que podem por sua vez serem utilizados na produção de moldes e peças injetadas em Alumínio, processo este desenvolvido e patenteado pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Em 1994 muitas outras tecnologias e sistemas surgiram:

- ModelMaker da empresa americana Sanders Prototype, usando sistema de jato de cera (ink-jet wax);
- Solid Center da empresa japonesa Kira Corp., utilizando um sistema laser guiado e um plotter XY para produção de moldes e protótipos por laminação de papel ;
- Sistema de estereolitografia da empresa Fockele & Schwarze (Alemanha);
- Sistema EOSINT, da empresa alemã EOS, baseado em sinterização;
- Sistema de estereolitografia da empresa japonesa Ushio.

O sistema Personal Modeler 2100 da empresa BPM Technology (EUA) foi vendido comercialmente a partir de 1996 (BPM significa Ballistic Particle Manufacturing). A máquina produz peças a partir de um cabeçote a jato de cera. No mesmo ano a empresa Aaroflex (EUA) passou a comercializar o sistema SOMOS em estereolitografia da multinacional DuPont, e a empresas Stratasys (EUA) lançou seu produto Genisys, baseado em extrusão , similar ao processo de FDM, mas utilizando sistema de prototipagem desenvolvido no centro de desenvolvimento IBM (IBM's Watson Research Center). No mesmo ano, após oito anos comercializando produtos em estereolitografia, a empresa 3D Systems (EUA) comercializou pela primeira vez seu sistema Actua 2100, sistema baseado em impressão a jato de tinta 3D. O sistema deposita materiais

em cera camada por camada através de 96 jatos. No mesmo ano, Z Corp. (EUA) lançou o sistema Z402 3D para prototipagem baseado na deposição de pós metálicos em 3D.

Outras tecnologias e empresas apareceram e desapareceram durante os anos seguintes. Companhias como a Light Sculpting (EUA), Sparx AB (Suécia) e Laser 3D (França) desenvolveram e implementaram sistemas de prototipagem, mas não tiveram impacto industrial. Nos EUA, atualmente somente uma empresa estrangeira, a israelense Cubital, mantém escritórios de venda (Wohlers, 1998). (Carvalho, URL – <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem>, acessado em 10/11/2000)

### **2.6.2 Técnicas**

As técnicas de prototipagem rápida podem ser aplicadas às mais diversas áreas tais como, automotiva, aeronáutica, marketing, restaurações, educação, paleontologia e arquitetura. (Carvalho, URL – <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem>, acessado em 10/11/2000)

O processo de modelagem mais recente pretende fornecer meios de discernir as diferenças nos muitos sistemas de protótipos disponíveis e o que é emergente hoje. Dentre estes temos que também examinar as aplicações e os *softwares* nessa nova tecnologia. Fundamentados no AutoCAD 3D, Mechanical Desktop, e SolidWorks.

Na área de produção, a produtividade é obtida guiando o processo do produto a partir de sua concepção até sua colocação no mercado a baixo custo. A tecnologia de prototipagem rápida é acrescentada rapidamente nesse processo automatizando a fabricação de uma parte do protótipo a partir de um desenho tridimensional (3D). Este modelo físico transporta informações muito mais completas e detalhadas sobre o produto antes mesmo de desenvolvimento do seu ciclo e da sua fabricação. O tempo para realização de um processo envolvendo tecnologia de prototipagem rápida pode levar alguns

dias. Um protótipo convencional pode levar alguns dias, uma semana ou até meses, dependendo do método usado. A tecnologia de prototipagem rápida pode ser um meio rápido (com maior custo-benefício) de construir protótipos opostos ao processo convencional.

O processo de fabricação apoia-se em três (3) categorias distintas: Subtração, Adição e Compressão. Num processo de subtração, um bloco de material é esculpido para produzir a forma desejada. No processo de Adição o objeto é construído juntando partes ou camadas de matéria prima. O processo compressivo força um material semi-sólido ou líquido até a forma do modelo desejada. O processo convencional apoia-se na categoria subtrativa. Estes iriam incluir processos industriais que são muito difíceis de serem usados em partes com cavidades internas muito pequenas. O processo compressivo inclui moldagem e modelagem.

Os processos aditivos que utilizam a nova tecnologia rápida de protótipo podem ser categorizadas por materiais Fotopolímeros, Termoplásticos e adesivos.

- Fotopolímeros: Processo que começa com resina líquida e aí se solidifica pois é exposto a um feixe de luz específica.
- Termoplásticos: Inicia com materiais sólidos, que então são fundidos até congelarem-se.
- Adesivos: Usa um prendedor para conectar a construção primária.

A tecnologia de prototipagem rápida é capaz de criar peças com pequenas cavidades internas e geometria complexas. A integração entre a Tecnologia de Prototipagem Rápida e processos compressivos tem resultado em uma rápida geração de amostras a partir das quais os moldes são feitos.

A tecnologia de prototipagem rápida foi inicialmente comercializada em 87 com a Stereo Litography e hoje é encontrado nos EUA, Europa e Ásia e em outros países estão em estágio de desenvolvimento.

Protótipos convencionais: Esses métodos não devem ser subestimados pois grandes avanços já foram obtidos nessa área. (URL – <http://mtiac.iitri.org/pubs/rp/rp>, acessado em 10/11/2000)

A visualização: Refere-se a utilização de imagens gráficas computadorizadas e imagens para converter dados numéricos em imagens, os protótipos podem ser categorizados em 2 áreas, *Hard* e *Soft*.

- *Hard*. Refere-se aos modelos físicos atuais que podem ser tocados.
- *Soft*. Gerados por computador e não podem ser tocados (hologramas)  
(URL – <http://mtiac.iitri.org/pubs/rp/rp>, acessado em 10/11/2000)

## 2.7 Modelagem sólida

A grande vantagem da representação gráfica em 3D sobre a representação bidimensional, isto é, representação através das vistas ortográficas, é que o usuário trabalha com a forma real do objeto ou da peça sem precisar interpretá-la a partir da representação das vistas, o que normalmente apresenta um percentual razoável de erros de interpretação, principalmente quando tratamos de peças ou objetos com alto grau de detalhamento ou complexidade.

Essas representações gráficas em 3D têm assumido papel cada vez mais destacado nas áreas de projeto e *design*, em face da maior facilidade que os *softwares* gráficos atuais apresentam no seu desenvolvimento e também por sua variada aplicabilidade.

Na engenharia, com a crescente automação, os modelos em 3D são amplamente utilizados para fabricação de protótipos, por máquinas operatrizes monitoradas por computador e que suportam ferramentas CAD/CAM, permitindo a integração direta entre projeto e produto.

Nas simulações, os modelos em 3D são utilizados para testes mecânicos diversos, sob as mais diferentes condições, para verificação das características mecânicas e da resistência de peças.

No projeto arquitetônico, as maquetes eletrônicas são utilizadas como ferramenta básica no desenvolvimento de realidades virtuais, que permitem ao possível cliente "andar" interna e externamente pela futura residência ou, no caso de um projeto industrial, "passear" pela planta da futura indústria.

Nos projetos de reconstrução de conjuntos arquitetônicos, históricos ou não, as maquetes têm servido como ferramenta fundamental no estudo de desenvolvimento e viabilidade de recuperação dessas construções.

O desenho técnico tem sido facilitado de forma singular na obtenção de vistas ortográficas e vistas auxiliares primárias e secundárias a partir dos modelos em 3D, através de interações de interfaces facilitadoras.

Segundo Bertoline (1996), a pouco tempo atrás a formação em desenho tinha como objetivo preparar profissionais para criar várias vistas de um artefato (desenhos técnicos) para serem utilizados em processos de manufatura ou planejamento, ou supervisionar a produção de desenhos. Com o desenvolvimento das técnicas de modelagem e métodos paramétricos para sistemas CAD, a maneira de supervisionar estas tarefas se modificou, um esboço pode ser utilizado como base para criar um modelo parametrizado, que pode ser modificado facilmente editando os parâmetros, uma vez finalizado o objeto, as várias vistas deste podem ser geradas automaticamente a partir do modelo 3D.

A utilização do computador em profissões que usam desenhos e projetos é o mais importante desenvolvimento que ocorreu na engenharia. Atingiu o mundo industrial como uma onda de choque, revolucionando o modo de preparação e organização de desenhos. Esta metodologia de produzir desenhos de engenharia é conhecida como desenho auxiliado por computador

e é normalmente referenciado com CAD. Se os dados são diretamente mandados aos equipamentos de produção ou transporte de materiais, considera-se o sistema como projeto auxiliado por computador/ manufatura auxiliada por computador (CAD/CAM) (Voisinet 1988).

### 2.7.1 Definições de modelagem sólida

Modelar é o processo de representar idéias abstratas, trabalhos, e formas, através do uso ordenado de texto simplificado e imagens. Os engenheiros e técnicos usam modelos para pensar, visualizar, comunicar, prever, controlar e treinar. Modelos são classificados como descritivo ou preditivos.

O modelo descritivo representa idéias abstratas, produtos, ou processos em uma forma reconhecível. Um exemplo é um desenho de engenharia ou um modelo em 3D de uma peça mecânica ou uma maquete eletrônica.

Um modelo preditivo é um modelo que pode ser usado para entender e prever o comportamento/performance de idéias, produtos, ou processos. Um exemplo de um modelo preditivo é um modelo de elemento finito que é usado para prever comportamento mecânico.

Há atualmente três métodos diferentes usados para modelagem geométrica em programas de CAD 3D: *wireframe* (armação em arame), superfície, e modelos sólidos.

Um modelo sólido representa uma forma como um objeto 3D que tem propriedades de massa. (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Modelando se descreve as fases do desenho para construir um modelo físico 3D ou um modelo eletrônico 3D de uma peça. Com um modelo de CAD

3D, você pode investigar uma variedade de projetos, pode modelar o resultado do projeto no sistema, e pode completar outras análises (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Por que usar modelos em 3-D? Embora mais rápido de realizar e mais preciso que métodos de desenho manuais, CAD 2D tem a mesma limitação que o desenho realizado na prancheta. Ele é Bidimensional. Como uma ferramenta para visualizar e criar objetos que podem ser vistos de frente, de cima, vista lateral direita, auxiliar ou em posição isométrica, CAD 3D oferece muito mais poder que CAD 2D. (Duff, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

### **2.7.2 Definições de modelagem paramétrica**

Projetos são de forma crescente representados por modelos sólidos que capturam tanto a intenção do projeto como a sua geometria (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

O custo, a complexidade, e o manufaturabilidade do artigo são considerados desde o estágio inicial do projeto. Aproximadamente 75% do custo de produção de uma peça são fixados no estágio de projeto (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Programas de CAD paramétricos são de forma crescente utilizados em todas as fases do projeto de engenharia. O ambiente de engenharia simultânea (compartilhada) necessita de projetista de manufatura desde as etapas iniciais do projeto. Programas paramétricos de CAD facilitam este esforço. Engenheiros, desenhistas industriais, tecnólogos, e desenhistas trabalham desde o início do projeto de forma conjunta para assegurar um produto manufaturado de alta qualidade (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Paramétrico pode ser definido como qualquer conjunto de propriedades físicas cujos valores determinam as características ou comportamento de algo. O projeto paramétrico permite gerar uma variedade de informação sobre seu desenhos - suas propriedades de massa, um desenho, ou um modelo básico. Para adquirir estas informações, você precisa primeiro modelar suas partes ou peças componentes.

Desenho paramétrico representa modelos sólidos como combinações de perfis em engenharia (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Ser capaz de incorporar com sucesso o conhecimento de engenharia com um modelo sólido é um aspecto essencial de modelagem paramétrica. Isto assegura que aqueles parâmetros críticos estão sendo satisfeitos a medida que o seu projeto evolui (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Há duas razões principais para o movimento na direção da modelagem sólida. Primeiro os pacotes de modelagem sólida podem servir como meios fáceis de retratar partes do estudo através de engenharia simultânea equipes multifuncionais (interdisciplinares). O modelo sólido pode ser entendido até mesmo por pessoas não técnicas, tal como pessoas do marketing e do departamento de vendas. Segundo, as capacidades dos modeladores sólidos de representar não apenas a geometria da peça, mas também a intenção do desenhista. Isto é de muita significação quando o desenhista precisa fazer mudanças na geometria (volume) das partes. Algumas mudanças serão necessárias na geração posterior de modelos sólidos paramétricos para captar a intenção do projetista para o modelamento antecipado junto com a simulação do processo de fabricação (CAD/CAM) (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Modelos paramétricos não são somente desenhados mas também esculpidos na forma de volumes sólidos de materiais. Quebrar seu projeto

global em seus componentes básicos, construindo blocos, ou peças básicas. Identificar a característica mais fundamental da parte como a primeira característica, ou característica básica (Lamit, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Uma variedade de características básicas pode ser modelada usando os comandos de extrusão, revolução, *Sweep* (varredura) e *Blend* (fundir). Características adicionais esboçadas (pescoço, rosca, flange, e corte) e características como escolher e deslocar as partes para o seu respectivo lugar, chamando os perfis de referência, completam o projeto (furos, círculos, e chanfros).

Além disso, a tendência da indústria norte-americana atual é que os engenheiros sejam especialistas em modelagem geométrica utilizando computadores. Modelagem geométrica é o processo de criação em computação gráfica para comunicar, documentar, analisar, e visualizar o processo de projeto. Os engenheiros usam esboços e os modelos computadorizados para visualização, e então faz-se a documentação mínima para a fabricação. A documentação pode estar na forma de modelos 3D computadorizados e são enviados diretamente à produção para gerar o programa de computador para a máquina de controle numérico (CNC) em código de máquina. Desenhos bidimensionais são extraídos de modelos em 3D, com as dimensões críticas somadas as que máquinas de medição por coordenadas (CMM) e conferidas pelo controle de qualidade. (Bertoline, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Modelos sólidos são usados para análises e visualização na engenharia e são descrições matematicamente precisas de produtos e estruturas. (Bertoline, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

Em CAD 3D, nem todos os objetos têm formas bem definidas que podem ser mostradas facilmente com linhas. Para descrever limites ou fronteiras de

superfícies sobre primitivas curvas como cilindros, cones, e esferas, linhas especiais são requeridas. Estes exibem linhas, freqüentemente chamadas de linhas de mosaico, útil para visualização e descrição de fronteiras ou limites curvos complexos visualmente. (Duff, [URL:http://theti.com/model.htm](http://theti.com/model.htm), acessado em 03/08/2000).

## 2.8 O futuro

Segundo USP/Bibivirt, ([URL:http://www.bibvirt.futuro.usp.br/](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/) acessado em 16/06/2000) a realidade virtual é uma ferramenta produtiva que vem sendo utilizada nas mais diversas áreas e formas, nos mais variados campos de conhecimento humano.

No ensino a distância, através da linguagem VRML (*Language Modeling Reality Virtual*), os modelos em 3D, disponibilizados via *Internet*, têm sido utilizados como um facilitador no processo de ensino-aprendizagem, especificamente no desenvolvimento da capacidade de visualização.

A Embraer e as montadoras de automóveis no Brasil por exemplo, são algumas usuárias dos recursos de Realidade Virtual, seja utilizada no desenvolvimento de peças e acessórios, ou em testes de partes e do produto final.

Utilizam para tanto computadores com grande capacidade de processamento, alta capacidade gráfica e resolução, bem como dispositivos para criar a ilusão da realidade, como óculos, sensores, luvas e dispositivos de apontamento especiais.

O projetista pode usinar, cortar, perfurar um modelo como se estivesse numa fábrica, com a vantagem de realizar essas operações tantas vezes quantas quiser, sem gasto de material sem sujeira e economizando tempo e dinheiro.

A realidade virtual ainda se encontra num patamar inicial de desenvolvimento. No entanto, suas possibilidades são enormes. Como ferramenta de manufatura (CAE/CAD/CAM), ela possibilita simular a fabricação de uma peça mecânica em 3D.

A realidade virtual traz aos usuários os seguintes benefícios:

- Identificação rápida e fácil de possíveis falhas num projeto;
- Correção imediata com baixo custo;
- Facilidade na apresentação do projeto a outros grupos de especialistas externos e internos;
- Armazenamento de informações;
- Facilidade de manutenção das partes que compõem produtos mais complexos.

Quanto mais rápidas e precisas forem a manutenção e a reposição de peças danificadas de um produto, menor será o custo do trabalho na engenharia de automação. Periféricos de realidade virtual não possibilitam operar com máquinas prejudiciais à saúde humana – por serem altamente ruidosas, tóxicas, radioativas, explosivas etc.

Esses periféricos também permitem cirurgias mais complexas em locais de difícil acesso ao médico e em casos em que o paciente não pode ser removido.

Na indústria aeroespacial, a realidade virtual permite simulações de pilotagens; na indústria automobilística, permite realizar testes de reação, e dirigibilidade e crash-test.

Os testes feitos em ambientes virtuais são mais baratos e não colocam em risco a vida dos usuários. USP/Bibivirt, ([URL:http://www.bibvirt.futuro.usp.br/](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/) acessado em 16/06/2000).

## CAPÍTULO 3. TIPOS DE MODELAGEM 3D

### 3.1 Introdução

A maioria dos objetos com os quais temos contato diariamente tem sido projetados segundo normas utilizadas há muito tempo. Esse procedimento começa com uma idéia, que é estruturada por meio de muitas interações, avaliadas e testadas, representadas em papel na forma de desenhos e então construídas segundo as indicações do projetista. Há bem pouco tempo, todo este trabalho era executado de forma manual, usando papel e tinta, e o resultado final dele era a obtenção de desenhos de engenharia.

Tendo em vista que os desenhos de sólidos tridimensionais são organizados no espaço bidimensional de uma folha de papel, o modo padrão de representação de sólidos tridimensionais geralmente utilizado é o das projeções ortogonais.

Apesar destes modelos de desenhos serem amplamente usados, eles são limitados na medida que são somente uma representação bidimensional de sólidos tridimensionais e, desta maneira, para que os objetos que eles representam possam ser construídos, estes desenhos precisam ser corretamente interpretados.

Existem, basicamente, três tipos de Modelamento:

- Modelamento por *Wireframe*
- Modelamento por Superfícies
- Modelamento por Sólidos

### 3.2 Modelagem *wireframe*

Até recentemente a modelagem por *wireframe* era o principal método utilizado pelos sistemas CAD, possibilitando unir linhas entre pontos no espaço

3D, permitindo a criação de modelos espaciais e garantindo a consistência de vistas 2D derivadas dos modelos e da cotação associada.

Com o avanço tecnológico e a maior capacidade de processamento dos computadores, esses sistemas foram sendo substituídos pelos baseados nos métodos de modelagem sólida. Isto também aconteceu em parte devido a dificuldade de uso dos *Wireframe* quando existe a necessidade de incorporá-los em *softwares* de análise ou manufatura, já que não possuem nenhum tipo de informação relacionada a características físicas dos componentes reais, associadas ao modelo. (URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>, acessado em 10/11/00).

### 3.2.1 Processo de Modelamento *Wireframe*

Segundo (SOUZA et al, 1999) esta forma de modelagem apresenta a mais simples técnica de representação de objetos tridimensionais, através da qual é efetuada uma descrição do “esqueleto” ou da “estrutura” de um objeto tridimensional. Ver Fig. 3.1.

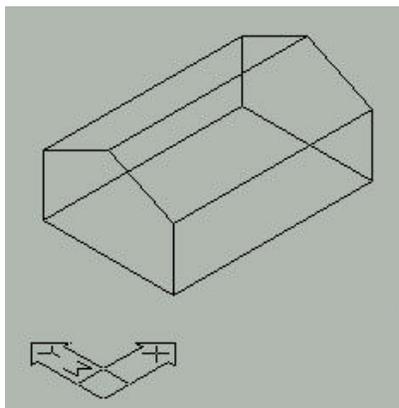


Figura 3.1 – Modelagem *wireframe*. Fonte: Souza et al,1999.

Não há superfícies em um modelo “*Wireframe*” – somente vértices, linhas retas e curvas que são usados para representar as arestas de um objeto 3D.

Modelos *Wireframe* podem ser usados em muitas aplicações em que se necessita da visualização das arestas de objetos 3D, possibilitando certas facilidades com respeito ao desenho em 3D:

- Obtenção automática de vistas ortográfica e auxiliares, com ou sem o uso de perspectiva;
- Estudos simplificados de posicionamento espacial;
- Obtenção de distâncias entre pontos no espaço;
- Visualização mais “real”, em relação a interpretação de vistas ortográficas, para sólidos simples.

Portanto, os modelos *wireframe* tem um nível pequeno de descrição dos sólidos que eles representam e, desta maneira, possuem certas limitações:

- Possuem somente informações referentes a vértices, arestas e curvas, não possui dados relativos ao espaço entre as arestas do objeto representado;
- Não é possível obter representações com as arestas ocultas, removidas (*Hidden Line*), sombreamento (*Shading*) ou renderização (*Rendering*).

Para aplicações que precisem de informações dessa natureza, é necessário usar os recursos de modelamento de superfície.

### **3.2.2 Aplicações de modelagem *wireframe***

O modelo *wireframe* é indicado para aplicações esquemáticas, onde o modelo pode ser substituído por linhas, que representam o contorno, linhas de fluxo, cabos ou tubulações. Para se conseguir desenhar um modelo *wireframe* e necessário utilizar linhas, arcos e splines e, o mais importante, dominar as ferramentas de construção e o sistema de coordenadas. Para este tipo de modelagem é importante lembrar que o sistema de coordenadas é da forma (x,y,z), sendo a coordenada z tão utilizada quanto as coordenadas x e y.

Por ser um desenho em 3D o modelo *wireframe* pode ser visualizado e plotado de todos os ângulos, o que facilita a geração de vistas para a impressão. No entanto com este tipo de modelo geométrico não se consegue calcular o volume do modelo, nem obter as propriedades de massa do mesmo, além do que a visualização fica restrita ao contorno. ( Revista CADware Nº 12 – Maio/Junho de 1999)

### 3.3 Modelagem de superfícies

Segundo (Matsumoto, 1999) um modelo 3D com superfície contém as informações sobre as arestas de um objeto e o espaço entre elas. Um modelo com superfícies pode ser idealizado como uma “casca” de um objeto 3D, onde podem ser identificados pontos que podem estar “dentro” ou “fora” desta casca. Estes modelos são criados inserindo-se entidades tridimensionais planas ou curvas, que possibilitem formar uma casca “fechada” a qual representa o objeto 3D. Existem vários tipos de superfícies que podem ser usadas para este objetivo, como superfícies planas, de extrusão, de revolução, etc. Para superfícies de transição entre as arestas de um objeto, podem ser usados superfícies NURBS, por exemplo.

Os modelos com superfícies detêm um nível maior de descrição dos objetos que representam e, desta maneira, podem ser usados em aplicações que necessitam de mais informações, tais como:

- Obtenção de percursos de ferramentas para usinagem de superfícies complexas;
- Obtenção de desenhos com vistas auxiliares ou em perspectiva com a retirada de linhas invisíveis e sombreamento e acabamento foto-realístico;
- Representação de intersecções entre superfícies no espaço.

No entanto, a modelagem com superfícies tem certas imperfeições:

- As superfícies construídas não tem nenhuma ligação com o algoritmo ou com a geometria usadas para o posicionamento delas;

- A densidade da malha de cada superfície não pode ser controlada de forma independente;
- As superfícies são entidades que tem somente, informações sobre seus vértices.

Conforme a complexidade da geometria, é possível criar modelos “abertos”, ou seja, que tem superfícies que se interseccionam, ocorrendo imperfeições de modelagem que irão atingir aplicações posteriores, por exemplo, obtenção de caminho de ferramentas utilizadas nos processos de usinagem em máquinas de CNC (Controle Numérico) e em sistemas CAD/CAM.

Embora modelos baseados em superfícies sejam úteis para diversas aplicações, como superfícies de terrenos (curvas de nível em topografia), superfícies complexas pertencentes a peças utilizadas nas indústrias automobilística, aeroespacial, para outras peças, em que são utilizados estudos analíticos maiores – tais como análise por elementos finitos, análises volumétricas e da massa e cálculos de momentos de inércia, por exemplo, os dados necessários podem ser melhor obtidos por meio de modelagem de sólidos.

### **3.3.1 Processo de modelagem com superfície**

Segundo (Souza et al, 1999) a modelagem com superfícies tem como característica a criação de várias superfícies planas que se unem para criar uma aproximação de uma superfície curva. O número de divisões das superfícies é controlável, de forma que é possível criar objetos em 3D com a aparência de curvas bastante complexas. A vantagem de se trabalhar com superfícies é a capacidade de visualizar o modelo em 3D com as linhas invisíveis escondidas ou visualizar o modelo com aplicação de textura, sombra, luzes etc. Para representar o relevo de um terreno ou superfícies livres a modelagem com superfícies é a mais indicada.

Para as aplicações onde a modelagem com superfícies deve ser mais precisa torna-se mais fácil utilizar algum aplicativo em 3D que tenha como interface o próprio AutoCAD ( Mechanical Desktop), sendo recomendável dominar os recursos do AutoCAD, pois o mesmo é a plataforma para o trabalho do aplicativo.

A melhor forma para se conseguir modelar com superfícies é em primeiro lugar desenhar o seu contorno. Tendo o esqueleto do modelo, se utilizam os comandos de superfície para preencher os espaços com cascas.

A maioria dos modeladores trabalham com superfícies planas e quadriláteras. Para modelar uma malha circular é necessário configurar a quantidade de divisões que serão aplicadas a malha. Quanto maior o número de divisões mais perfeita a superfície, porém maior o tempo de regeneração do desenho e também maior o tamanho do arquivo.

Uma superfície pode ser definida como um elemento matemático que separa o interior do exterior de um objeto.

Os modelos de superfície diferem dos modelos em *wireframe*, por usarem superfícies para definir o volume ou envolver o contorno de um objeto. Ver Fig. 3.2.

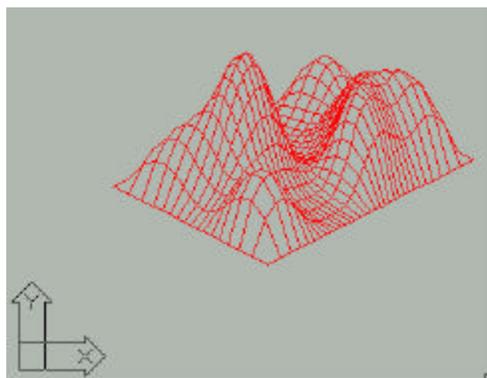


Figura 3.2– Modelagem de superfície. Fonte: Souza et al, 1999.

Apesar de os objetos criados através da modelagem por superfícies serem semelhantes aos criados por modelos em *wireframe* a diferença entre eles fica clara quando é realizada uma operação de remoção de arestas escondidas - HIDE - ou de sombreamento - SHADING - de uma superfície, isto porque muitos dos detalhes internos do modelo serão ocultados por superfícies opacas entre a geometria interna e o observador. Ver Fig. 3.3.

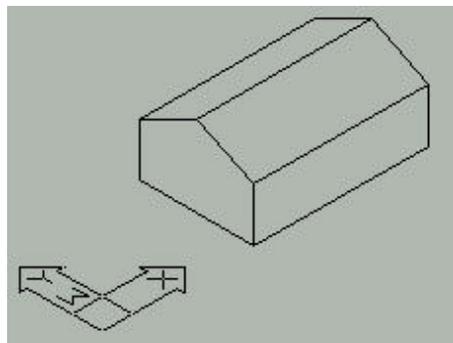


Figura 3.3- Modelagem de superfície. Fonte: Souza et al, 1999.

### 3.4 Modelagem sólida

Um sistema de modelamento por sólidos em geral mantém dois tipos de informações que descrevem o modelo: geometria espacial e topologia. Isto significa que a medida que o modelo é criado, o sistema armazena tanto a forma do objeto final, bem como as formas primitivas e operações usadas para criação deste objeto. Estes dois tipos de informações estão associadas a dois tipos de representações de sólidos.

Segundo ( Souza et al, 1999) a modelagem sólida permite a criação de objetos tridimensionais reais a partir de primitivas sólidas como cubos, esferas ou cones. É uma forma de modelagem mais realista, pois nos modelos em *wireframe* e nos modelos de superfícies os objetos são criados a partir do posicionamento de linhas e superfícies no espaço tridimensional. Ver Fig. 3.4.

Os modelos sólidos apresentam duas características essenciais: a capacidade de realizar mudanças rápidas em sua geometria, através de operações booleanas, e a possibilidade de se efetuar análises, pois permitem a associação de propriedades físicas e materiais ao objeto.

Desta forma consegue-se determinar o centro de gravidade, a área da superfície, os momentos de inércia, o peso, a densidade, a condutividade térmica, entre outras propriedades, o que possibilita o uso destes modelos para análise mais apuradas nas diversas áreas de engenharia.

Outra característica importante dos modelos sólidos é a impossibilidade de criarmos uma representação geométrica imprópria ou irreal. São, pois, diferentes dos modelos em *wireframe* e dos modelos de superfície, com os quais é possível gerar objetos fisicamente irreais, com erros de interseção de faces e erros de outra ordem.

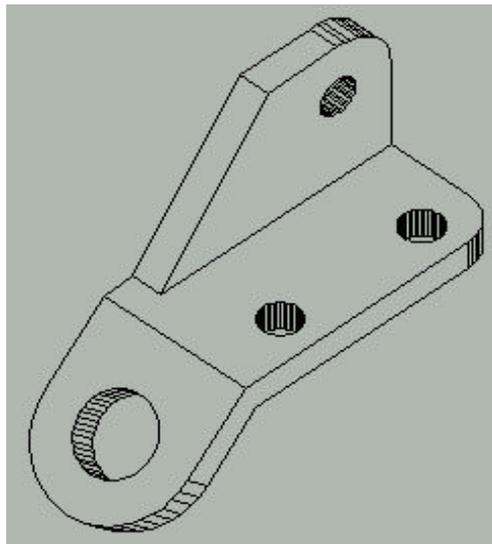


Figura 3.4 - Modelagem sólida, Fonte: Souza et al, 1999.

O modelamento 3D apresenta as dificuldades que são próprias do processo de desenho, pois o projetista é obrigado a considerar as três dimensões simultaneamente. Em alguns casos, a utilização do modelo 3D é imprescindível, como, por exemplo, na aplicação de análises por elementos finitos para verificação de tensões, escoamento, temperatura, etc. e ainda

quando há a necessidade de se calcular o volume, propriedades de massa e eixo de inércia e verificação de interferências.

- **Vantagem**

A modelagem de sólidos é que permite a redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde sua concepção até a sua produção para o mercado.

A modelagem de sólidos aliada a um sistema flexível de manufatura, possibilita a personalização de produtos, fabricação de protótipos ou fabricação de produtos em pequenas séries sem uma penalização excessiva nos custos.

Do ponto de vista técnico as mudanças não são menos importantes:

- Redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos
- Utilização conjunta com várias ferramentas de projeto
- Pré-montagem digital
- Visualização do produto
- Protótipos rápidos e baratos
- Possibilidade de experimentar vários designs
- Melhora da comunicação com clientes e fornecedores
- Automação (Saída direta para máquinas CNC)

Com isto podemos esperar obter resultados que melhorem a estrutura metodológica que vise melhoria na qualidade do ensino/aprendizagem para disciplinas de Modelagem Sólida (CAD-3D).

Os principais métodos de Representação 3D Sólida são: CSG; *B-Rep*; Híbrida; Baseada em *Features*; Paramétrica.

### **3.4.1 Processo de modelagem sólida CSG (*constructive solid geometry*)**

O modelo na forma técnica CGS representa o modelo sólido em termos de primitivas simples tais como: paralelepípedos, cones, esferas, e primitivas

complexas como sólidos de extrusão e revolução. Estas primitivas são combinadas por operações booleanas para compor objetos sólidos complexos.

Desta maneira, cada objeto criado possui uma “árvore” CSG associada a ele, que guarda as informações das primitivas e das operações booleanas utilizadas para a criação do modelo.

A técnica CSG consiste numa forma rápida e bastante intuitiva para a modelagem sólida, visto que simula o processo de manufatura. Um problema associado a modelagem por técnicas CSG é o suporte limitado a superfícies, já que um modelador CGS “puro” não armazena as informações das fronteiras e intersecções de sólidos.

Avaliando as duas técnicas de modelamento, o AutoCAD é considerado um modelador de sólidos híbrido, visto que ele usa as técnicas de CSG para a modelagem, e a visualização do objeto sólido, após cada operação booleana, é feita sobre a forma de *B-Rep* que representa o modelo sólido em termos de sua fronteira espacial. Outra grande vantagem do uso de um modelador híbrido é que, a medida que são realizadas quaisquer alterações na forma ou posição dos sólidos primitivos usados, o sistema automaticamente reprocessa a árvore CSG e mostra o sólido final no formato *B-Rep*, o que facilita a interação do usuário com o sistema de modelagem.

#### **3.4.1.1 Capacidade da modelagem sólida CSG (*Constructive Solid Geometry*)**

Sistemas CSG são capazes de realizar a modelagem sólida são muito mais poderosos que simples modeladores baseados em *wireframe*. Esses programas são usados para construir componentes que são objetos sólidos, e não simplesmente uma malha de linhas trançadas.

Um modelo CSG é uma árvore binária constituída de objetos primitivos e operadores booleanos. As primitivas são representadas pelos ramos da árvore e

os objetos mais complexos são os nós. A raiz da árvore representa o produto completo. Cada primitiva é associada com uma transformação 3D que especifica a posição, orientação e dimensões. Este método caracteriza-se por compor modelos a partir de sólidos.

Utilizando sólidos para modelar os componentes, eles passam a adquirir propriedades físicas como volume, caracterizando sua densidade, assim é possível obter outras características como peso e massa. Dessa forma o computador pode calcular várias propriedades físicas desses modelos, tais como: centro de gravidade, momento de inércia, etc. Estes cálculos podem ser utilizados em modelos com formas irregulares, onde o cálculo manual se torna extremamente difícil e trabalhoso. Além de facilitar o uso do modelo em *softwares* de análise mais minuciosa como em elementos finitos por exemplo e suas propriedades.

Este método possui algumas limitações, sendo a principal a presença de um conjunto limitado de operações e primitivas, o que por consequência limita as possibilidades de criação por parte do projetista. (URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>, acessado em 10/11/00).

### **3.4.2 *Boundary representation (B-Rep)***

O modelo na forma *B-Rep* representa o modelo sólido em termos de sua fronteira espacial, em geral tendo a superfície externa e uma convenção para indicar de qual lado da superfície está o material sólido.

O sólido é representado por, faces, delimitadas por arestas, definidas por vértices. O modelo *B-Rep* armazena as representações matemáticas precisas da geometria das superfícies nas quais as faces são colocadas, da geometria das curvas nas quais as arestas são colocadas, e as coordenadas dos vértices (Matsumoto, 1999).

### 3.4.2.1 Processo de modelagem sólida B-Rep (*Boundary Representation*)

A modelagem *B-Rep* é baseada nas técnicas de modelagem de superfícies anteriormente existentes. A primeira geração de modeladores *B-Rep* representavam objetos sólidos apenas por tabelas de faces, arestas e vértices. Assim ele somente suportava objetos com faces planas. Superfícies curvas eram modeladas por aproximação linear, num processo chamado "facetamento".

A segunda geração de modeladores *B-Rep* incluiu objetos primitivos com superfícies analíticas, como cilindros, esferas, cones, etc. Eles permitem a criação de modelos muito mais complexos com geometria "exata". Para tal foi necessário o uso de algoritmos de interseção muito mais complexos.

Outros desenvolvimentos em modelagem *B-Rep* foram dirigidos a melhorias na efetividade de operações booleanas através de, por exemplo, o uso de diretórios de ocupação espacial, o que reduz o número de verificações de interferência de face. Uma outra área de desenvolvimento foi a expansão do número de formas geométricas que podem ser modelados com a técnica *B-Rep*.

A modelagem *B-Rep* possui algumas vantagens sobre a CGS, principalmente no tocante a versatilidade na geração de modelos complexos e na velocidade de verificação de relações topológicas. Isto acontece devido a maneira como o *B-Rep* registra as informações do modelo, armazenando os parâmetros das arestas de forma explícita. (URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>, acessado em 10/11/00).

### 3.4.3 Processo de modelagem sólida híbrida

Os métodos de modelagem sólida CSG e *B-Rep* são freqüentemente combinados para gerar modelos de componentes. Cada um desses métodos possui suas limitações, e componentes de difícil criação fazendo uso de um

ou outro, podem ser gerados mais facilmente usando uma combinação de ambos os métodos. A maioria dos sistemas modeladores sólido comerciais são híbridos utilizando tanto o método CSG quanto o *B-Rep*.

#### 3.4.4 Processo de modelagem sólida baseada em *features*

Um *feature* pode ser definido como um elemento físico de uma peça que tem algum significado para a engenharia. Ele deve satisfazer as seguintes condições:

- ser um constituinte físico de uma peça;
- ser mapeável para uma forma geométrica genérica;
- ser tecnicamente significativa, sob o ponto de vista da engenharia; e
- ter propriedades predizíveis i.e., prognosticáveis.

O significado técnico de *feature* pode envolver a função à qual um *feature* é utilizado, como ele pode ser produzido, que ações a sua presença deve iniciar, etc. *Features* podem ser pensados como 'primitivas de engenharia' relevantes a alguma tarefa de engenharia.

A modelagem por *features* vem ganhando espaço principalmente dentro da engenharia mecânica. O método permite criar furos, chanfros, rasgos, etc, para serem associados com outras entidades ou faces. A modelagem por *features* é baseada na idéia de se desenhar utilizando blocos de construção. Ao invés de se usar formas analíticas como paralelepípedos, cilindros, esferas e cones como primitivos, o usuário cria modelo do produto usando primitivos de maior nível que são mais relevantes para sua aplicação específica. Esta abordagem deveria fazer com que os sistemas de modelagem sólida ficassem mais fáceis de serem usados. Entretanto, o conjunto fixo de *features* oferecido pelos atuais modeladores é muito limitada para uso industrial, o que limita as possibilidades do projetista. Assim fica claro que os *features* devem ser adaptáveis aos usuários e que a biblioteca de *features* deve ser extensível. (URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>, acessado em 10/11/00).

### 3.4.5 Modelagem sólida paramétrica

A modelagem sólida paramétrica permite que se crie modelos de produtos com dimensões variáveis. As dimensões podem ser ligadas através de expressões. Ligações bidirecionais entre o modelo e o esquema de dimensionamento permite a regeneração automática de modelos depois de mudanças nas dimensões e atualização automática das dimensões relacionadas. (URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm> – acessado em 10/11/00).

Nem todos os sistemas CAD paramétricos provêm esta bidirecionalidade, devido a complexidade que isto envolve, o que penaliza o projetista, pois este tem que pensar na estruturação das ligações dimensionais antecipadamente, sem o que a alteração do modelo pode implicar em que ele seja refeito.

## CAPÍTULO 4. MODELAGEM SÓLIDA

### 4.1 Introdução

Este capítulo aborda de maneira geral os comandos existentes nos softwares estudados, primeiramente mostramos os comandos de construção e edição do AutoCad e em seguida os do MDT e do SW.

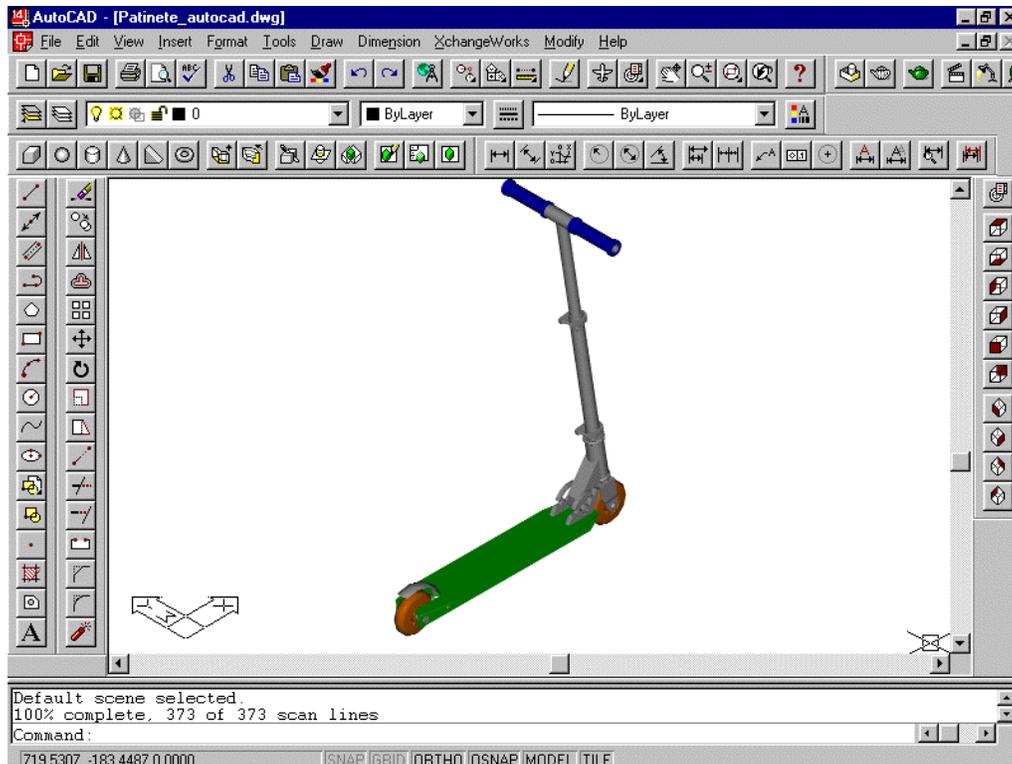


Figura 4.1 – Visualização do Patinete montado na Interface do AutoCAD

O AutoCAD até o seu *Release 12* possuía a capacidade de modelar sólidos, através de um programa adicional denominado AME (*Advanced Modeling Extension*). Com o AutoCAD R13 são incorporados recursos para modelamento sólido no próprio Software.

O modelador sólido ACIS parte integrante do AutoCAD a partir do *Release 13*, não exige que se carregue programas adicionais. Um modelo sólido completo é constituído unindo-se partes, chamadas primitivas, que incluem o *Box, Cylinder, Cone, Sphere, Torus* e *Wedge*, ou construídos a partir de figuras geométricas em 2D a partir de extrusão ou revolução das mesmas.

É possível também construir sólidos tridimensionais a partir de operações booleanas de união, subtração e interseção de sólidos primitivos como cubos, cilindro, cone, esfera, etc. ou de sólidos construídos por extrusão ou revolução de figuras planas.

Existem seis sólidos geométricos parametrizados incluídos na estrutura do software :

- Prisma quadrangular, retangular ou cubo;
- Cone de base circular ou elíptica;
- Cilindro de base circular ou elíptica;
- Cunha;
- Toro;
- Esfera.

Seis sólidos primitivos podem parecer pouco, no entanto se combinarmos estas formas a partir das operações booleanas, ou se as combinarmos com formas bidimensionais construídas pela extrusão ou rotação, criaremos uma grande variedade de geometrias tridimensionais.

Os sólidos geométricos tridimensionais são criados em estrutura de *wireframe*, mas é possível visualizá-los eliminando-se as linhas ocultas. O programa possui também comandos de edição que possibilitam alterações nos modelos como arredondamentos ou chanfros nas superfícies, permitem também obter projeções em 2D, ou a representação de cortes ou seções dos objetos representados.

É possível também calcular as propriedades de massa para determinar o volume, centro de gravidade etc.

Podem ser obtidas também vistas em 2D do modelo sólido para criar desenhos de engenharia detalhados.

Portanto, o modelamento sólido é uma importante ferramenta de projeto. Apesar do desenho em 2D ser muito utilizado ainda nos projetos de engenharia

e, com certeza, ainda vá perdurar por algum tempo, seria indicado que os projetistas explorassem o potencial da modelagem sólida. (Elliot, 1996)

A modelagem sólida consiste na criação de modelos reais que permitem realizar análises de propriedades de massa, tais como: volume, momento de inércia, centro de gravidade, etc., que são de grande utilidade nas mais diversas áreas da engenharia e possuem grande variação de aplicabilidade.

## 4.2 Modelagem sólida no AutoCAD

Podemos criar os sólidos selecionando-os diretamente no menu flutuante SOLIDS (cubo, paralelepípedo, esfera, cilindro, cone, cunha ou toróide), ou criá-los a partir de entidades 2D através de extrusão ou revolução, ou ainda através da composição de sólidos por adição, subtração e interseção.

Menu de barras: DRAW → SOLIDS. Ver Fig. 4.2.

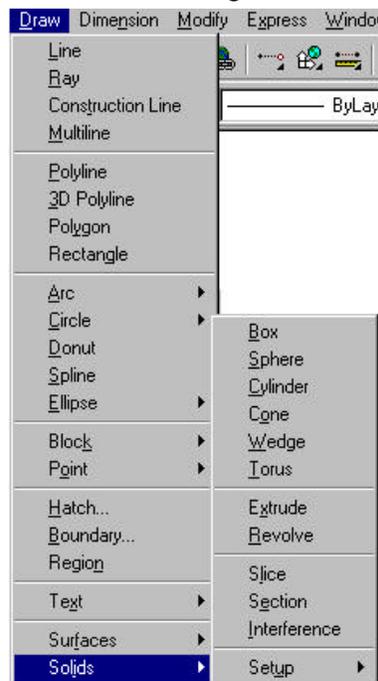


Figura 4.2 – Menu Draw AutoCAD

Menu de barras: VIEW → TOOLBARS → SOLIDS. Ver Fig. 4.3.



Figura 4.3 – Menu de barras, solid

### 4.2.1 Primitivas



#### **BOX**

Com o comando BOX, o usuário pode construir cubos ou paralelepípedos.

Ver Fig. 4.4.



Figura 4.4 – Box



#### **SPHERE**

Este comando possibilita a construção de esferas sólidas. Ver Fig. 5.4.



Figura 4.5 – Shere

**CYLINDER**

Este comando gera um sólido similar ao resultante da extrusão de um círculo ou de uma elipse. Ver Fig. 4.6.

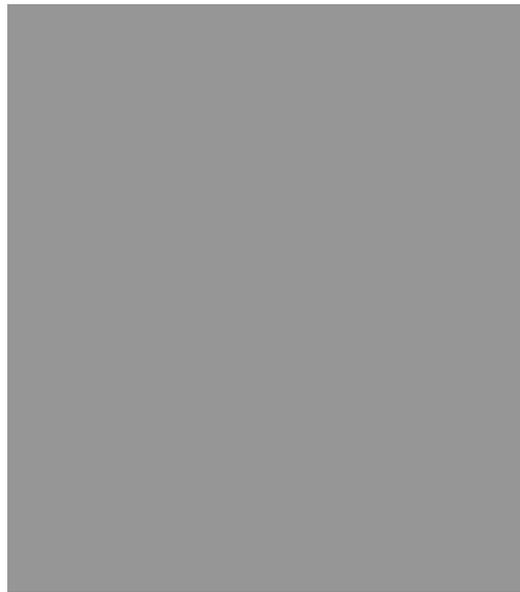


Figura 4.6 – Cylinder

**CONE**

O comando CONE permite ao usuário construir cones retos. Ver Fig. 4.7.

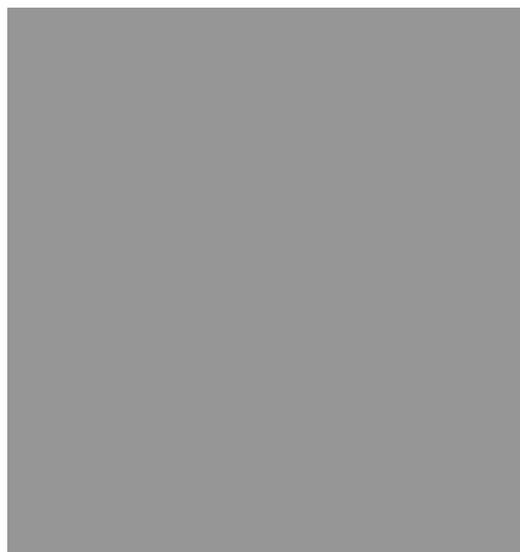


Figura 4.7 – Cone



## WEDGE

O comando WEDGE possibilita a geração de uma cunha. Ver Fig. 4.8.



Figura 4.8 – Wedge



## TORUS

Este comando possibilita a criação de anéis sólidos também denominados toros. São idênticos ao resultado da revolução de um círculo em torno de um eixo no mesmo plano do círculo. Ver Fig. 5.8.



Figura 4.9 – Torus

### 4.2.2 Comandos de composição e geração de sólidos



## EXTRUDE

O comando EXTRUDE possibilita a criação de sólidos primitivos por extrusão de polilinhas fechadas, elipses, polígonos, circunferências, anéis e

regiões modelares ou ao longo de uma trajetória. Ver Fig. 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14.

A polilinha a ser extrudada deverá possuir no mínimo três e no máximo quinhentos vértices. Não é recomendado a extrusão de uma POLYLINE no estado FIT ou SPLINE devido ao grande número de vértices.

O acesso pode ser feito das seguintes formas:

Menu de barras: DRAW → SOLIDS → EXTRUDE

Command: EXTRUDE <ENTER>

O comando EXTRUDE apresenta a seguinte interação:

PATH: Extrusão ao longo de uma trajetória.

SPECIFY HEIGHT OF EXTRUSION OR [PATH]: Nesta opção, deve ser fornecida a altura da extrusão.

SPECIFY ANGLE OF TAPER FOR EXTRUSION <0>: Deve-se entrar com o ângulo de inclinação das faces geradas pela extrusão, sendo que o valor do ângulo pode variar de zero (padrão) a 90 graus. Por exemplo, pode-se criar uma pirâmide a partir da extrusão de um quadrado com um ângulo (taper angle) de 45 graus.



Figura 4.10 – Perfis simples, perfil extrudado, extrude path



Figura 4.11 – Extrude de uma curva – path



Figura 4.12 – Perfil do clip extrudado



Figura 4.13 – Perfil do clip renderizado



Figura 4.14 – Grampo de roupa



## REVOLVE

Possibilita a geração de um sólido através da revolução de círculos, elipses, polígonos, polilinhas, anéis ou região modelar. Entidades tridimensionais não poderão sofrer revolução. Ver Fig. 4.15.



Figura 4.15 – Revolve – pião

**SLICE**

Este comando possibilita seccionar (cortar) um ou mais sólidos com um plano secante, podendo o usuário desprezar ou não uma das partes seccionadas. Ver Fig. 4.16.

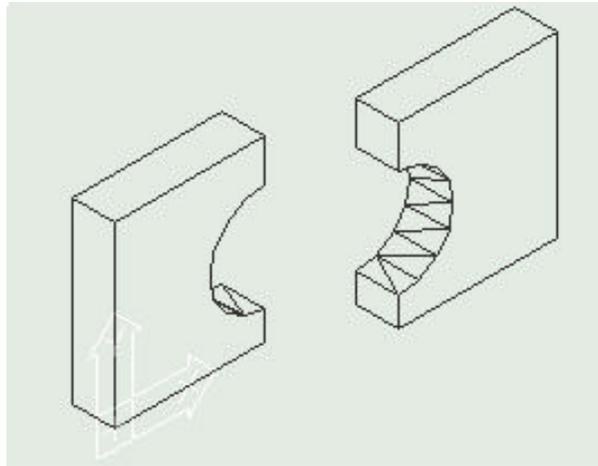


Figura 4.16 – Slice – corte em perspectiva

**SECTION**

Este comando permite gerar seções, isto é, uma fatia do sólido obtida pela interseção de um plano secante definido pelo usuário com o interior da peça. Para definir o plano secante podemos indicar três pontos não colineares, ou planos paralelos aos planos XY, YZ e ZX ou, ainda, um objeto ou uma vista. Ver Fig. 4.17.



Figura 4.17 – Secções

**INTERFERE**

Comando utilizado para determinar a interferência (interseção) entre dois ou mais sólidos, gerando um outro sólido que é o resultado da interseção entre os anteriores. Ver Fig. 4.18.



Figura 4.18 – Interferência

**3D ARRAY**

Este comando possibilita criar ARRAYS (arranjos) nos padrões rectangular e polar no ambiente tridimensional. Ver Fig. 4.19.

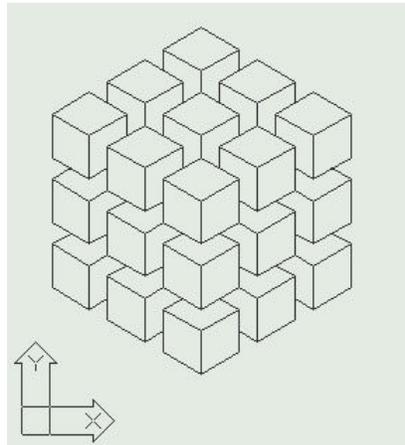


Figura 4.19 – Array rectangular

Se a resposta for "P" (Polar), a figura gerada terá as seguintes características, conforme ilustra a Fig. 4.20.

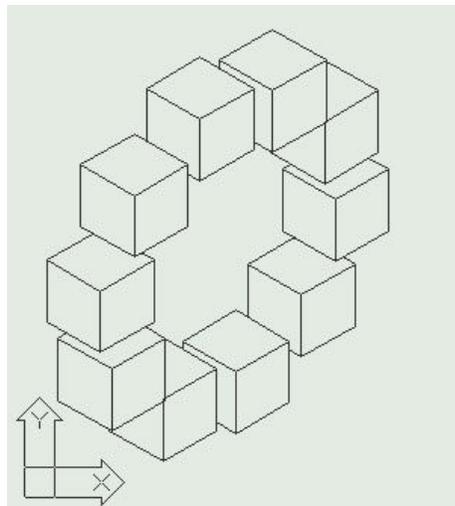


Figura 4.20 – Array rectangular

**MIRROR 3D**

O comando MIRROR 3D permite o espelhamento de um objeto em relação a um plano especificado pelo usuário. Ver Fig. 4.21.

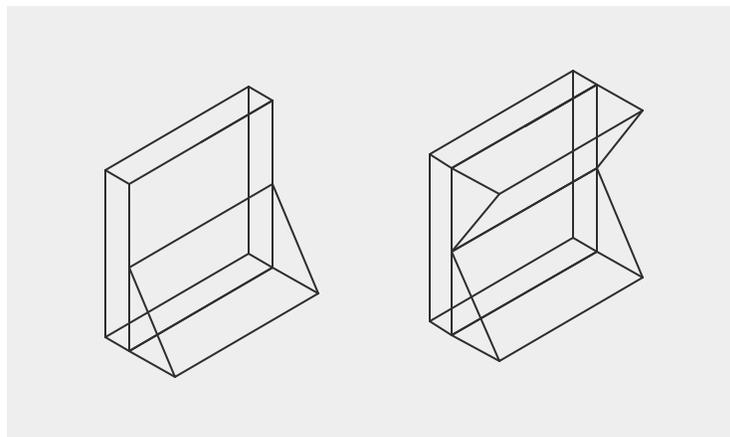


Figura 4.21 – Mirror 3D



### ROTATE 3D

O comando ROTATE 3D permite a rotação de um objeto selecionado em torno de um eixo escolhido pelo usuário. Ver Fig. 4.22.

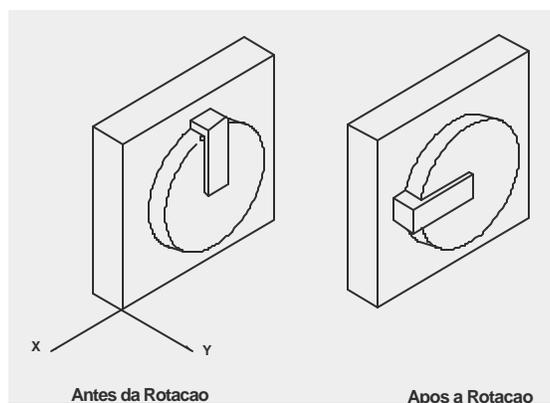


Figura 4.22 – Rotate 3D



### ALIGN

O comando ALIGN possibilita a movimentação, no espaço, de um objeto selecionado. Esta movimentação é realizada através de seis pontos definidos na

interação do comando, caracterizando uma translação e duas rotações. Durante a execução do comando, são criadas linhas temporárias para tornar a operação mais fácil de visualizar. Ver Fig. 4.23.

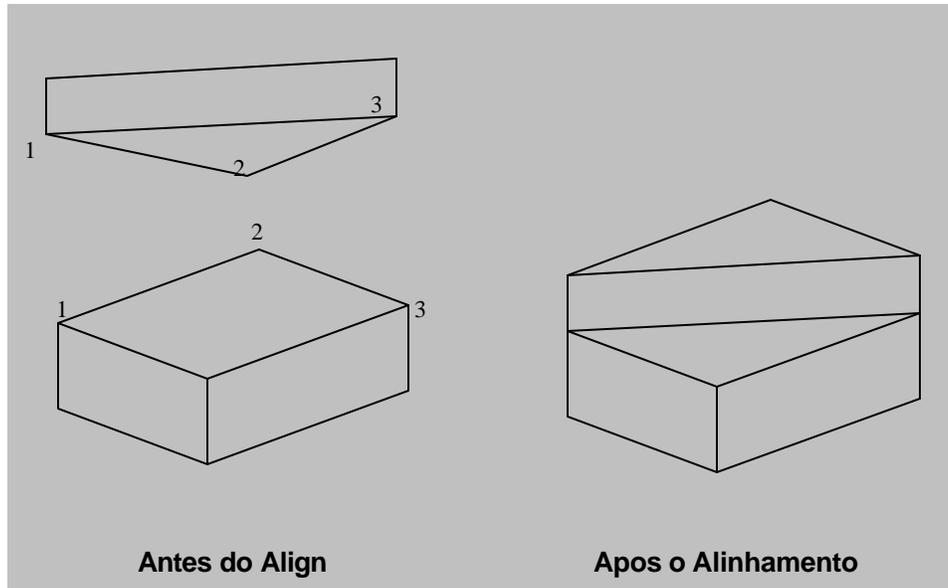


Figura 4.23 – Align 3D

### 4.2.3 Comandos de edição de sólidos

Os sólidos ou regiões gerados no AutoCAD podem ser alterados com os comandos de edição CHAMFER, FILLET, comandos de operação *booleana* UNION, SUBTRACT, INTERSECT e outros comandos de edição utilizados em 2D.

Estes comandos mudam as características físicas dos sólidos.



#### CHAMFER

Comando que possibilita a geração de chanfros em um sólido. Este comando solicita, primeiramente, que seja informada a seleção das superfícies a serem chanfradas e, em seguida, as arestas e dimensões do chanfro. Ver fig. 4.24.



Figura 4.24 – Chamfer

 **FILLET**

Este comando permite a criação de arredondamentos (FILLETs) em múltiplas arestas pertencentes a um sólido. Ver Fig. 4.25.



Figura 4.25 – Fillet

#### **4.2.4 Comando de edição avançado de sólidos**

O AutoCAD R2000 teve suas ferramentas para edição de sólidos melhoradas, incluindo alguns novos comandos relacionados a faces e arestas. Ver Fig. 4.26 e 4.27.

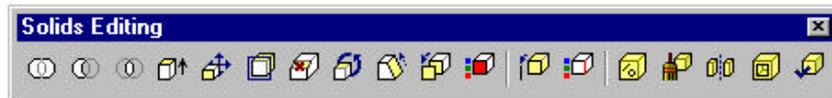


Figura 4.26 – Barra de ferramentas de edição 3D

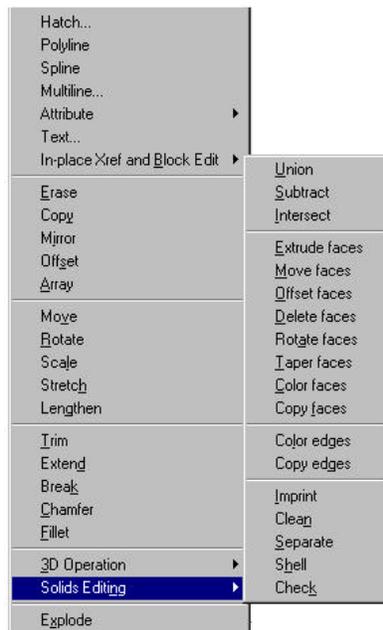


Figura 4.27 – Acesso a barra de ferramentas de edição 3D



## UNION

Este comando possibilita a união de dois ou mais sólidos ou regiões. Ver Fig. 4.28.



Figura 4.28 – Ferramentas de união



## SUBTRACT

O comando SUBTRACT possibilita a geração de sólidos compostos a partir da subtração de um sólido de outro. Ver Fig. 4.29.



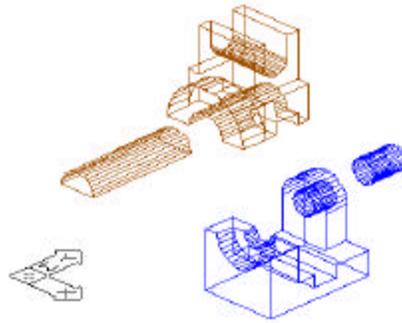


Figura 4.29 – Ferramentas de subtração



## INTERSECTION

O comando INTERSECTION possibilita a geração de sólidos compostos a partir da interseção de dois ou mais sólidos. Ver Fig. 4.30.

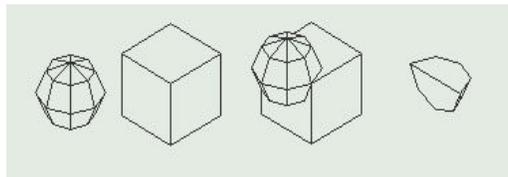


Figura 4.30 – Ferramentas de intersecção



## EXTRUDE FACES

Semelhante ao comando EXTRUDE, extruda faces de objetos sólidos. Ver Fig. 4.31.

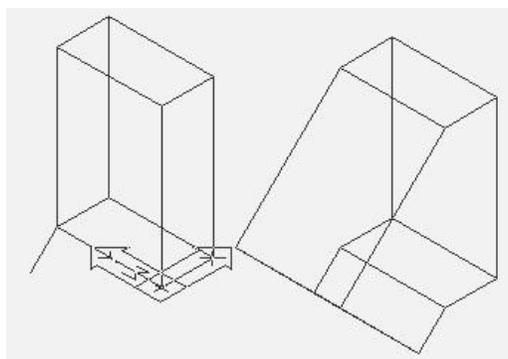


Figura 4.31 – Extrude faces



### MOVE FACES

Move de uma certa distância as faces selecionadas, ampliando o sólido. Ver Fig. 4.32.

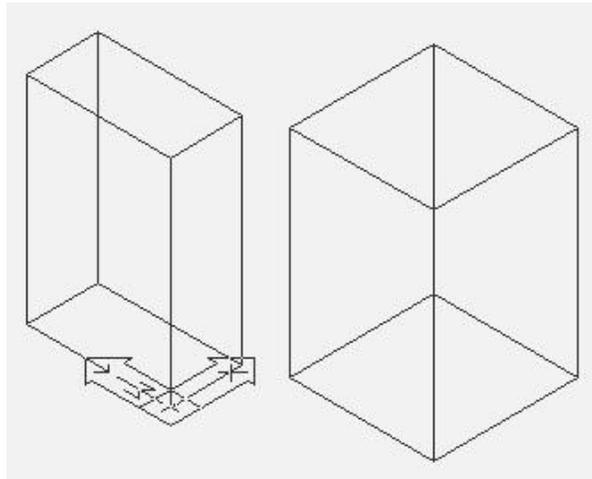


Figura 4.32 – Move faces



### OFFSET FACES

Semelhante ao comando OFFSET para objetos bidimensionais, esta opção permite alterar a dimensão do sólido de forma proporcional. Ver Fig. 4.33.

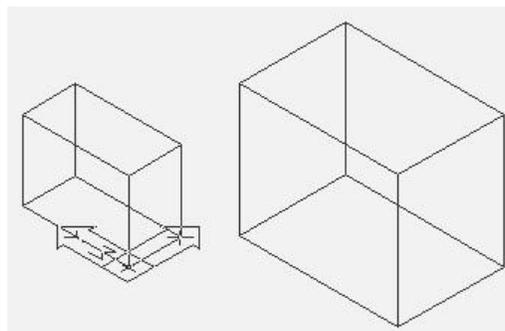


Figura 4.33 – Offset faces



### DELETE FACES

Possibilita a remoção de faces criadas com os comandos CHAMFER e FILLET. Ver Fig. 4.34.

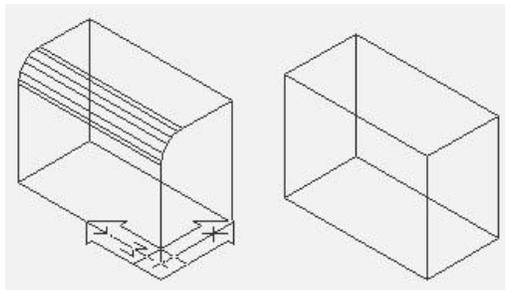


Figura 4.34 – Delete faces



### ROTATE FACES

Rotaciona a face especificada em relação a um eixo especificado. Ver Fig. 4.35.

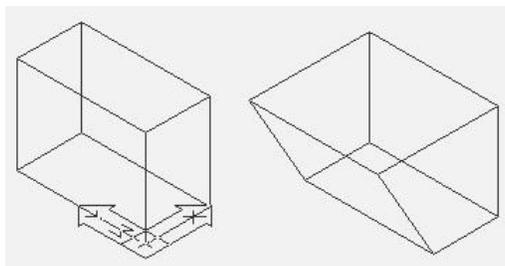


Figura 4.35 – Rotate faces



### TAPER FACES

Opção semelhante a ROTATE FACES. Ver Fig. 4.36.

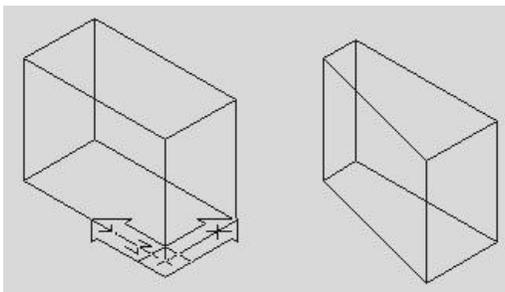


Figura 4.36 – Taper faces



### COPY FACES

Possibilita copiar uma face de um sólido e criar uma região. Ver Fig. 4.37.

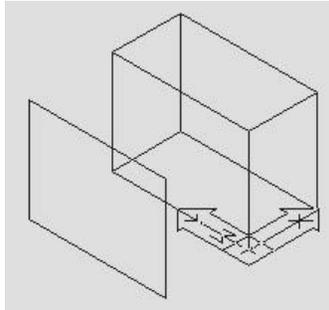


Figura 4.37 – Copy faces



### COLOR FACES

Usado para mudar a cor de faces do sólidos individualmente. Ver Fig. 4.38.

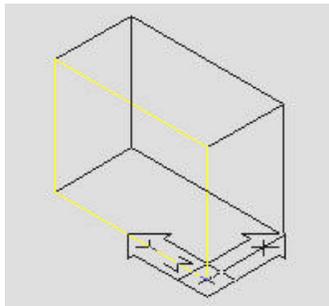


Figura 4.38 – Color faces



### COPY EDGES

Possibilita copiar uma aresta de um sólido. Ver Fig. 4.39.

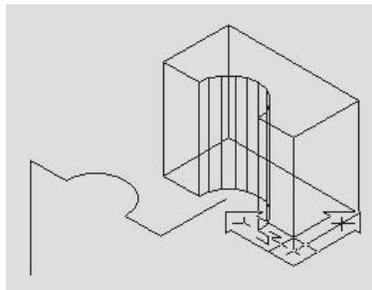


Figura 4.39 – Copy edges



### COLOR EDGES

Pode ser usado para mudar a cor de arestas específicas. Ver Fig. 4.40.

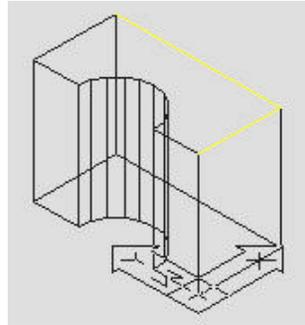


Figura 4.40 – Color edges

**IMPRINT**

Cria contornos em sólidos de acordo com a interseção de entidades. Ver Fig. 4.41.

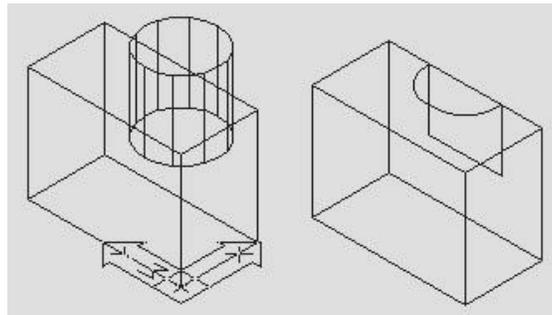


Figura 4.41 - Imprint

**CLEAN**

É utilizado para remover arestas desnecessárias em sólidos. Ver Fig. 4.42.

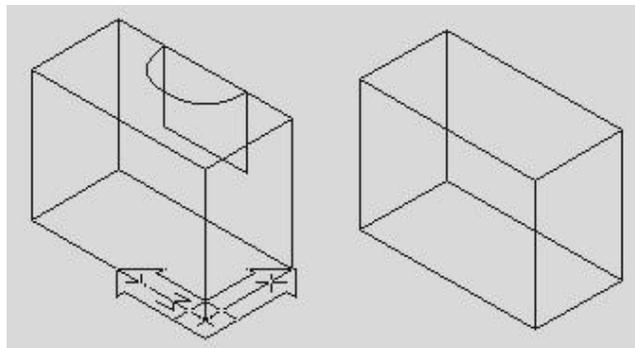


Figura 4.42 - Clean



## SEPARATE

Separa sólidos unidos mas com volumes separados. Ver Fig. 4.43.

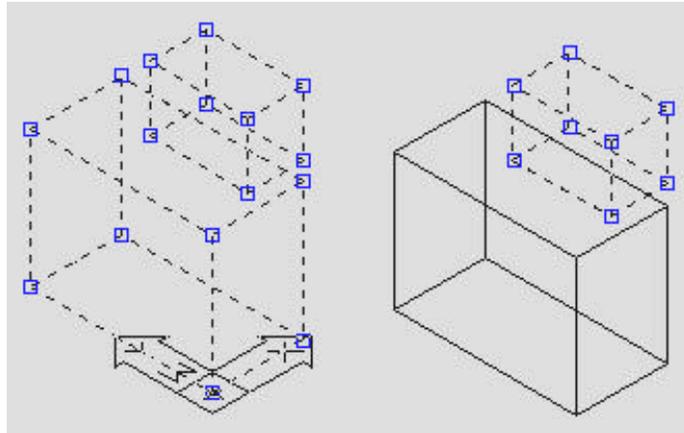


Figura 4.43 - Separate



## SHELL

Transforma o sólido em uma casca com espessura definida. Se a espessura for positiva o sólido aumenta de volume; se a espessura for negativa a casca é criada no interior do objeto original. Ver Fig. 4.44.

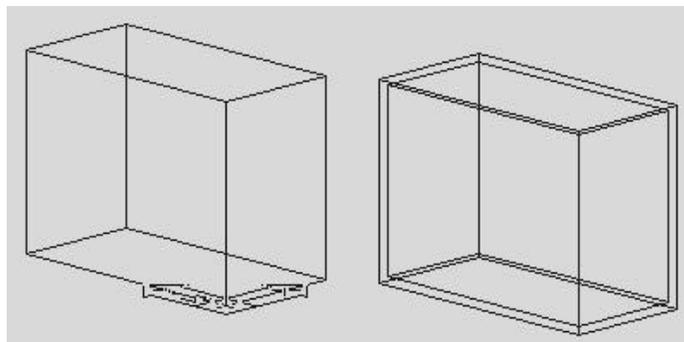


Figura 4.44 - Shell



## CHECK

Permite validar um sólido para edição. Faz a checagem do sólido para verificar se o mesmo é um objeto sólido 3D, pois se não for válido, poderão ocorrer mensagens de erro de ACIS, além de não permitir a edição do mesmo.

### 4.3 Modelagem sólida no Mechanical Desktop

A interface do Mechanical Desktop é muito semelhante com a do AutoCAD salvo pelas suas respectivas peculiaridades principais que são as ferramentas de parametrização e o seu browser que é um gerenciador de todo o processo construtivo do modelo sólido realizado que descrevemos na seqüência deste capítulo.

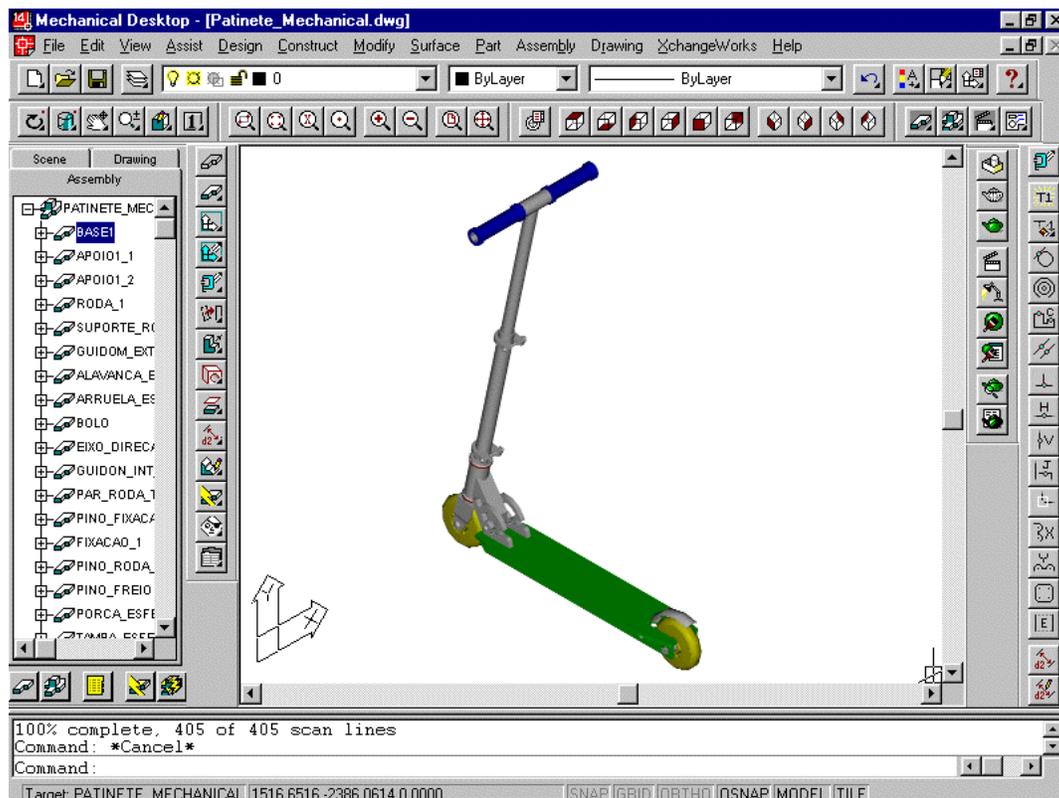


Figura 4.45 – Visualização do Patinete montado na Interface do Mechanical Desktop

Verificamos uma revolução no mercado de produtos de informática para projeto mecânico na área de computação gráfica. O aparecimento e a evolução de algumas tecnologias (processadores muito velozes, programação orientada a objetos, placas gráficas de ótima qualidade e custo baixo) estão permitindo o desenvolvimento de programas CAD para computadores pessoais, o que até bem pouco tempo só eram possíveis em estações gráficas de grande porte e a preços muito altos.

Essa evolução está causando uma reviravolta no pensamento dos projetistas que usavam anos de suas vidas aprendendo a representar peças em vistas planas e depararam de uma hora para outra, com sistemas que desenvolvem esta função em tempo reduzido, apesar de não ser esse o objetivo único desses programas.

Realmente, os programas CAD de última geração, como é o caso do Mechanical Desktop, propiciam uma grande versatilidade no desenvolvimento dos projetos.

Por outro lado, os recursos disponíveis nesses programas abrem novas possibilidades, na criação de projetos de grande complexidade, na análise matemática dos parâmetros envolvidos, na simulação da utilização do objeto em estudo e na integração da engenharia com o mundo a sua volta.

Conclui-se, no final das contas que, se por um lado o projeto ficou mais rápido, por outro lado, ficou muito mais complexo. Com as novas tecnologias, grande parte das tarefas de prototipagem, análise, testes, entre outras estão passando para o controle do projetista.

O profissional de projeto do futuro terá que possuir uma gama de conhecimentos muito maior que a atual, entre elas, o domínio completo de uma boa ferramenta de CAD.

O Mechanical Desktop é um aplicativo de CAD que se enquadra na categoria de modeladores de sólidos paramétricos.

### 4.3.1 Comandos de Modelamento em 2D Sketch

- Line, Arc, Circle

Utilizados para esboço do perfil de base da peça. Um perfil geométrico é uma linha de contorno 2D, que será futuramente um componente básico 3D.

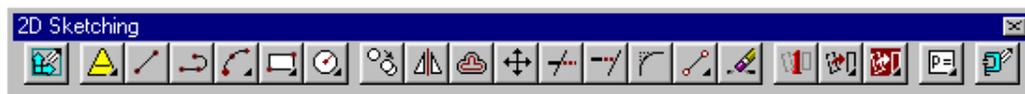


Figura 4.46 – Barra de Ferramentas 2D Sketching

Após a realização do *Sketch* transforme-o em *Profile*

### 4.3.2 Comandos de parametrização

- 2D Constraints e Dimensionamento

Restrições geométricas: São condições de geometria que podem ser impostas a um perfil.



Figura 4.47 – Barra de ferramentas 2D constraints

As restrições geométricas tem o nome de constraints.

- Empregados para possibilitar alterações dimensionais do objeto após a sua execução em função de algum erro ou problema.



Figura 4.48 – Barra de ferramentas work features

### 4.3.3 Sketch Plane, Work Plane e Work Axis

São comandos utilizados para possibilitar a execução dos esboços nas mais diversas posições facilitando com isto a construção dos sólidos mais complexos.

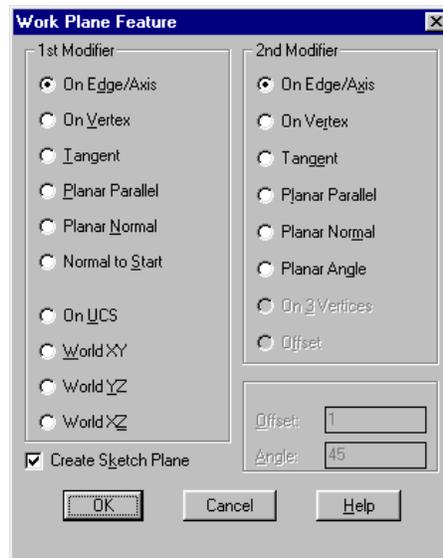


Figura 4.49 – Janela de ferramentas work plano e feature

### 4.3.4 Comandos para criação dos sólidos (edição)

- EXTRUDE: Utilizado para obter sólidos de base ou qualquer outro após a definição do seu perfil e consequente extrusão (Local Part Modeling).



Figura 4.50 – Barra de ferramentas part modeling

- REVOLVE: Comando utilizado para criar um sólido de revolução a partir de sua seção em torno de um eixo ou de uma aresta do seu contorno.
- SWEEP: Comando usado para criar um sólido a partir de uma seção que percorre um caminho pré-definido.

- HELICOIDAL SWEEP: Para a construção de Hélices, Molas, Rôscas, Rotor e Fuso em 3D.
- LOFT: Comando utilizado para a construção de sólidos que contenham secções variáveis.

#### 4.3.5 Construção de *features*

- FUROS: Utilizado para inserir furos de vários formatos na peça sólida dependendo das suas características.

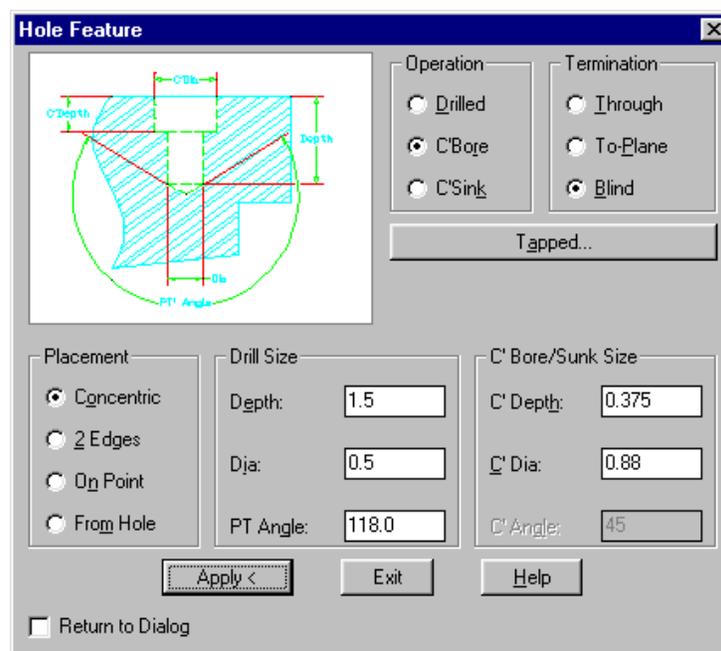


Figura 4.51 – Janela de ferramentas *hole feature*

- FILLET: Para a obtenção de arredondamentos em perfis sólidos ou em suas intersecções.

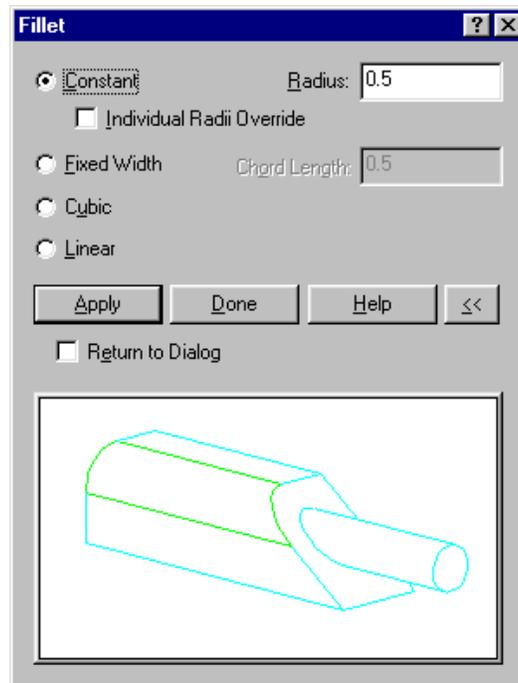
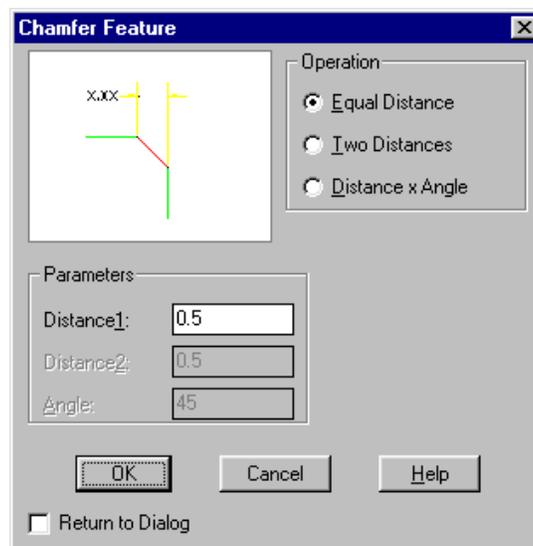


Figura 4.52 – Janela de ferramentas fillet

- CHAMFER: Para a realização de chamfros em perfis 3D.

Figura 4.53 – Janela de ferramentas *chamfer feature*

- DRAFT: Permite inclinar as faces de um modelo 3d.
- ARRAY: Permite criar vários *Features* a partir de um perfil criado em forma de matriz retangular ou em torno de um centro Polar.
- SHELL: Permite a obtenção de cascas a partir de um objeto sólido retirando-se as faces desejadas em função da forma da peça tornando-a ôca.

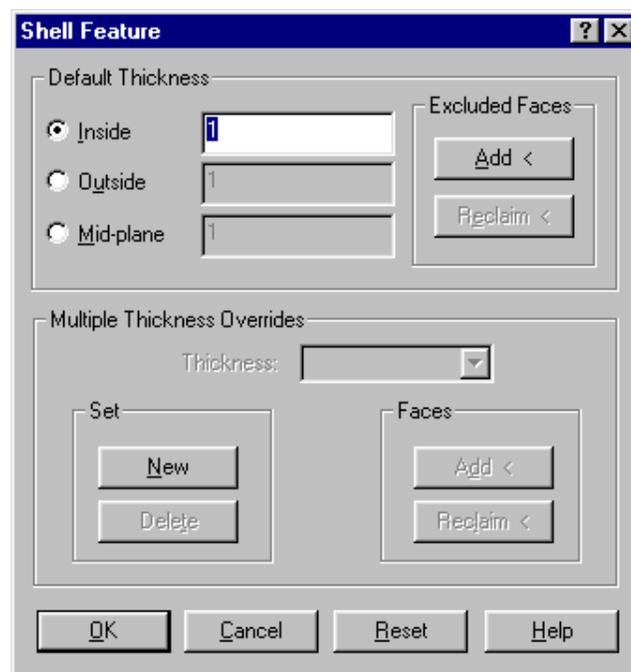


Figura 4.54 – Janela de ferramentas *shell feature*

#### 4.3.6 Copiando *features*

Permite a cópia de *Features* como: Furos, Reforços (Nervuras), e perfis sólidos dos mais diversos formatos.

### 4.3.7 Comandos de visualização e apresentação dos sólidos

Usado para facilitar a visualização dos sólidos disponibilizando posições em perspectiva isométrica bem como projeções ortográficas, podendo também realizar rotações e translações com o sólido renderizado aumentando ainda mais a capacidade de visualização do usuário.



Figura 4.55 –Barra de ferramentas *desktop view*

### 4.3.8 Browser

Mostra todo o histórico de construção do sólido, possibilitando modificar qualquer parte da peça que porventura tenha sido feita com alguma imperfeição.

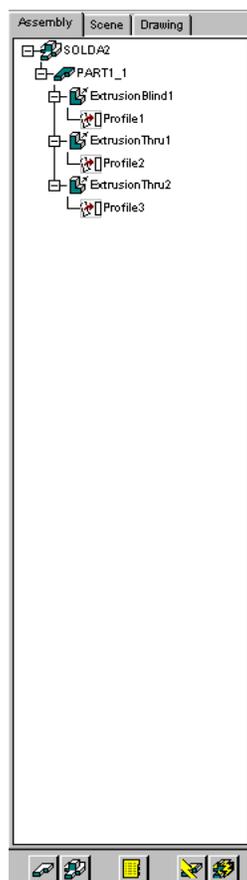


Figura 4.56 – Árvore de gerenciamento (*Browser*)

## 4.4 Modelagem sólida no SolidWorks

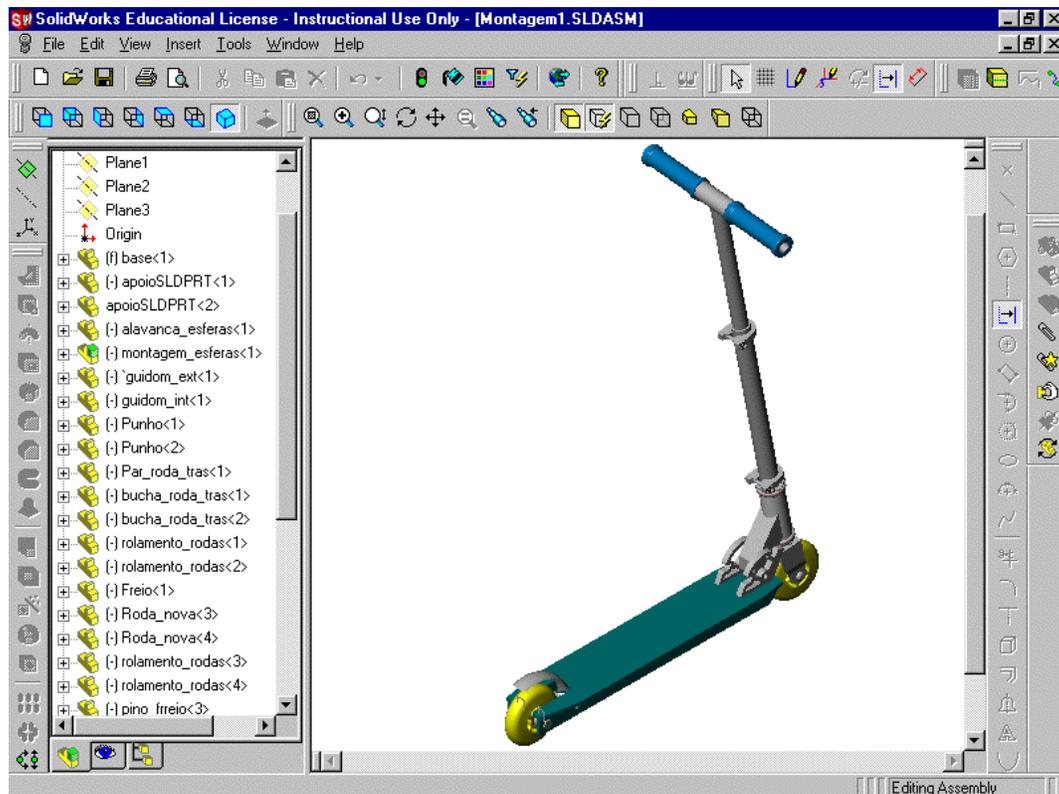


Figura 4.57 – Visualização do Patinete montado na Interface do SolidWorks

O *software* de automação de desenho mecânico, SolidWorks, é um modelador de sólidos, variacional e paramétrico baseado em *feature*, que tem a facilidade da interface gráfica do *windows*.

Quando você cria um modelo utilizando o *software* SolidWorks, você trabalha com *features* inteligentes e fáceis de compreender, tais como extrusões, cortes, furos, nervuras, arredondamentos, chanfros e ângulos de paredes. Quando as *features* são criadas elas são aplicadas diretamente no próprio modelo de trabalho. Estas *Features* podem ser do tipo *sketched* ou aplicadas.

- *Sketched features*: Baseada em geometria 2D. Geralmente um perfil que se transforma em sólido por algumas das operações: extrude, revolve, *sweeping* ou *lofting*.
- *Features* aplicadas: Criadas diretamente no modelo sólido. *Fillets* (arredondamentos) e chanfros são exemplos deste tipo de *feature*.

O SolidWorks mostra graficamente a estrutura de *features* de seu modelo em uma janela chamada *feature manager design tree*. *Feature manager* mostra não só a seqüência em que as *features* são criadas, mas dá a você acesso a todas as informações associadas.

Uma peça pode ser visualizada como uma coleção de diferentes *features*. Algumas como adição de material (*boss*), e outras como remoção (*hole*).

Cada *feature* terá o seu mapeamento correspondente na *Feature manager design tree*.

Barra de Ferramentas Standard do SolidWorks. Ver Fig. 4.58.



Figura 4.58 – Barra de ferramentas standard

#### 4.4.1 Comandos de Modelamento em 2D Sketch

- Line, Arc, Circle

O esboço é utilizado para criar a geometria em 2D.

Figuras em 2D tais como linhas, arcos e círculos podem ser criadas selecionando-se os respectivos ícones na barra de ferramentas sketch tools e

especificando os respectivos parâmetros necessários a cada um deles para sua completa determinação. Ver Fig. 4.59.

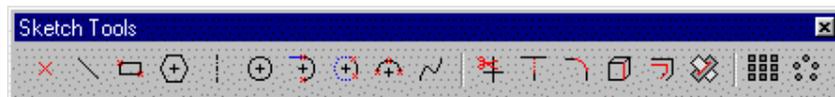


Figura 4.59 – Barra de ferramentas *sketch tools*

## 4.4.2 Comandos de parametrização

### 4.4.2.1 SolidWorks – modelador paramétrico com base em perfis

Restrições geométricas: São condições de geometria que podem ser impostas a um perfil, através da seleção do *sketch relations* que é o ícone formado pela símbolo de perpendicular.



Figura 4.60 – Barra de ferramentas *sketch relations*

A figura 4.61 mostra as relações geométricas existentes no SolidWorks

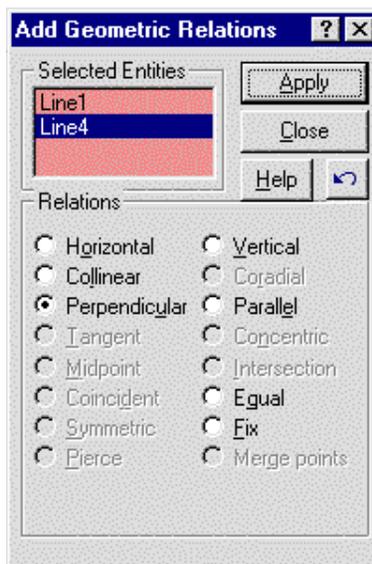


Figura 4.61 – Janela de ferramentas de adição de relações geométricas

As relações podem ser dimensionais, relações de esboços ou relações geométrica, onde estas são empregadas para possibilitar alterações

dimensionais do objeto após a sua execução em função de algum erro ou problema, relações geométricas entre elementos ou entre elementos e planos, eixos, ou vértices.

#### 4.4.3 Planos de construção

Estes planos são utilizados para possibilitar a execução dos esboços nas mais diversas posições facilitando com isto a construção dos sólidos mais complexos. Ver Fig. 4.62 e 4.63.



Figura 4.62 – Barra de ferramentas de referências geométricas

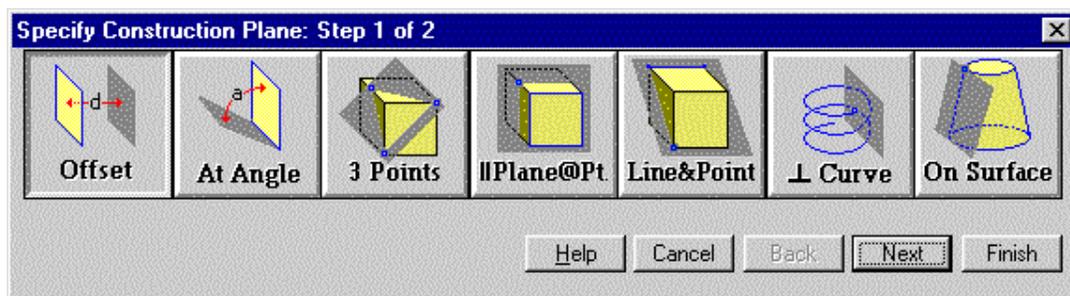


Figura 4.63 – Especificação dos planos de construção

#### 4.4.4 Comandos para criação dos sólidos (edição)

Os esboços podem ser transformados em perfis sólidos através da Extrusão, Revolução, *Sweep* e *Loft* tanto para peças sólidas quanto para obtenção de peças com partes vazadas.

A figura 4.64 mostra os ícones da maioria das *features*.



Figura 4.64 – Barra de ferramentas *features complet(customize)*

- EXTRUDE: Utilizado para obter sólidos de base ou qualquer outro após a definição do seu perfil e conseqüente extrusão. Ver Fig. 4.65.



Figura 4.65 – Barra de ferramentas *features*

- REVOLVE: Comando utilizado para criar um sólido de revolução a partir de sua seção em torno de um eixo.
- SWEEP: Comando usado para criar um sólido a partir de uma seção que percorre um caminho pré-definido.
- HELICOIDAL SWEEP: Para a construção de Hélices, Molas , Rôscas, Rotor e Fuso em 3D.
- LOFT: Comando utilizado para a construção de sólidos que contenham seções variáveis. Ver Fig. 4.66.



Figura 4.66 – Barra de ferramentas *features*

#### 4.4.5 Construção de *features*

- FUROS (HOLES): Utilizado para inserir furos de vários formatos na peça sólidas dependendo das suas características.
- FILLET: Para a obtenção de arredondamentos em perfis sólidos ou em suas intersecções.
- CHAMFER: Para a realização de chamfros em perfis 3D.
- DRAFT: Permite inclinar as faces de um modelo 3D.



#### 4.4.7 Feature manager design tree

Esta posicionado no lado esquerdo da tela do SolidWorks tendo como função mostrar todas as *Features* da Part ou Assembly ou seja mostra todo o histórico de construção do sólido, possibilitando modificar qualquer parte da peça que porventura tenha sido feita com alguma imperfeição. Ver Fig. 4.68.

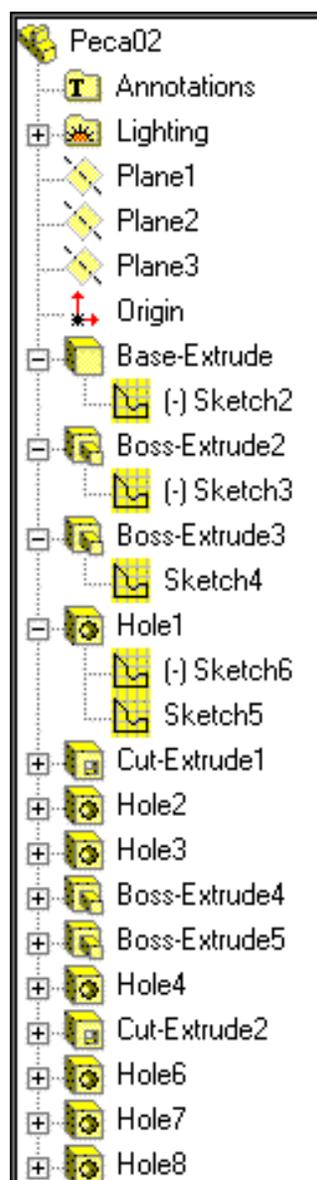


Figura 4.68 – Feature Manager Design Tree (Árvore de gerenciamento de perfis)

## Interface do software SolidWorks – ambiente Part

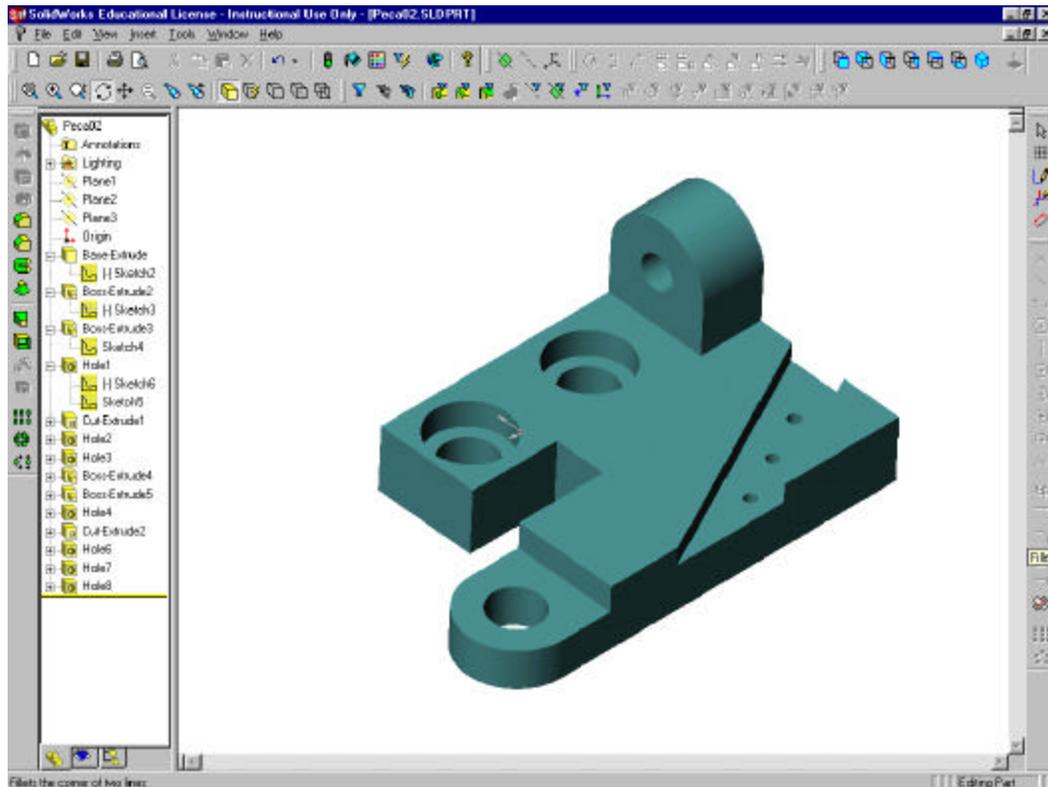


Figura 4.69 – Tela do SolidWorks com a representação de um modelo em perspectiva

O SolidWorks possibilita criar as projeções ortogonais, cortes, detalhes e cotas a partir de modelos sólidos construídos em 3D

## Interface do SolidWorks – ambiente Drawing

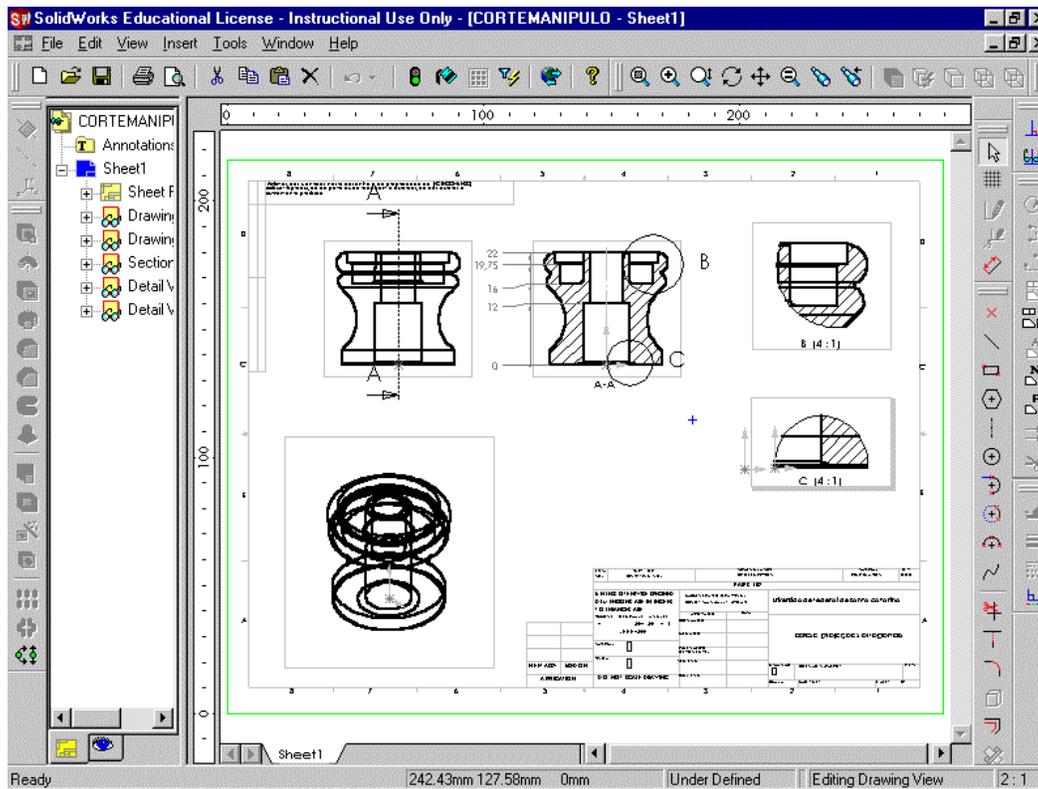


Figura 4.70 – Interface do ambiente Drawing. Representação bidimensional de um modelo



Figura 4.71 – Barra de ferramentas dos ícones de montagem (Assembly)

## Interface do SolidWorks – ambiente Assembly

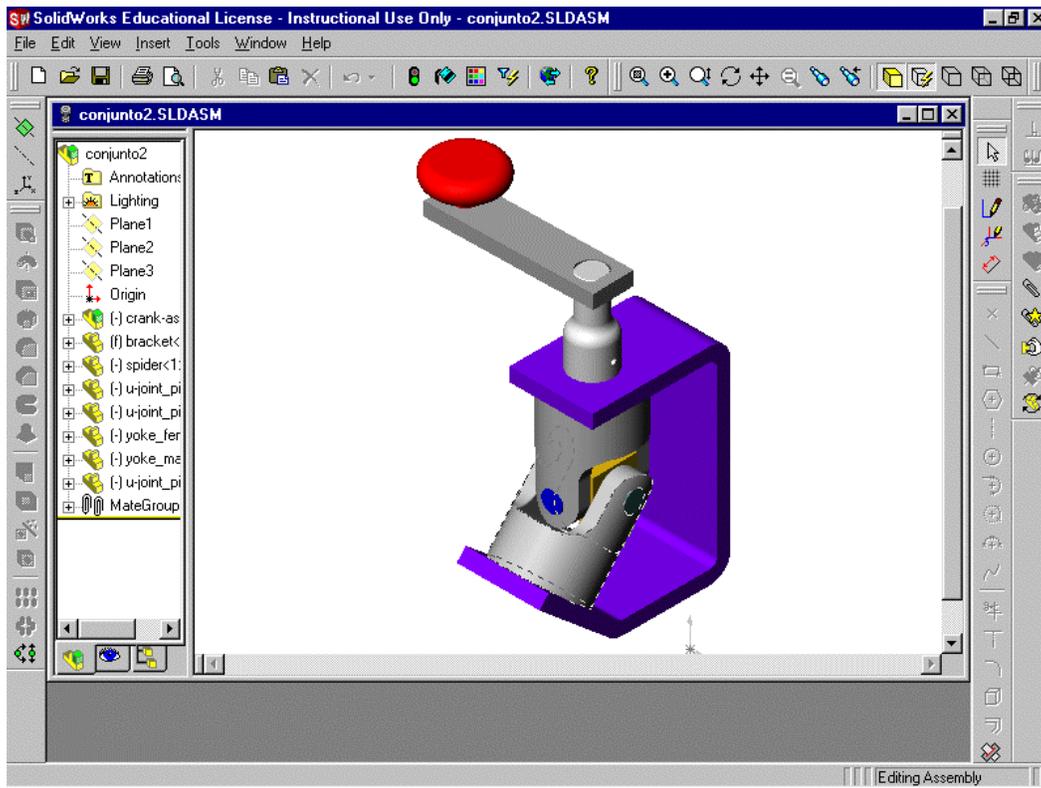


Figura 4.72 – Interface Assembly (montagem). Representação de um dispositivo em perspectiva

# **CAPÍTULO 5. FILOSOFIA DE MODELAGEM E AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE OS MODELADORES ESTUDADOS**

## **5.1 Introdução**

Neste capítulo apresentaremos a filosofia de modelagem sólida dos programas que foram avaliados e posteriormente apresentaremos uma avaliação comparativa dos mesmos.

## **5.2 Filosofia de modelagem no AutoCAD**

### **5.2.1 Filosofia de modelagem sólida no AutoCAD**

Os três principais métodos de modelagem no AutoCAD são: Thickness (Espessura), Facades (Fachadas) e Solids (Sólidos).

#### **5.2.1.1 *Thickness***

*Thickness* (Espessura) é um método de simulação de *Meshes* (Malhas) no AutoCAD. Consiste em atribuir uma espessura aos elementos gráficos representados em 2D, como uma linha, por exemplo. A vantagem de utilizar este método ao invés de malhas é poder alterá-las rápida e facilmente alternando a propriedade do objeto.

O *Thickness* (Espessura) de um objeto é a distância que ele é extrudado para baixo ou para cima em relação ao plano XY. Valores positivos extrudam para cima (valor de Z positivo), valores negativos extrudam para baixo (valor de Z negativo) e valor 0 (zero) significa que não há extrusão.

### 5.2.1.2 Facades

Uma das formas mais fáceis de modelar um objeto em 3D no AutoCAD é criar faces tridimensionais a partir das vistas em 2D e, então, montá-las em 3D. Na verdade, este processo é uma variação do método de modelagem com sólidos, porém é conceitualmente muito diferente.

### 5.2.1.3 Solids

O modelador de sólidos do AutoCAD utiliza a tecnologia da *Spatial Technology Inc.*, que é adotado pelos principais programas de CAD em 3D no mundo.

A modelagem com sólidos descreve não somente a parte externa, mas também seu interior, portanto há vários parâmetros disponíveis sobre o objeto, como volume, centro de inércia e outros que geralmente são muito úteis em projetos mecânicos de engenharia.

As ferramentas de modelagem de sólidos no AutoCAD são baseadas em operações booleanas, o que significa que para criar um modelo, você cria um sólido com o uso de formas primitivas ou pela extrusão de formas e então, faz-se a união ou subtração de outros sólidos para modelar sua peça (Bugay, 1999).

## 5.2.2 Primitivas

O AutoCAD permite a criação dos seguintes sólidos primitivos básicos: Paralelepípedo (*box*), esfera, cilindro com base circular e elíptica, cone de base circular ou elíptica, cunha e toróide.

### 5.2.3 Operações de construção

O processo de construção dos sólidos 3D no AutoCAD parte geralmente de suas primitivas e também da associação das mesmas através das booleans com as demais formas possíveis existentes, para a construção de peças de engenharia.

#### 5.2.3.1 Criação de sólidos por extrusão

A criação de alguns destes sólidos podem ser obtidos também pela extrusão de objetos em 2D. Pode-se ainda, extrudar um objeto ao longo de um caminho ou especificar um valor de altura seguido de um ângulo de afilamento.

Podemos aplicar o comando *Extrude* as seguintes entidades gráficas: polilinhas, polígonos, retângulos, círculos, elipses, splines fechadas e regiões. Não podemos extrudar objetos com partes que se cruzem ou abertos.

Quando o objeto a ser extrudado é uma combinação de seguimentos de reta e/ou arcos de circunferência, os mesmos devem ser transformados previamente em uma polilinha (*Pedit*) ou em uma região (*Region*).

#### 5.2.3.2 Criação de sólidos por revolução

Esta técnica consiste em rotacionar um perfil (figura geométrica) em torno de um eixo, gerando assim, um sólido. A rotação pode ser total (360 graus) ou parcial (menor que 360 graus). O eixo pode ser definido por dois pontos do próprio contorno do objeto, sobre o eixo X e Y do UCS atual ou por uma reta previamente desenhada.

Podemos aplicar o comando *Revolve* aos seguintes objetos: polilinhas, polígonos, retângulos, círculos, elipses, splines fechadas e regiões. Não podemos revolucionar objetos com partes que se cruzem ou que sejam abertos.

### 5.2.3.3 Criação de sólidos compostos

Os sólidos compostos são resultado de operações booleanas de união, subtração e interseção.

- UNIÃO (*union*) – Possibilita a união de dois ou mais sólidos ou regiões planas para formar um único objeto. É possível também unir sólidos ou regiões planas que não se interceptam, ou seja, que não contém partes em comum.
- SUBTRAÇÃO (*subtract*) – Possibilita a criação de sólidos ou regiões resultado da subtração de diversos sólidos ou regiões de um outro grupo considerado principal ou fonte. Num primeiro momento devem ser selecionados os sólidos principais e posteriormente os que serão subtraídos.
- INTERSEÇÃO (*intersection*) – Possibilita a criação de um sólido único com a parte comum de dois ou mais sólidos que apresentam partes em comum.

### 5.2.4 Operação de edição de sólidos

Sólidos ou regiões criados no AutoCAD podem ser modificados com os seguintes comandos de edição: *Interfere*, *Chamfer*, *Fillet*, *Slice*, *Section* e demais comandos de edição usados em 2D.

- INTERFERE – Possibilita a interseção entre dois ou mais sólidos, criando um outro sólido que é o resultado da interseção entre os anteriores.

- CHAMFER – Cria uma primitiva denominada chanfro ou bisel na aresta ou arestas que forem selecionadas.
- FILLET – Possibilita a criação de arredondamentos na interseção de duas superfícies de um sólido geométrico.
- SLICE – Permite o corte de um sólido ou de um conjunto deles ao longo de um plano secante especificado.
- SECTION – Gera uma região 2D tomando como referência um plano secante que corta um sólido 3D.

### 5.2.5 Visualização de objetos em 3D

É possível visualizar os sólidos em 3D a partir de qualquer ponto de vista no espaço tridimensional, além de ser possível também, obter-se simultaneamente na tela várias janelas ( até 16 ) para verificação de partes do sólido ou de vários pontos de visualização, a partir do comando “*viewports* – portas de visualização” ( Comando *Vpoint*).

Outra maneira de controlar a visualização que o AutoCAD oferece e através do comando *DVIEW* que possibilita também a determinação de uma visualização a partir de qualquer ponto do espaço em 3D possibilitando entre outras opções a obtenção de perspectivas cônicas. (Romeu, 1998)

### 5.2.6 Conclusões sobre o modelamento no AutoCAD

Todo o processo criativo do homem se desenvolve no espaço tridimensional. Quando necessitamos passar nossas idéias adiante, fazemos uso de uma técnica de representação. Desde o início dos tempos, o homem tem usado basicamente dois métodos para representar suas idéias de modo

que outras pessoas pudessem compreendê-las: através de esculturas ou demais processos de modelamento (modelos físicos etc.) ou através de desenhos (em perspectiva e vistas ortogonais).

Se considerarmos a necessidade de uma representação bidimensional daquilo que concebemos tridimensionalmente em nossa mente, temos um processo de codificação (desenho 2D) e decodificação (assimilação do modelo 3D com base no desenho 2D). Não podemos descartar a possibilidade de erros tanto por quem desenha como por parte de quem o interpreta. Considerando isto, seria preferível criar desenhos 3D que são uma espécie de modelo eletrônico daquilo que se quer produzir.

Com o desenvolvimento dos sistemas de CAD e a acessibilidade dos hardwares mais eficientes, o processo de modelagem 3D foi conquistando seu espaço. A produção de modelos físicos e maquetes foi dando lugar ao modelamento em CAD com alto grau de interatividade, precisão e acabamento realista, como podemos observar nas maquetes eletrônicas amplamente difundidas na arquitetura.

Neste contexto, o AutoCAD permite o modelamento tridimensional fazendo uso de superfícies e sólidos ou ainda usando seguimentos de reta, arcos, circunferências e outros elementos para a montagem de um modelo aramado (Wireframe).

O modelador sólido do AutoCAD é capaz de gerar sólidos por extrusão, por revolução, por operações booleanas (adição, subtração e interseção) além de permitir corte, arredondamento e chanframento. Trata-se do tipo de modelamento mais importante e mais usado em 3D. (Gesser, 1998).

### 5.3 Filosofia de modelagem sólida no Mechanical Desktop

O modelamento sólido paramétrico do Mechanical Desktop se baseia na criação de um sólido de base (*Feature* de base) e na adição e remoção de material. A *Feature* de base pode ser obtida por extrusão, revolução, *sweep* e *loft* (transição de perfis). Os elementos (*Features*) seguintes tais como furos, arredondamentos, chanfros, subtrações, adições, *arrays* e outros são gerados para completar o modelo.

O termo paramétrico deve ser entendido como dimensionamento e quantificação variacional. Ao invés de atribuir um valor fixo em milímetros a um raio, por exemplo, o sistema usa uma variável que pode ter o seu valor modificado sempre que for conveniente. Como as partes adjacentes do modelo dependem do valor do raio, quando você muda o seu valor, a variável é atualizada em todas as equações paramétricas que definem aquela região do modelo.

O termo *feature* deve ser entendido como “entidade com características próprias que afetam ou determinam uma parte do modelo”. Um exemplo comum de *feature* é o *fillet*. A *feature fillet* produz um arredondamento e tem forma e dimensões controláveis.

As *features* no Mechanical Desktop (MDT) são paramétricas e podem ser modificadas sempre que for necessário. Por exemplo: A *feature hole* (furo) pode ter sua forma, dimensões e localização atualizadas. (Gesser, 1999)

A partir de seus recursos, um único atributo em um projeto vai gerar alterações em várias vistas de forma consistente e até em outras peças correlatas em um mecanismo complexo, produzindo vistas isométricas automaticamente. As ferramentas de desenho associativo facilitam o exame de projetos intrincados, com inúmeras junções de diferentes peças com elevado grau de detalhe, fornecendo uma noção precisa do interior da máquina ou

equipamento. O Mechanical Desktop 3.0 também apresenta recursos como o *Desktop Browser*, que permite a edição separada de elementos. Por exemplo, pode-se tirar uma pequena engrenagem de uma máquina, editar suas características a parte e, em seguida, colocá-la de novo no projeto com as alterações promovidas.

Este *software* é uma plataforma de desenvolvimento em cima da qual podem rodar aplicações de parceiros da Autodesk. Ao incorporar ferramentas de simulação de movimento, análise estrutural e outros recursos ao Mechanical Desktop, é possível gerar, com rapidez e fidelidade, modelos virtuais que ajudam na correção de erros antes da montagem de protótipos físicos de máquinas e equipamentos. Outra vantagem do Mechanical Desktop é que as empresas podem designar características para peças ou para mecanismos inteiros tais como preço, quantidade disponível, materiais utilizados e outros atributos, inserindo o Mechanical Desktop dentro de estruturas de gerenciamento corporativo.(Fonte: Revista CADware Ano 3 – Nov/Dez 1998 – Numero 10).

### 5.3.1 Primitivas

O Mechanical Desktop não possui primitivas como as que existem no AutoCAD, tendo em vista que aquele parte de formas bidimensionais (*sketch*) para criação dos sólidos de base em 3D através dos comandos *extrude*, *revolve*, *sweep* e *loft*.

### 5.3.2 Operações de construção e edição

- **ESBOÇO** – Num primeiro momento é realizado o esboço que servirá como base para toda a criação da peça utilizando-se os recursos convencionais de desenho comum ao AutoCAD que são: *line*, *circle*, *rectangle*, *polygon*, *fillet*, *trim*, etc. Durante o esboçamento não precisamos definir dimensões ou desenhar com precisão linhas

verticais e horizontais. Neste processo preliminar o que importa é desenhar um perfil que mais tarde será dimensionado e refinado geometricamente.

Após a realização do esboço com as características aproximadas exigidas pelo perfil de base faz-se a conversão do mesmo em *sketch*, neste momento o perfil (e/ou caminho) passa a ter geometria paramétrica.

A modelagem sólida paramétrica possibilita que se crie modelos de produtos com dimensões variacionais.

Posteriormente a conversão em *sketch* são aplicadas as restrições geométricas que tem a função de definir com precisão o perfil ou estabelecer relações entre a geometria. Estas restrições geométricas podem ser aplicadas somente após a utilização do comando *profile sketch*.

As restrições geométricas tem a seguinte finalidade com relação a forma geométrica dos perfis:

- Definir elementos tangentes;
- Estabelecer concentricidade;
- Definir retas colineares;
- Definir o mesmo valor de X para o centro de arcos;
- Definir o mesmo valor de Y para o centro de arcos;
- Atribuir o mesmo raio;
- Definir componentes iguais, etc.

Aplicando restrições dimensionais depois de resolvido o *Profile* por meio de restrições geométricas, temos de acertá-lo dimensionalmente.

Restrições dimensionais possibilitam que sejam colocadas e acrescentadas medidas no nosso projeto, podendo ser comprimentos, larguras, raios, ângulos.

No refinamento de perfis complexos, várias restrições e dimensões são necessárias.

Em alguns casos necessitamos de linhas de construção para melhor definir o *Sketch*.

Em outra aplicação da geometria construtiva é a definição do eixo de revolução sólida de peças vazadas.

Nesta etapa podemos criar o sólido base com a utilização de comandos de construção como o *extrude*, *revolve*, *sweep*, *helicoidal sweep* e *loft* bem como a edição dos mesmos através das alterações das dimensões do *i*, altura de extrusão, ângulos de inclinação, etc.

Para finalizar, em função do formato da peça podemos adicionar e editar novas *features* como: *holes* (furos), *shell* (casca), *chamfer*, *face draft*, *fillet*, *array*, *extrude*, *features auxiliares*, *mirror*, *join*, *intersect*, *cut*, etc. (Fonte: Apostila da Raihsa – Recursos de Automação Industrial Caxias do Sul – RS – Número 1, 1999).

## 5.4 Filosofia de modelagem do SolidWorks

As dimensões e relacionamentos geométricos utilizados para criar uma *feature* são capturadas e armazenadas no modelo. Isto permite que você além de capturar as inferências geométricas, permite executar rápidas e fáceis mudanças no modelo.

Parâmetros – São dimensões usadas na criação da *feature*. Eles incluem dimensões associadas com a geometria do *sketch*, assim associadas às próprias *features*. Um simples exemplo disto, seria uma *feature* como um cilindro. O diâmetro do cilindro é controlado pelo diâmetro do círculo feito no

*sketch*. A altura do cilindro é controlada pela profundidade em que o cilindro foi extrudado quando a *feature* foi criada.

Relações – Incluem informações como paralelismo, tangência, e concentricidade. Por capturar isto no próprio *sketch*, o SolidWorks permite você restringir completamente seu modelo.

- Associatividade Completa

Um modelo SolidWorks é completamente associativo no detalhamento e na montagem em que estejam referenciados. Mudanças no modelo são automaticamente refletidas no detalhamento e montagens. Da mesma forma, você pode executar mudanças no detalhamento ou montagens e, as mesmas serem refletidas de volta ao modelo.

- Intenção do Design

É o planejamento do comportamento do modelo quando modificado. Por exemplo, se você modela um prisma e faz um furo, o furo deverá ser movido quando o prisma for movido. Da mesma forma, se você modelar 6 (seis) furos distribuídos de maneira circular e igualmente espaçados, o ângulo entre eles deve mudar automaticamente se o número de furos for mudado para 8 (oito). As técnicas usadas para criar o modelo determina a intenção de design.

- Pré-selecionar ou não?

Como regra, o sistema SolidWorks não requer que você pré-selecione objetos antes de abrir um menu ou caixa de diálogo. Por exemplo, se você adicionar alguns *fillets* às arestas do modelo, você tem completa liberdade – você pode selecionar, primeiro as arestas e depois abrir a caixa de diálogo do comando *fillet* ou, o contrário. A escolha é do usuário.

### 5.4.1 Primitivas

O Mechanical Desktop não possui primitivas como as que existem no AutoCAD, tendo em vista que aquela parte de formas bidimensionais (*sketch*) para criação dos sólidos de base em 3D através dos comandos *extrude*, *revolve*, *sweep* e *loft*.

### 5.4.2 Operações de construção e edição

ESBOÇO – Num primeiro momento devemos selecionar um plano de referência ou uma superfície da peça a seguir é realizado o esboço (*sketch*) que servirá como base para toda a criação da peça utilizando-se os recursos convencionais de desenho em 2D que são: *line*, *circle*, *rectangle*, *polygon*, *fillet*, *trim*, etc.

Durante o esboçamento não precisamos definir dimensões ou desenhar com precisão linhas verticais e horizontais. Neste processo preliminar o que importa é desenhar um perfil que mais tarde será dimensionado e refinado geometricamente se houver necessidade.

Após a realização do esboço com as características aproximadas exigidas pelo perfil de base não há necessidade de realizarmos a conversão do mesmo em *sketch*, ele passa automaticamente a ter uma geometria paramétrica.

A modelagem sólida paramétrica possibilita que se crie modelos de produtos com dimensões variacionais.

Posteriormente são aplicadas as restrições geométricas que tem a função de definir com precisão o perfil ou estabelecer relações entre a geometria.

As restrições geométricas tem a seguinte finalidade com relação a forma geométrica dos perfis:

- Definir elementos tangentes;
- Estabelecer concentricidade;
- Definir retas colineares;
- Definir o mesmo valor de X para o centro de arcos;
- Definir o mesmo valor de Y para o centro de arcos;
- Atribuir o mesmo raio;
- Definir componentes iguais, etc.

Aplicando restrições dimensionais depois de resolvido o *Profile* por meio de restrições geométricas, temos de acertá-lo dimensionalmente.

Restrições dimensionais possibilitam que sejam colocadas e acrescentadas medidas no projeto, tais como: comprimentos, larguras, raios, ângulos.

No refinamento de perfis complexos, várias restrições e dimensões são necessárias.

Nesta etapa podemos criar o sólido base com a utilização de comandos de construção como o *extrude*, *revolve*, *sweep*, *loft* bem como a edição dos mesmos através das alterações das dimensões do *sketch*, altura de extrusão, ângulos de inclinação, etc.

Para finalizar, em função do formato da peça podemos adicionar e editar novas *features* como: *holes* (furos), *shell* (casca), *chamfer*, *draft*, *fillet/round*, *array*, *rib*, *dome*, *linear pattern*, *mirror feature*, *mirror all*, etc.

## 5.5 Avaliação comparativa entre os modeladores estudados

A metodologia utilizada para avaliar os 3 (três) *softwares* baseou-se nos seguintes parâmetros:

- Acesso aos comandos e recursos;
- O número de cliques para realizar um determinado procedimento;
- A interface que apresenta maior facilidade de trabalho;
- O método da visualização;
- Os planos de trabalho (coordenadas);
- Processo de dimensionamento;
- A obtenção das propriedades de engenharia bem como as ferramentas de renderização;
- Facilidades de obtenção das representações bidimensionais detalhadas e a apresentação final do modelo;
- Filosofia de trabalho;
- Facilidade de gerenciamento da peça após sua construção;
- Operacionalização.

Deve ficar claro que foram avaliados fundamentalmente 2 (duas) ferramentas do AutoCAD (*extrude* e *revolve*) e 4 (quatro) ferramentas dos *software* MDT e SW (*extrude*, *revolve*, *sweep*, *loft* (estes últimos não disponíveis no AutoCAD)) recursos responsáveis pela construção e representação gráfica da grande maioria dos modelos sólidos que fazem parte do cotidiano de um designer, projetista, engenheiro etc.

Para este estudo foi desenvolvido um conjunto mecânico bem como uma grande diversidade de peças no que diz respeito a suas características geométricas e um patinete utilizando os três programas. Os resultados da modelagem estão mostrados nos anexos.

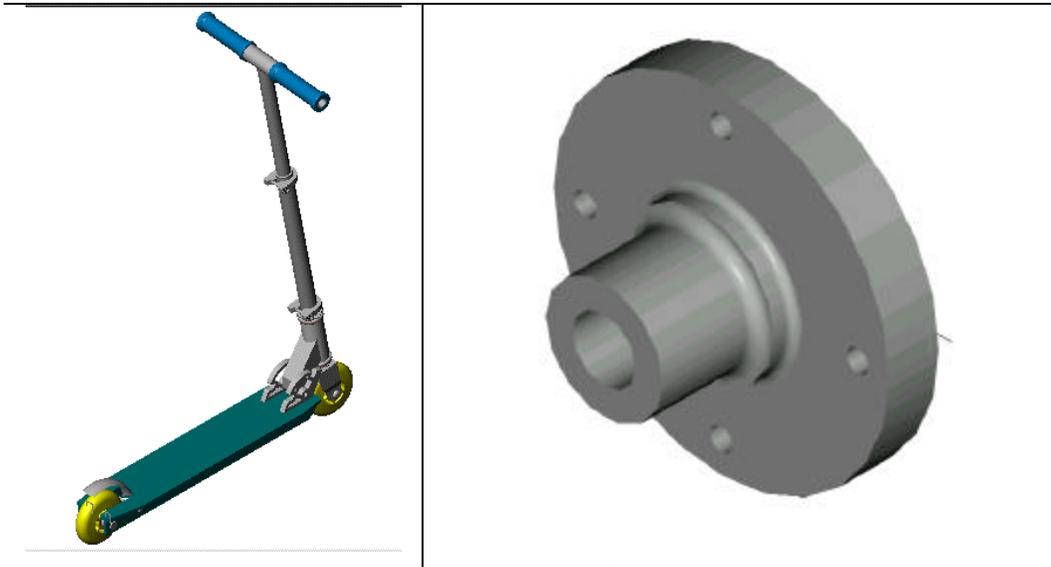


Figura 5.1 – Patinete e peça n<sup>o</sup> 2 do conjunto

### 5.5.1 Análise da modelagem sólida no AutoCAD

O sistema de modelagem do AutoCAD baseia-se na Geometria Sólida Construtiva (CSG). Os sólidos são modelados a partir de primitivas geométricas simples como: caixas (cubos e paralelepípedos), cones, cilindros, esferas etc., e as operações *booleanas* de união, subtração e interseção que se realiza com estas primitivas para obtenção do sólido final.

Além das operações descritas anteriormente pode-se construir sólidos a partir de perfis desenhados com *polilines* fechadas em 2D e posteriormente utilizar-se os comandos *extrude*, *revolve*, *slice* etc. e na seqüência os comandos de edição de sólidos associados as *booleanas* para construir peças com base nas suas características geométricas.

Até a versão 12 com o AME incorporado o AutoCAD possibilitava armazenar na árvore de gerenciamento de construção todos os passos utilizados do início ao fim do sólido construído, permitindo a alteração eventual por alguma mudança na forma e dimensão do mesmo.

Nas versões atuais o AutoCAD somente armazena todos os comandos em forma de texto que foram utilizados do início ao fim do processo construtivo do modelo, impossibilitando qualquer alteração do mesmo após completada a peça, essa restrição é considerada uma desvantagem se comparamos os modeladores sólidos paramétricos dos *softwares* MDT e SW.

O autoCAD permite no entanto, a obtenção do volume de um sólido, propriedades de massa, centro de gravidade , momento de inércia, no entanto não acusa qualquer problema referente a interferências existentes entre partes do modelo sólido e entre conjunto de peças que fazem parte de um dispositivo ou equipamento.

No AutoCAD a seqüência estrutural dos passos realizados em cada comando é listada gradativamente em uma tela de texto que fica sobreposta pela tela gráfica e pode ser armazenada e conseqüentemente impressa.

Todo esse processo foi impresso mostrando os passos para construir a peça que serviu como exemplo (ver anexos).

Para demonstrar que o AutoCAD exige maior número de comandos para realização da peça escolhida para fazer o processo comparativo foi utilizado o comando revolve como base para construção desta, mas mesmo assim ela exigiu um número maior de cliques para ser completada.

Resumindo, podemos dizer que:

- No AutoCAD utilizamos sólidos primitivos como elementos de base;
- No AutoCAD as peças podem ser moldadas por adição, subtração e intersecção a um sólido de base;
- No AutoCAD não é possível realizar edições em um sólido após sua construção, ou seja, o programa não nos permite flexibilidade;

- O AutoCAD não possui uma ferramenta de gerenciamento de todo o processo construtivo de peça, portanto, não permite alterar uma dimensão de uma peça e reconstruí-la.

### 5.5.2 Análise da modelagem sólida no Mechanical Desktop

Na modelagem sólida realizada através do MDT, o modelamento de uma peça é obtido por adição de componentes a partir de um sólido de base, este sólido de base é construído a partir de perfis em 2D fechados, convertidos com o comando *profile a sketch*, utilizando-se o comando *constraints* e aplicadas as devidas restrições geométricas e as respectivas dimensões parametrizando os perfis criados, se for preciso alterar dimensionalmente suas características geométricas, é possível fazê-lo.

Componentes podem ser adicionados ou subtraídos num processo semelhante a manufatura de uma peça com furos, nervuras, arredondamentos, chanfros, fendas (ranhuras), cavidades etc.

O material pode ser acrescentado ou subtraído, similar ao CSG.

Estes componentes não são limitados a primitivas simples e podem ser criados por *extrude* (extrusão), *revolve* (revolução), *sweep* (varredura), e *loft* (varredura por variação de seções).

No final do processo uma árvore denominada *desktop browser* com todos os componentes é criada, similar a árvore esquemática CSG *booleana*.

As ferramentas usadas para criar estes componentes partem do princípio de que uma geometria que é definida por um esboço do perfil em 2D sobre um plano, o perfil pode ser convertido em 3D por extrusão, revolução, varredura e por variação de seções, estas operações podem acrescentar ou retirar material, além destes recursos, existem ferramentas que permitem a

representação do: *fillet* (arredondamento), *chamfer* (chanfro), *shell* (casca) e *hole* (furo) bem como também criar *rib* (reforço) no sólido se necessário.

Os componentes são criados na tela gráfica e automaticamente na árvore de gerenciamento histórico do modelo ou *browser*, assim podem ser acrescentados e deletados bem como re-ordenados.

As dimensões dos perfis de base podem ser mudadas assim como os parâmetros destes componentes (Ex. altura e ângulo de extrusão, ângulo de varredura no comando *revolve*, espessura de parede de uma peça oca, mudança de seção e do caminho de uma peça construída por *sweep* ou *loft*).

A maioria dos modeladores de componentes de base mostra os componentes em sua ordem em um esquema gráfico em forma de árvore, o que não é diferente com o MDT e o SW, estes esquemas tem diferentes nomes, dependendo do *software*, no MDT é chamado *browser* e no SW é chamado *feature manager design tree*.

Resumindo podemos dizer que:

- O MDT usa modelagem baseada em componentes (*features*) que permite uma maior flexibilidade no modelamento de peças;
- No MDT as peças podem ser modeladas por adição de componentes a um sólido de base;
- No MDT os componentes podem ser facilmente adicionados, deletados e modificados.

### **5.5.3 Análise da modelagem sólida no SolidWorks**

No SW os passos para criação dos modelos seguem praticamente a mesma filosofia do MDT salvo por algumas facilidades já comentadas nos anexos com relação aos planos e superfícies de trabalho, a conversão dos perfis em *sketchs*, as restrições geométricas e o dimensionamento que são

mais fáceis de utilização no SW, assim como as caixas de diálogo com suas ferramentas que possuem uma melhor interface no que diz respeito a precisão do que se quer transmitir e a sua capacidade de ser interpretada corretamente.

- O SW usa modelagem baseados em componentes (*features*) que permitem uma maior flexibilidade no modelamento de peças;
- No SW as peças podem ser modeladas por adição de componentes a um sólido de base;
- No SW os componentes podem ser facilmente adicionados, deletados e modificados;
- O SW possui uma ferramenta de gerenciamento que possibilitam a qualquer momento editar a peça.

## **5.6 Avaliações e considerações sobre a modelagem sólida no AutoCAD, Mechanical Desktop e SolidWorks**

Ao iniciar um desenho no MDT é necessário um plano de referência ou de trabalho como procedimento inicial. No SW não é necessário, pois neste são facilmente selecionados os planos vertical, horizontal e de perfil que no início do desenho já fazem parte da árvore de gerenciamento.

Temos que transformar o perfil 2D em um *profile* procedimento que no SW é desnecessário, pois as entidades à medida que são traçadas são automaticamente convertidas em paramétricas, complementadas com as restrições geométricas que facilitam a construção destes perfis em função de suas características utilizadas no SW, serem mais simples.

O processo de cotagem e suas respectivas alterações no MDT é muito mais demorado que o SW pois exige um maior número de cliques para chegar ao mesmo resultado.

Após a representação dos perfis para execução os comandos *extrude*, *revolve*, *sweep* e *loft* no MDT abrimos as caixas referentes a estes comandos cujas interfaces não são muito ergonômicas, de forma que quem o está utilizando não vê o que ocorre com os comandos a medida que são especificados os seus parâmetros, enquanto que no SW quando são atribuídos parâmetros para estes comandos de construção, o sólido se apresenta em perspectiva mostrando a caixa de diálogo dos comandos onde, a medida que o usuário atribui qualquer valor, imediatamente aparece o resultado na tela gráfica.

Na caixa de comandos *extrude* no MDT após a definição dos valores de extrusão e do ângulo de inclinação, aparece ainda uma seta indicativa da direção de extrusão o que torna este processo muito mais demorado do que no SW, já que neste é só ativar a direção reversa para alterar o sentido da extrusão.

Na definição de novos planos de trabalho no MDT pode-se selecionar uma face do sólido e só depois verificamos a direção dos eixos X, Y e Z, o que solicita um maior número de cliques dentro deste comando para realizar a operação, se comparada com o SW que ao selecionarmos uma superfície ela se torna ativa (com cor verde). Podemos ainda, ativar ícones de visualização com relação as vistas laterais esquerda, direita, de frente, de traz, de cima, de baixo como também em perspectiva e *normal to* ( perpendicular) a face que estamos selecionando, o que torna mais fácil de executar os passos subsequentes.

A criação dos sólidos de base no SW e no MDT a partir dos comandos *Extrude*, *Revolve*, *Sweep* e *Loft* possuem uma filosofia de construção muito parecida. No entanto, como foi detalhado anteriormente, o SW necessita de um menor número de cliques para atingir o mesmo resultado, em virtude de que nos detalhes, é mais fácil de ser operacionalizado em função de sua interface gráfica ser ergonomicamente mais limpa, área de trabalho, bem como, seu

gerenciamento no que diz respeito aos ícones referentes aos respectivos comandos, por propiciarem uma decodificação mais fácil de ser interpretada.

Na criação de novas *features*, os dois *softwares* paramétricos possuem comandos muito semelhantes no aspecto de necessidade dos sólidos principalmente na área de engenharia mecânica que são *hole* (furos), *shell* (casca), *chamfer* (chanfros), *fillet* (arredondamentos), *mirror* (espelhamento), *linear patern* (matriz linear) e *circular patern* (matriz angular). No SW estes comandos são substituídos pelo *array retangular* e *polar*, entretanto novamente nos pequenos detalhes exigidos para realização destes comandos, existe uma maior facilidade com relação ao uso das caixas de diálogo do SW, pois as mesmas são ergonomicamente melhores no aspecto de visualização e mais fáceis de serem interpretadas.

Tanto o MTD como o SW possuem uma árvore de gerenciamento que contém os passos do princípio ao fim do modelamento da peça, o que permite editar, deletar e alterar a posição de determinado comando da seqüência por qualquer motivo, que possa melhorar o processo construtivo do modelo.

No SW existe a possibilidade de usar o *rollback bar*, que é uma barra de rolagem do *feature manager design tree* (árvore de gerenciamento do modelo), que a medida que vamos elevando esta barra, aparece automaticamente na tela gráfica o passo anterior da construção deste sólido, isto é, a desconstrução do modelo.

No MDT existe um comando chamado *feature replay* que permite mostrar, passo a passo, todo o processo construtivo da peça em forma de slides do princípio ao fim.

Analisando detalhadamente as árvores de gerenciamento dos dois *softwares*, verificamos que no SW a interface para alterar cotas ou valores de extrusão, ângulos e formas dos perfis ou suas características, são mais simples de serem efetuadas.

No quesito apresentação, final do modelo que refere-se a aplicação de texturas sobre as superfícies das peças construídas, o SW possui um programa anexo chamado *PhotoWorks* que permite criar texturas, grau de transparência entre peças de um conjunto, um recurso a mais do MDT.

Os dois *softwares* (SW e MDT), permitem após a construção das peças em arquivos individuais, realizar a montagem das mesmas em conjunto verificando se existe algum problema de interferência e executando pequenas animações. Estes dois *softwares* permitem também, a obtenção de projeções ortogonais das peças bem como cortes e perspectivas.

Resumindo, podemos afirmar que a interface gráfica do SW é mais acessível ao usuário nos comandos correlatos, caixas de diálogos, especificações, do que cada comando fundamental da modelagem MDT, que pode efetuar indicação de valores e indicação de mensagens quanto a eventuais valores impróprios àaquele comando específico.

O MDT possui uma ferramenta muito útil quanto a construção dos perfis em 2D, alertando o momento que a mesma se encontra totalmente definida (*solved fully constrained sketch*).

No SW esta mensagem é definida pela cor das linhas dos perfis azul (sub-definida), preta (definida), vermelha (sobre-definida) e amarela, indica que existe algum elemento incompatível.

O número de cliques pode ser considerado um aspecto importante, pois ele é um dos parâmetros que mede a performance de um *software*, tendo em vista que, quanto menor o número de comandos e conseqüentemente cliques para efetuar uma mesma operação numa modelagem, pode ajudar a definir qual dos programas é mais versátil no aspecto de rendimento real.

Como observação, podemos relatar por experiência própria e nestes dez anos lecionando e realizando cursos na área de CAD, que a facilidade no uso de um *software* gráfico ocorre em função da rapidez com que se consegue realizar uma característica do modelo sólido ou uma tarefa, promovendo uma motivação maior no estudante ou usuário, pois se o mesmo encontrar muita dificuldade no desenvolvimento do processo de modelagem, isto fará com que ele desanime e não se interesse pelo *software*.

Neste aspecto o SW é mais versátil do que o AutoCAD e o MDT tendo em vista que os dois *software* da Autodesk possuem uma interface muito semelhante com que diz respeito a construção dos perfis em 2D, que são a base para a modelagem sólida e que é muito facilitado na interface do SW.

Um outro procedimento para a construção da peça escolhida do conjunto para servir de parâmetro na avaliação, seria a construção da mesma usando o perfil com possibilidades de realização do comando *revolve* tanto no MDT quanto no SW, já que, para a inclusão dos furos e rebaxos o processo continuará sendo o mesmo, pois esse, já faz parte das explicações.

No MDT é feito o *sketch* de base, transforma-se o mesmo em *profile* e aplica-se as restrições geométricas para a posterior cotagem, inclui-se uma linha de construção (*construction line*) que neste *software* é solicitada para aplicação deste comando.

No SW o processo requer a construção do *sketch* e o traçado da linha de centro (*centerline*) com as respectivas cotas e o perfil, assim o perfil estará pronto para ser revolucionado.

Em todo o processo construtivo do desenho auxiliado por computador utilizando-se o *software* AutoCAD, existe uma preocupação com a precisão no traçado, tendo em vista que no momento da impressão aparecerá todas as imperfeições do desenho, se esta preocupação não existir.

Como exposto anteriormente e lembrando que o AutoCAD foi desenvolvido para desenhos de precisão e para a área de desenho técnico mecânico, fica clara a filosofia do *software* e que é considerada uma dificuldade, se comparada com as interfaces mais recentes, que procuram facilitar todo o processo de modelagem.

Ainda com relação ao AutoCAD, tanto os comandos de construção e edição, bem como todos os processos existentes, até que o desenho esteja em condições de ser interpretado claramente para a sua transformação em projeto devem ser executados de forma metodológica, sistemática e rígida para se conseguir competir com *softwares* básicos de CAD, como também, com o método tradicional de elaboração dos projetos (papel vegetal, nanquim, instrumentos de desenho, etc.).

Na realização de desenhos, utilizando o *software* AutoCAD, há necessidade de se definir uma estratégia com relação aos passos a serem executados, desde o princípio até a finalização de um sólido ou modelo geométrico em 3D.

Para a construção de modelos geométricos em 3D no AutoCAD, utiliza-se comandos de construção com auxílio dos comandos de precisão das peças ou perfis em 2D, para posterior utilização dos comandos de edição em 3D como por exemplo: *extrude*, *revolve*, em conjunto com os comandos de união, subtração e intersecção.

Os sólidos em 3D modelados com auxílio do AutoCAD, após concluídos não permitem a sua edição. Por exemplo, se um furo que possui diâmetro de 20mm e foi desenhado com um diâmetro de 18mm, terá que ser reconstruído todo o modelo novamente se no caso em questão, tiver sido obtida as vistas desta peça. Portanto, este aspecto, pode ser considerado como uma desvantagem se comparados com os modeladores sólidos paramétricos, que

possuem o Mechanical Desktop e o SolidWorks, pois estes permitem que tal procedimento ocorra, ou seja, se qualquer dimensão de uma peça estiver incorreta ela pode ser reeditada facilmente, através de sua árvore construtiva (Browser) que possibilita a qualquer momento alterar desde o esboço inicial até a peça definitiva.

Como foi comentado inicialmente a respeito do AutoCAD em que a filosofia do mesmo tem como preocupação o desenho de alta precisão (até 16 casas após a vírgula), nos *softwares* paramétricos, mais precisamente MDT e SW esta preocupação não existe no princípio, tendo em vista que a filosofia destes *softwares*, é realizar os perfis iniciais como se fossem esboços à mão-livre. A seguir é atribuída as restrições geométricas a que esses perfis estão subordinados ou seja (tangentes, concentricidade, perpendicularismo, horizontais, etc.) e só após estas definições, é que são colocadas as cotas nas peças em seus respectivos elementos geométricos. Portanto esta, pode ser considerada como mais uma vantagem do ponto de vista construtivo dos *softwares* paramétricos em relação ao AutoCAD.

Nos três *softwares* AutoCAD, MDT e SW é possível obter-se após a construção dos sólidos em 3D as suas respectivas projeções ortogonais, bem como, suas perspectivas isométricas. No entanto, como foi comentado anteriormente, se editarmos qualquer dimensão das peças construídas no AutoCAD, teremos que alterar todo o processo construtivo da peça desde o seu início, enquanto que no SolidWorks e MDT se precisarmos alterar qualquer detalhe do ponto de vista dimensional, existe um recurso que reconstrói automaticamente as vistas com suas respectivas cotas bem como sua perspectiva.

Os comandos básicos como *extrude* e *revolve* fazem partes dos três *softwares*.

Existem algumas diferenças entre eles que achamos que devem ser observadas: Uma das diferenças principais entre os *softwares* está no sistema de coordenadas. No AutoCAD existem o WCS (*world coordinate system*) e o UCS (*user coordinate system*) impondo ao seu funcionamento uma determinada rigidez, pois para um bom rendimento na construção das peças e conjuntos, devemos ter a preocupação de deslocá-los utilizando-se vértices, arestas e planos das peças bem definidos para concretizarmos estas operações, sempre observando o posicionamento destes sistemas para não nos perdermos com relação a visualização e conseqüentemente incorrer em erros de construção.

No Mechanical Desktop cuja interface é praticamente a mesma do AutoCAD, com algumas diferenças que veremos mais tarde, possui uma maior versatilidade que o AutoCAD na determinação dos planos auxiliares na construção dos modelos que são tratados como *parts* e *features* que foram vistos anteriormente. Portanto, para a seleção dos mesmos, basta selecionarmos a face que queremos usar como base para construção das peças e automaticamente aparece um ícone na forma de tripode de eixos, facilitando a definição das suas respectivas direções de extrusão, revolução etc.

O SolidWorks possui um sistema de coordenadas que parte de uma origem mas que não é tão rígido quanto os *softwares* da AutoDesk. Ele possui além deste sistema de referência a possibilidade de criação de diversos planos auxiliares como: *offset*, passando por três pontos, paralelo a determinado plano, perpendicular a uma curva helicoidal, etc.

A filosofia de construção de modelos no AutoCAD parte de sólidos primitivos, ou podemos também utilizar os comandos *Extrude* e *Revolve* além dos comandos de edição que usam as Booleans.

A filosofia construtiva do Mechanical Desktop e do SolidWorks possuem algumas semelhanças, sendo uma das mais importantes, o fato de começarmos a peça por um sólido de base em que são realizados *sketchs* nos planos principais: (horizontal, vertical e perfil). Posteriormente, a medida que o sólido vai sendo construído usa-se os planos como base para construção de novos *sketchs*, seguidos dos comandos de edição, que se assemelham muito com os do AutoCAD. No caso do Mechanical Desktop e do SolidWorks, estes *sketchs* são desenhados sem dimensões precisas, porque estes dois *softwares* possuem ferramentas paramétricas que quando aplicadas ao *sketch*, permite dimensioná-los exatamente e criar determinadas restrições geométricas, possibilitando no caso de haver algum erro no processo construtivo das peças, corrigí-las posteriormente, reconstruindo toda a peça.

Com relação a obtenção das vistas e cortes, todos os três *softwares* possibilitam tal processo. No entanto, o Mechanical Desktop e o SolidWorks reconstituem as vistas, as perspectivas, os cortes e os conjuntos em perspectiva explodida com as respectivas correções se houverem, enquanto que no AutoCAD todo o processo deve ser refeito.

O desenho e o processo de modelagem são inextricavelmente (de modo insolúvel) interdependentes!

A modelagem sólida paramétrica é uma ferramenta útil e que pode ajudar o usuário matematicamente e geometricamente, modelando seus desenhos. E, além disso, pode também, tornar a vida do usuário mais fácil e mais produtiva pois:

- Permite que o usuário mude seu desenho com pouco esforço;
- Ilustra (esclarece) desenhos (projetos) para outros usuários;
- Garante a precisão de partes que combinam entre si;
- Verifica adequação quanto a sua função;
- Verifica qualquer interferência;
- Cria desenhos (Projeções Ortogonais e Perspectiva)/Imprime.

A introdução da Modelagem Sólida Paramétrica nos currículos dos cursos de graduação não significa o desaparecimento do esboço a mão livre. O esboço a mão livre continua sendo uma etapa importante no processo de projeto pois o esboço é uma das mais valiosas habilidades (destrezas, dons, dotes) que um desenhista (projetista) precisa desenvolver e conhecer para transformar uma idéia numa representação gráfica. Fonte [URL://pergatory.mit.edu/2000/solid\\_modeling.html](http://pergatory.mit.edu/2000/solid_modeling.html) – Consulta em 17/07/2000

## **CAPÍTULO 6. RECOMENDAÇÕES METODOLÓGICAS PARA APLICAÇÃO NO ENSINO DA MODELAGEM SÓLIDA**

Com a crescente utilização do CAD (*Computer Aided Design*), isto é, desenho auxiliado por computador, nos cursos de graduação em Engenharia, Arquitetura, Comunicação e Expressão Visual, Design, etc, nas mais diversas instituições de ensino superior espalhadas pelo país, como atualização e adequação curricular à nova era tecnológica, professores da área se deparam com os seguintes questionamentos:

### **6.1 Quais aspectos a serem trabalhados e melhorados?**

Acredita-se que todo estudante, independente de sua área de atuação tenha algum conhecimento primário de desenho.

É óbvio que nos cursos de Engenharia, Comunicação e Expressão Visual e Design estas ferramentas são mais comuns no seu dia a dia.

Com o advento do computador e de ferramentas gráficas que facilitam a construção de peças com as mais diversas configurações, os *softwares* (programas) de CAD, principalmente os que possuem ferramentas de construção tridimensionais, possibilitam aos usuários e estudantes uma maior facilidade de interpretação quanto a visualização de peças em 3D. isso é possível, tendo em vista que estes *softwares* possuem recursos que permitem rotacionar os objetos em 3D, nas mais diversas posições, projeções ortogonais, cortes, perspectivas, visualização, detalhes internos, renderização, linhas visíveis com tonalidades mais fracas, etc., se comparadas com o método tradicional de ensino do desenho, que utiliza ferramentas como: compasso, par de esquadros, régua, escalímetro, régua T, régua paralela ou tecnógrafo, etc., representados no papel e de forma estática.

## **6.2 Quais as possibilidades de se explorar convenientemente e sistematizar o uso desta nova ferramenta, o computador, no ensino do desenho?**

Existem diversas formas e possibilidades de explorar convenientemente e sistematizar a utilização dos *softwares* de CAD 3D (AutoCAD, MDT e SW), como ferramentas com recursos bem mais atrativos para os estudantes, pois estes *softwares* permitem a criação dos sólidos com grau de realismo muito elevado. Além do que, estes *softwares* contém em sua maioria plugins que simulam diversas situações reais, tais como: processos de construção, processos de fabricação, apontando eventuais problemas na hora de sua construção, fabricação e montagem. Disponibiliza ainda, recursos de animação que permitirem mostrar no relacionamento entre as peças móveis e detectar se existem interferências entre as mesmas, pois estes *softwares* só permitem ajustes com as peças devidamente definidas quanto a dimensão e a forma.

Com isto podemos melhorar o ensino do desenho utilizando os programas de CAD (AutoCAD, MDT e SW) que permitem construir as peças em 3D com ferramentas relativamente fáceis de entendimento e a partir das peças tridimensionais obter as projeções ortogonais, cortes e perspectivas com pontos de fuga. Possibilitam ainda, rotacionar em 3D qualquer peça construída, o que facilita em muito a interpretação das formas das peças, principalmente, para os alunos que tem dificuldade de visualização, em virtude de não terem estudado em escolas técnicas por exemplo, onde o desenho faz parte do currículo escolar mínimo. Nestes casos, portanto, o desenho auxiliado por computador CAD (AutoCAD, MDT e SW), facilita a interpretação dessas peças.

### 6.3 Que *Software* propiciou melhor ensino e desempenho na resolução de modelagem sólida 3D?

É relativamente complexo afirmar que um dos *softwares* (AutoCADxSWxMDT) tem melhor desempenho que o outro na resolução de modelagem sólida 3D, tendo em vista que dois dos *softwares* (SW e MDT) tem um processo de construção do modelo, principalmente, no que diz respeito a elementos básicos (*sketch, profile, dimension, geometric, relations* etc.) que são muito semelhantes.

A partir deste momento faremos uma comparação entre os *softwares* MDT e SW tendo em vista que trataremos de ferramentas de modelagem no qual o AutoCAD é muito limitado, ou não as possui.

Outra característica básica é que as ferramentas utilizadas na construção da maioria dos sólidos em 3D são semelhantes em grande percentual, ou seja, utiliza-se sistematicamente, *extrude, extrude cut, revolve, revolve cut, sweep, loft, fillet, chamfer, hole, etc.*, o que deixa os *softwares* muito difíceis de serem avaliados com relação a estes aspectos.

Um dos pontos mais importantes na definição de qual é o *software* que melhor desempenha suas funções, no processo de construção em 3D, é a interface do mesmo, isto é, a facilidade que os usuários encontram os comandos, a seqüência dos passos, após o encontro destes comandos, o grau de facilidade de entrada de dados que necessita cada comando e o grau de clareza com que estes dados são incluídos nas caixas de diálogo ou linha de comando.

A árvore de gerenciamento do SW permite editar com maior facilidade todos os comandos de construção, cotas das peças, planos de construção, comparados com o MDT. O SW, possibilita ainda, também avaliar todos os passos necessários para a construção das peças ou conjunto de peças, como

também, alterar a ordem do processo construtivo dos mesmos. Com isto, podemos verificar qual dos *softwares* necessita do menor número de comandos para obter a mesma peça, sendo esta talvez, uma das justificativas mais importantes para a escolha de um ou outro *software*, já que, do ponto de vista de tempo, se são necessários menos comandos, conseqüentemente, vamos precisar de menos tempo para construção das peças no SolidWorks. Uma proposta de programa de disciplina encontra-se no anexo 4.

## 6.4 Conclusões

A vantagem da modelagem de sólidos é algo mais do que o próximo passo da evolução para as técnicas de desenho assistido por computador (CAD) em duas ou três dimensões. As técnicas de CAD, simplesmente automatizaram o processo de desenho. Passou-se do desenho na prancheta para o desenho da mesma forma no computador. A saída em ambos os casos é a mesma: papel.

A modelagem sólida em contrapartida, influencia todo o processo de projeto, desde os esboços preliminares até a manufatura e marketing dos produtos, passando por todas as complexas etapas de design e engenharia.

Pode-se constatar neste estudo que é possível melhorar o binômio ensino-aprendizagem, flexibilizando, através da informática, a forma de apresentação do conteúdo programático, adotando-se caminhos metodológicos mais eficientes atraentes e tecnologicamente atuais, na intenção de obter maior interesse, melhoria no rendimento escolar e maior assiduidade dos alunos.

Considerando minha experiência adquirida no decorrer das minhas atividades docentes, como professor de Geometria Descritiva, Desenho Técnico Geral, Desenho Mecânico e disciplinas de Desenho Auxiliado por Computador (CAD) para diversas áreas das engenharias e arquitetura, além de atividades de extensão e pesquisas relacionadas ao tema citado, desenvolvidas junto a Universidade Federal de Santa Catarina, no Departamento de Expressão Gráfica,

proponho-me a trabalhar com modelagem sólida organizada e estruturada de forma coerente e sistematizada com base na informática, buscando a melhoria na qualidade de ensino-aprendizagem.

Possibilita ainda, atendimento de uma demanda crescente de professores de Desenho Auxiliado por Computador (CAD), que procuram apoio numa ferramenta atualizada tecnologicamente para o desenvolvimento do conteúdo programático de disciplinas de Modelagem Sólida.

Esperamos com este trabalho, obter resultados, principalmente, no que diz respeito a recursos disponíveis na computação gráfica, que possibilitem o desenvolvimento de um método de ensino moderno e atualizado.

Através da construção dos mais diversos tipos e modelos de peças sólidas, como também de conjuntos com as respectivas projeções ortogonais, cortes e secções e levantamento de dados, podemos emitir uma opinião de qual *software* que possibilitou melhor desempenho na resolução de problemas de modelagem sólida 3D.

Finalizando, o objetivo é montar um manual prático, que oriente professores de disciplinas de modelagem sólida (CAD-3D), para o desenvolvimento otimizado e sistematizado no conteúdo programático.

Do ponto de vista da funcionalidade é possível realizar uma comparação entre os programas avaliados (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Avaliação comparativa. Fonte: URL

<http://www.cadenceweb.com/1998/0398/webonly0398.html> (08/12/2000)

| Produto  |   | AutoCAD | MDT | SW |
|--|---|---------|-----|----|
| P<br>A<br>R<br>Â<br>M<br>E<br>T<br>R<br>O<br>S<br><br>C<br>O<br>M<br>P<br>A<br>R<br>A<br>T<br>I<br>V<br>O<br>S | Interface gráfica   | 1       | 2   | 3  |
|  | Operacionalização   | 2       | 3   | 3  |
|  | Número de clicks  | 1       | 2   | 3  |
|  | Gerenciamento do processo de modelagem                                | 0       | 3   | 3  |
|  | Visualização  | 2       | 3   | 3  |
|  | Documentação (obtenção da representação gráfica em 2D e detalhamento) | 2       | 2   | 3  |
|  | Propriedades de engenharia  | 3       | 3   | 3  |
|  | Feedback no processo de modelagem                                     | 0       | 3   | 3  |
|  | Apresentação final da modelagem (renderização) Photoworks/Raytracer   | 2       | 2   | 3  |
|  | Superfície baseada em NURBS   | 0       | 3   | 2  |
|  | Recursos extrude/revolve/ loft/sweep                                  | 1       | 3   | 3  |
|  | Ambiente de montagem  | 0       | 3   | 3  |
|  | Relação custo benefício   | 2       | 2   | 3  |
|  | Nível de performam-se   | 1       | 2   | 2  |
|  | OLE – Compartilhamento de informações gráficas                        | 3       | 3   | 3  |
|  | Núcleo do sistema operacional Kernel (ACIS/PARASOLID)                 | 2       | 2   | 3  |
|  | Apresentação dinâmica   | 0       | 2   | 3  |
|  | Totalização   | 22      | 43  | 49 |

Padrão de avaliação

- 0 - Não possibilita/Não existe/Não tem
- 1 - Permite/Existe/Tem precariamente/Não fácil
- 2 - Apresenta de forma satisfatória
- 3 - Condição excelente

# CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

## 7.1 Conclusão

A avaliação comparativa da metodologia utilizada entre diferentes *softwares* foi escolhida como tema para este trabalho, devido a sua reconhecida importância em áreas da computação gráfica em Engenharia e Design. É fundamental a importância da utilização da modelagem de sólidos em sistemas CAD/CAM/CAE em diversos ramos da indústria. A proposta deste trabalho foi o de realizar este estudo comparativo no sentido de dar subsídios para a escolha do *software*, cuja interface e comandos, propiciem uma maior facilidade no entendimento da metodologia utilizada, na construção dos sólidos pelos estudantes de Engenharia bem como, que os mesmos tenham uma boa aceitação junto a indústria de uma maneira geral.

Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico reunindo artigos e publicações existentes na rede mundial internet relativos a modelagem sólida.

Observa-se que, apesar da bibliografia existente ser extensa, poucos autores reuniram em um só trabalho uma visão razoavelmente completa da área, sem contar que em português tal bibliografia praticamente não existe.

Sendo assim, este trabalho teve como um de seus objetivos fundamentais a elaboração de um estudo comparativo sobre os três *softwares*, realizando uma avaliação do processo construtivo dos mesmos, a partir da construção de diversas peças, apresentadas em quadro anexos, usando os três *softwares* e tentando obter com isto, subsídios no sentido de orientar qual dos *softwares* possui uma melhor interface para a construção das peças em 3D, como por exemplo: qual deles permite com menor número de comandos,

passos e clicks, chegar ao mesmo resultado final. Após a realização das referidas peças constatamos que o Solidworks necessita de um número menor de passos para chegar ao objetivo final, que foi a construção de modelos de diversas geometrias. A redução no Solidworks dos passos necessários é de aproximadamente vinte e cinco por cento se comparado ao Mechanical Desktop.

Na avaliação dos *softwares* (AutoCAD, MD, SW) parâmetros importantes foram analisados, tais como:

- qual *software* apresenta interface mais amigável;
- qual delas possui a melhor ergonomia;
- quem tem a iconização mais facilitada;
- qual *software* apresenta maior consistência e padronização de design.

Portanto, esperamos que este trabalho de avaliação sirva de orientação para estudantes ou interessados em utilizar os *softwares* AutoCAD, Mechanical Desktop e SolidWorks.

## 7.2 Considerações finais

Em cada período histórico, a linguagem gráfica expressa não só os conhecimentos científicos, mas a maneira de cada cultura conceber seu cotidiano, influenciada por valores filosóficos, imposições ideológicas e estilísticas, necessidades de consumo, disponibilidade de técnicas e sofisticações dos instrumentos de trabalho.

Um dos objetivos desta dissertação foi demonstrar a utilização da computação gráfica, mais precisamente à modelagem sólida, como um instrumento valioso na representação de desenhos em 3D, partindo de programas existentes no mercado. Mostramos ainda, como a computação

gráfica (MS) altera e agiliza significativamente a sistemática do trabalho, melhorando a qualidade, precisão e rapidez do desenho tridimensional.

Pelas diversas vantagens, mencionadas no transcórre deste trabalho, e a demonstração da maior eficácia, se torna quase que inevitável à substituição da prancheta pelos *softwares* de modelagem sólida com a utilização do computador. Sendo que, dificilmente se substituirá a capacidade de criação do profissional, pois com o uso da computação gráfica, o tempo disponibilizado para criar deve se tornar maior.

Para o aperfeiçoamento do ensino da modelagem sólida através do uso da informática (computação gráfica), se faz urgente à inclusão desta disciplina nos currículos dos cursos que utilizam o desenho em 3D, possibilitando a familiarização dos alunos com o computador, ampliando enormemente o campo de atuação destes profissionais.

Os atuais modeladores estão revolucionando o desenvolvimento de novos produtos, pois, com a elaboração de um modelo eletrônico, podemos visualizar cores, formas, volume, podemos ainda, simular movimentos, aplicar testes de impacto, criar simulações de estampagem e processos de usinagem entre outros.

Através dos modeladores sólidos estamos caminhando para uma nova fase da criação de produtos, onde não existirá o desenho técnico plotado em papel, listas dos componentes do projeto, formulário ou manuais técnicos: as informações necessárias ao projeto estarão agregadas ao modelo eletrônico.

### 7.3 Sugestões para futuros trabalhos

- Desenvolvimento de uma disciplina de Modelagem Sólida utilizando os recursos da WEB ou na modalidade a distância;
- Desenvolvimento de um estudo comparativo entre o rendimento na aprendizagem dos estudantes, representando o desenho tridimensional realizado com instrumentos e materiais tradicionais e os que utilizam modeladores sólidos computacionais;
- Implementação de um sistema de modelagem sólida utilizando simulações de prototipagem rápida e CNC;
- Desenvolvimento de um sistema de modelagem de sólidos envolvendo as áreas de CAD/CAM/CAE;
- Desenvolvimento de uma disciplina de Modelagem Sólida utilizando tutoriais, passo-a-passo, com o objetivo de melhorar o ensino/aprendizagem nos cursos de Engenharia, Design e Comunicação e Expressão Visual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAND Vera B. **Computer graphics and geometric modeling for engineers.** USA: John Wiley & Sons, 1993.

BESANT, C. B. **CAD/CAM: projeto e fabricação com o auxílio do computador.** Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1985. Tradução de Ricardo Reinprecht.

BORNANCICI, José Carlos M. et al. **Desenho técnico básico: fundamentos teóricos e exercícios a mão livre.** v. 1. Porto Alegre: Editora Sulina, 1981.

BUCHAL, R. O. **Home Page** URL: <http://hyperserver.engga.uwo.ca/es029> –The University of Western Ontario (acessado em 16 jun. 1999).

BUGAY, Edson Luiz. **AutoCAD R14: técnicas de renderização.** Florianópolis: Editora Visual Books, 1998.

BUGAY, Edson Luiz. **Maquetes Eletrônicas.** Florianópolis: Editora Visual Books, 1999.

CARVALHO, Jonas de. **Prototipagem Rápida** (*Rapid Prototyping*). URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem.html> (acessado em 10 nov. 1999).

CATÁLOGO MANUAL. **SolidWorks 2000** – Getting Started – Powerful 3D CAD Software.

CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA E GEOMETRIA DESCRITIVA, 3, Viena 1988. Anais. Recife, Associação Brasileira de Professores de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 1989. v. 3.

ELLIOTT, Steven D.; LEIGH, Ronald W.; MATTHEWS, Brian. **AUTOCAD 13: guia completo e conciso de comandos e recursos.** Tradução: Ariovaldo Griesi. MAKRON Books – VENTANA PRESS. SÃO PAULO. 1996.

ESTEPHANIO, Carlos. **Desenho técnico básico.** Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A. Indústria e Comércio, 1984.

FOLEY, James D.; DAM, Andries Van. **Fundamentals of Interactive Computer Graphics.** Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1993.

FOLEY, James D.; DAM, Andries Van; FEINER, Steven K.; HUGHES, John F. **Computer Graphics Principles and Practice.** Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1993.

GOMES, Jonas; VELHO, Luiz. **Computação gráfica.** v. 1. Rio de Janeiro: IMPA, 1998. Série de Computação e Matemática.

HILL JR. Francis S., JAMES D. **Computer Graphics**. Macmillan Publishing Company, Inc. USA. 1990.

HOELSCHER, Randolph P.; SPRINGER Cliford H.; DOBROVOLNY Jerry S. **Expressão gráfica desenho técnico**. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro: Editora S.A. 1978.

HOLTZ, Adriana Coimbra. **Modelagem geométrica: estudo e implementação de um sistema de modelagem de sólidos**. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências). Curitiba: CEFET/PR. 1991.

HORTA, Lucas Cley da, ROZENFELD, Henrique. **CAD (Computer Aided Design)** URL: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm> (acessado em 10 nov. 1999).

JUNIOR, Eng. Almir Wirth Lima. **AutoCAD 2000 2D&3D**. Rio de Janeiro: Editora Book Express, 2000.

MACHADO, Eng. Aryoldo. **Comando numérico aplicado às máquinas ferramentas**. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1986.

MATSUMOTO, Élia Yathie. **AutoCAD 2000: fundamentos 2D&3D**. São Paulo: Editora Érica, 1999.

MATSUMOTO, Élia Yathie. **AutoCAD R14: fundamentos**. São Paulo: Editora Érica, 1999.

MODELLING. URL: <http://theti.com/model.htm> (acessado em 3 ago. 2000).

MONTENEGRO, Gildo. **A perspectiva dos profissionais**. São Paulo. Edgard Blucher Ltda, 1983.

OMURA, George. **Dominando o AutoCAD14**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Tradução: Bernardo Severo da Silva Filho, 1999.

PERSIANO, Ronaldo Cesar Marinho; OLIVEIRA, Antonio Alberto Fernandes de Oliveira. **Introdução à computação Gráfica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1990.

REVISTA CADWARE. n. 12, cap. 2. maio/jun., 1999.

RICHARD, Roy. **Geometria descritiva dos solidos (DSG) – um novo método para modelagem em computadores**. IEEE CG&A, v. 4, p.145-166, jul. 1988.

ROMEU, Marco Vinicius Rigola. **A utilização da informática na apresentação de projetos arquitetônicos**. Florianópolis, 1998. Monografia (Pós-graduação em Expressão gráfica - Especialização). EGR/CCE/UFSC 1998.

ROONEY, Joe; STEADMAN, Philip. **Principles of Computer-aided Design**. Pitman Publishing, London. 1987.

SIHN, Ieda M. Nolla; YAMAMOTO, Arisol S. S. Tsuda. **Curso de AutoCAD 2000 Básico**. v. 1. São Paulo: Editora Makron Books, 2000.

SOUZA, A. C. de; ROHLEDER, E.; SPECK, H. J., SILVA, J. C. da; GÓMEZ, L. A. **AutoCAD R14: Guia prático para desenhos em 3D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SOUZA, A C de; SPECK, H. J.; SILVA, J. C. da; GÓMEZ, L. A. **AutoCAD 2000: Guia prático para desenhos em 2D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000.

SOUZA, A C de; SPECK, H. J.; SILVA, J. C. da; GÓMEZ, L. A. **AutoCAD R14: Guia prático para desenhos em 2D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.

TORI, Romero; ARAKAKI, Reginaldo; MASSOLA, Antonio Marcos Aguirra; FILGUEIRAS, Lucia Vilela Leite. **Fundamentos de Computação Gráfica**. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro. 1987.

TREMBLAY, Jean-Paul; BUNT Richard B. **Ciência dos Computadores – Uma Abordagem Algorítmica**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1983.

USP. Bibivirt. **A biblioteca virtual do estudante brasileiro**. URL: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/> (acessado em 16 jun. 1999).

VENETIANER, Tomas. **Desmistificando a Computação Gráfica**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1988.

VOISINET, Donald D. **CAD – Projeto e Desenho Auxiliados por Computador**. Introdução – Conceitos – Aplicações. São Paulo: McGraw-Hill, 1998.

VYCHNEPOLSKI, I. **Desenho Técnico**. MIR, 1986.

YOUSSEF, Nicolau Antonio; FERNANDEZ, Vicente Paz. **Linguagem Basic e Programas para Matemática**. 1. ed. São Paulo: Editora Scipione, 1985.

## Sites na Internet

3Ddesign Magazine  
[www.3d-design.com](http://www.3d-design.com)

3Dmax  
[www.3dmax.com](http://www.3dmax.com)

Amazon  
Livraria  
[www.amazon.com](http://www.amazon.com)

AutoDesk  
Site do fabricante do AutoCAD e do Mechanical Desktop  
[www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

DV Digital Video Magazine  
[www.dv.com](http://www.dv.com)

Solidworks (Unigraphics)  
Site do fabricante do Solidworks  
[www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)

Viewpoint  
Modelos e Texturas e Tutoriais  
[www.viewpoint.com](http://www.viewpoint.com)

Modelos e Texturas

3Dcafe  
Modelos, Texturas e tutoriais  
<http://www.3dcafe.com>

## Revistas

CADENCE  
Miller Freeman Inc., 525 Market Street, Suite 500  
San Francisco, CA 94105  
[www.cadence-mag.com](http://www.cadence-mag.com)

CADesign  
Editora Market Press  
Rua: Mourato Coelho 90, cj. 31 – Pinheiros  
CEP 05417-010 – São Paulo – SP  
Periodicidade Mensal  
[www.cadesign.com.br](http://www.cadesign.com.br)

CADesign - Mecânica  
Editora Market Press  
Rua: Mourato Coelho 90, cj. 31 – Pinheiros  
CEP 05417-010 – São Paulo – SP  
Periodicidade Mensal  
[www.cadesign.com.br](http://www.cadesign.com.br)

Cadware Technology  
São Paulo – SP  
Prol Editora Gráfica Ltda  
Fernando Chinaglia Distribuidora  
Periodicidade Bimestral  
[www.cadware.com.br](http://www.cadware.com.br)

COMPUTER GRAPHICS WORLD – CGW  
10 Tara Boulevard, 5<sup>th</sup> Floor  
Nashua, NH 03062-2801  
[www.cgw.com](http://www.cgw.com)

SOLID SOLUTIONS  
[www.solidmag.com](http://www.solidmag.com)

## **ANEXOS**

# Anexo 1

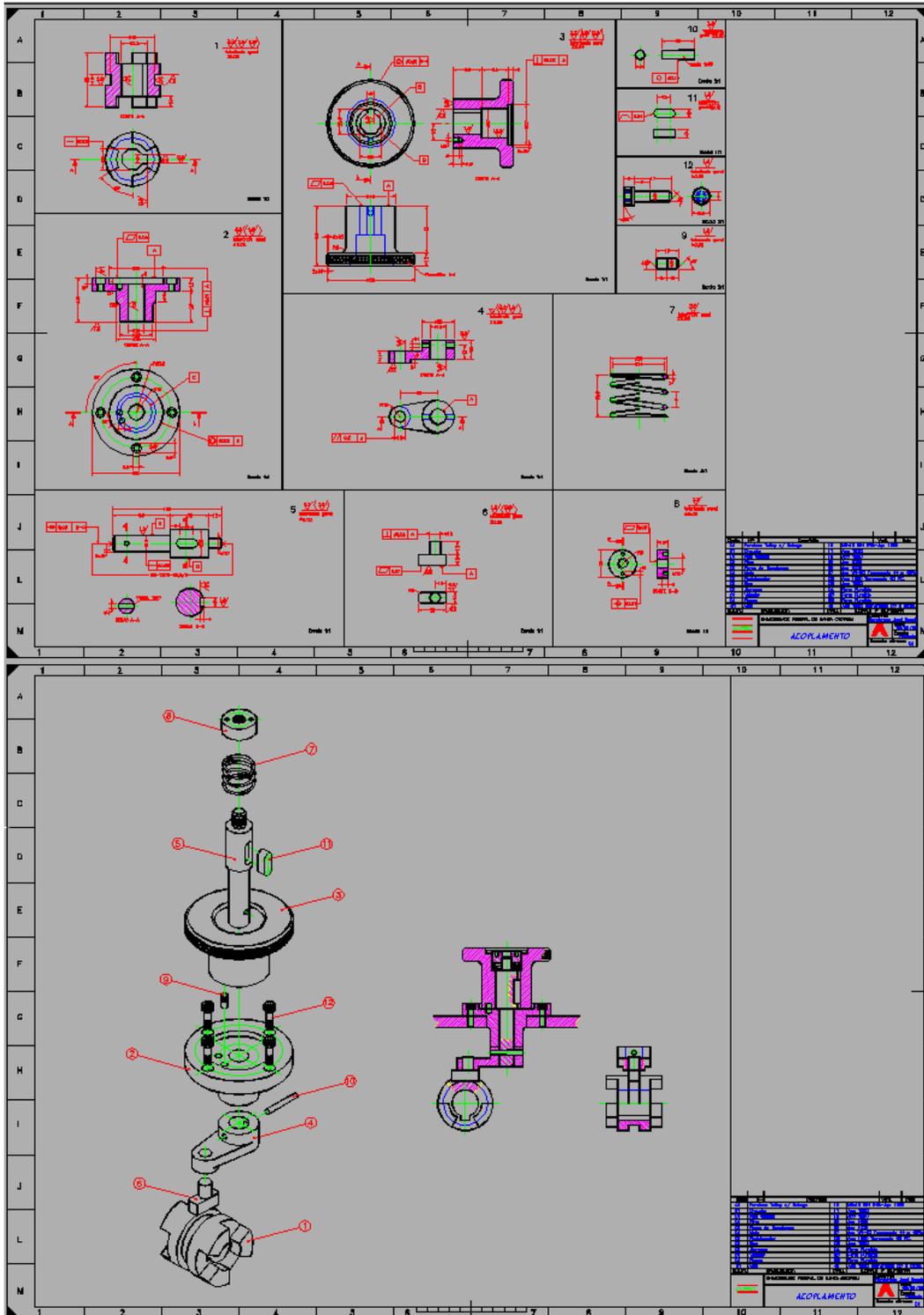


Figura A1.1 – Conjunto e detalhes do acoplamento

## Anexo 2

### DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO MECÂNICO UTILIZANDO O AUTOCAD

Desenhamos o perfil da seção transversal para gerar sólido de revolução:

Ativamos o comando line e especificamos as seguintes coordenadas para cada um dos vértices do perfil



Figura A2.1 – Modelo renderizado da peça 2

*Command: \_line Specify first point:*

*Specify next point or [Close/Undo]: 22.5*

*Specify next point or [Close/Undo]: 5*

*Specify next point or [Close/Undo]: 3.5*

*Specify next point or [Close/Undo]: 23*

*Command: \_offset*

*Specify offset distance or [Through] <1.0000>: 7.5*

*Select object to offset or <exit>:*

**OFFSET**

*Specify offset distance or [Through] <7.5000>: 5*

*Select object to offset or <exit>:*

*Command: \_line Specify first point: \_from Base point: <Offset>: 25*

*Specify next point or [Undo]:*

Cortando o que não interessa

Command: *\_trim*

Current settings: Projection=UCS Edge=None

Select cutting edges ...

Select objects:

Select object to trim or [Project/Edge/Undo]:

Command: *e*

*ERASE*

Select objects: 1 found

Promovendo os arredondamentos necessários

Command: *\_fillet*

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 10.0000

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]: 2

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]: r

Specify fillet radius <10.0000>: 2

Command: *\_fillet*

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 2.0000

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]:

Select second object:

Command: *FILLET*

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 2.0000

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]: r

Specify fillet radius <2.0000>: 3

Command: *FILLET*

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 3.0000

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]:

Select second object:

Command: *region*

Select objects: Specify opposite corner: 12 found

1 loop extracted.

1 Region created. Ver Fig. A2.2.

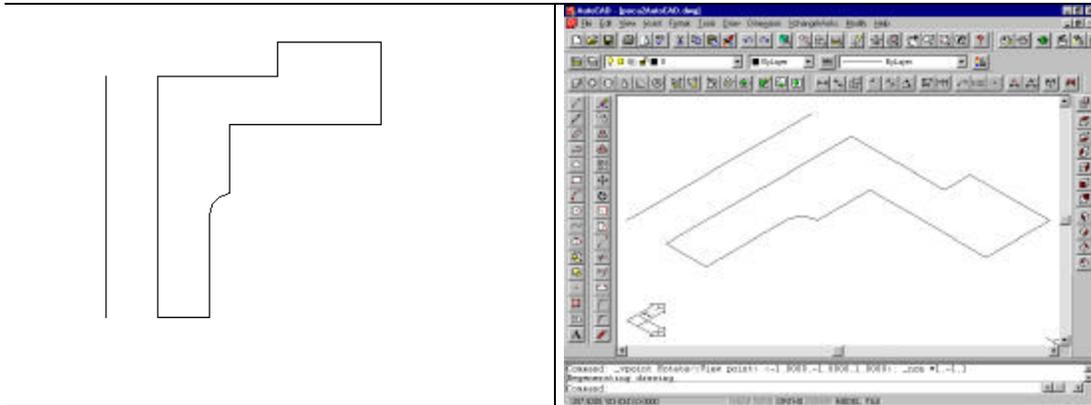


Figura A2.2 – Perfil de Revolução

Aplicamos o comando “revolve” para gerar o sólido de revolução:

*Command: revolve*

*Current wire frame density: ISOLINES=4*

*Select objects: 1 found*

*Specify start point for axis of revolution or  
define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]:*

*Specify endpoint of axis:*

*Specify angle of revolution <360>: Ver Fig. A2.3.*

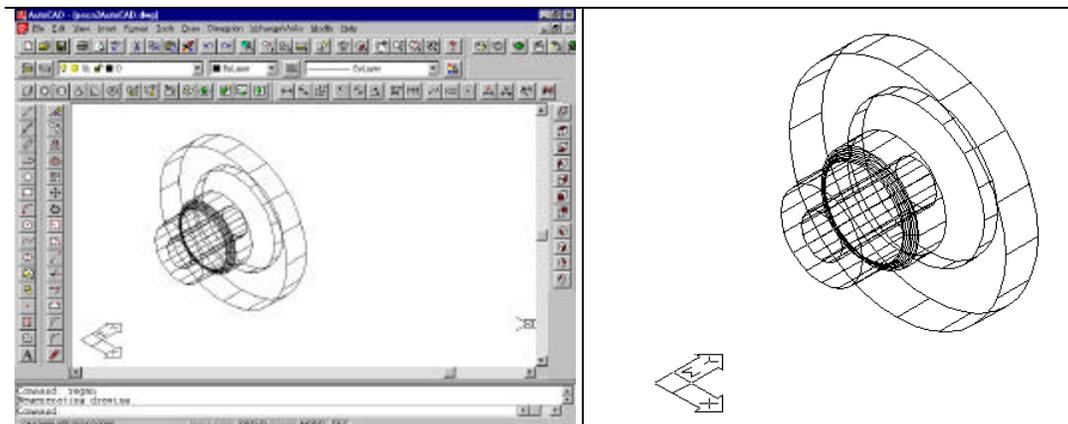


Figura A2.3 – Perfil Revolucionado

Apagamos a linha auxiliar usada como eixo de rotação do perfil

*Command: e*

*ERASE*

*Select objects: 1 found*

*Rotacionamos o UCS em 90° no eixo X*

Command: `_ucs`

Current ucs name: `*WORLD*`

Enter an option [`New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World`]

<World>: `_x`

Specify rotation angle about X axis <90>:

Criamos duas circunferências auxiliares para gerar o rebaixo dos parafusos:

Command: `_circle` Specify center point for circle or [`3P/2P/Tr (tan tan radius)`]:

Specify radius of circle or [`Diameter`]: `d`

Specify diameter of circle: `8.9`

Command: `_circle` Specify center point for circle or [`3P/2P/Tr (tan tan radius)`]:

Specify radius of circle or [`Diameter`] <4.4500>: `d`

Specify diameter of circle <8.9000>: `5.3`. Ver Fig. A2.4.

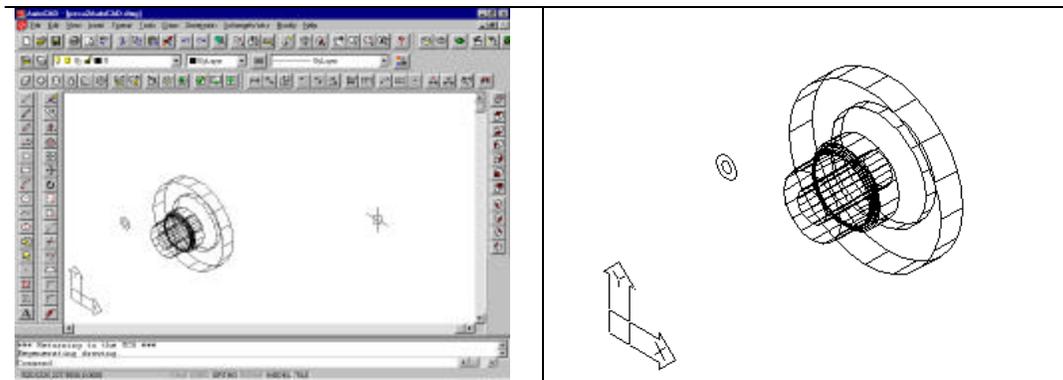


Figura A2.4 – Perfil Revolucionado com circulos auxiliares

Extrudamos as duas circunferências:

Command: `extrude`

Current wire frame density: `ISOLINES=16`

Select objects: `1 found`

Specify height of extrusion or [`Path`]: `5`

Specify angle of taper for extrusion <0>:

Command: `extrude`

Current wire frame density: `ISOLINES=16`

Select objects: Specify opposite corner: `1 found`

Specify height of extrusion or [`Path`]: `7`

Specify angle of taper for extrusion <0>:

Unimos os dois sólidos gerados:

*Command: union*

*Select objects: 1 found*

*Select objects: 1 found, 2 total. Ver Fig. A2.5.*

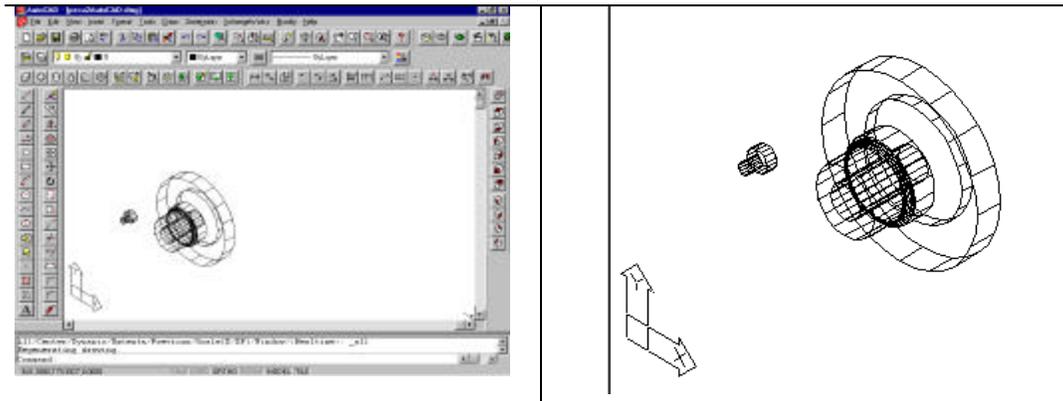


Figura A2.5 – Perfil Revolucionado com círculos extrudados  
Movemos o sólido auxiliar para sua respectiva posição na peça:

*Command: \_move*

*Select objects: 1 found*

*Specify base point or displacement: Specify second point of displacement or*

*<use first point as displacement>: \_from Base point: <Offset>: @32.5<0. Ver Fig. A2.6.*

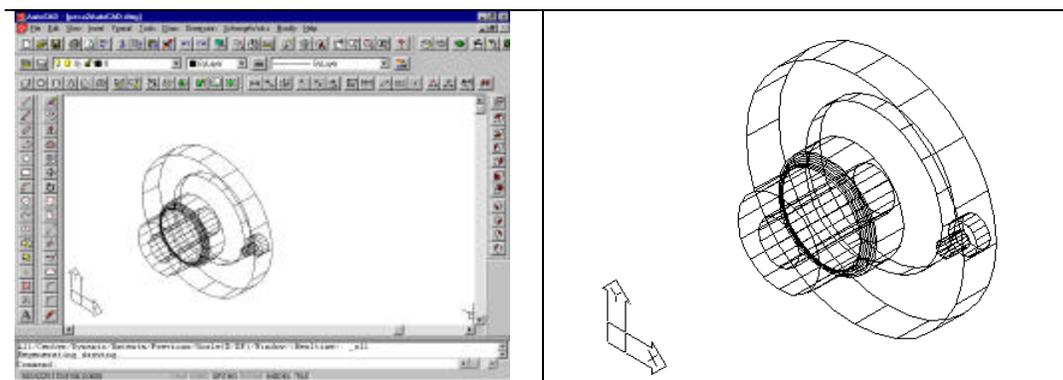


Figura A2.6 – Perfil Revolucionado com círculos extrudados em sua posição

Aplicamos o comando “array” no rebaixo para o parafuso gerando outros três:

*Command: array*

*Select objects: 1 found*

*Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: p*

*Specify center point of array:*

*Enter the number of items in the array: 4*

*Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>:*

*Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>:*

Ver Fig. A2.7.

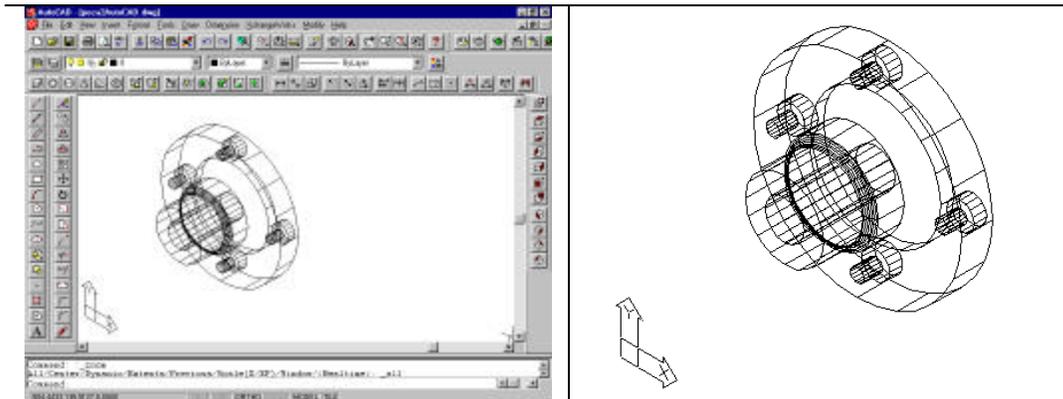


Figura A2.7 – Perfil Revolucionado com círculos extrudados após o *array polar*

Criamos uma circunferência auxiliar para gerar o rebaixo para o pino:

*Command: \_circle Specify center point for circle or [3P/2P/Tr (tan tan radius)]:*

*Specify radius of circle or [Diameter] <2.6500>: 2.5. Ver Fig. A2.8.*

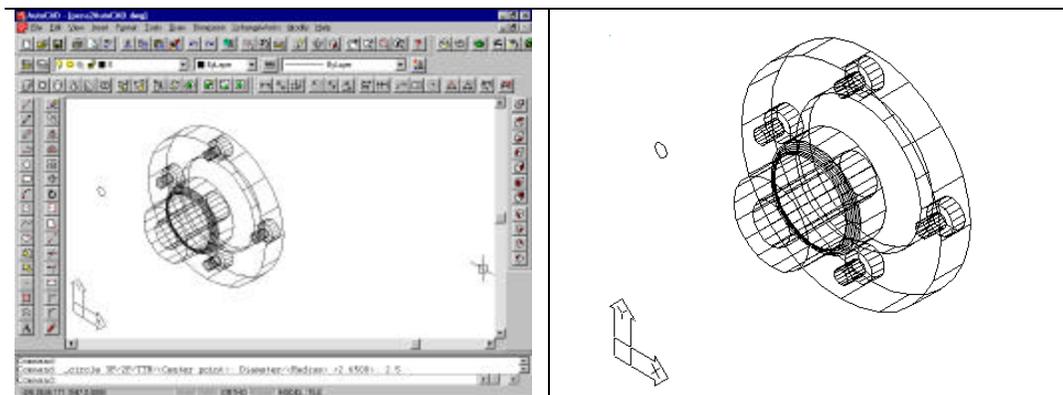


Figura A2.8 – Perfil revolucionado com furos para parafusos e círculo auxiliar

Extrudamos a circunferência auxiliar definimos altura igual a  $h=5$  mm

*Command: extrude*

*Current wire frame density: ISOLINES=16*

*Select objects: 1 found*

*Specify height of extrusion or [Path]: 5*

*Specify angle of taper for extrusion <0>:*

Desenhamos um cone com base centrada numa das faces das circunferências extrudadas:

*Command: cone*

*Current wire frame density: ISOLINES=16*

*Specify center point for base of cone or [Elliptical] <0,0,0>:*

*Specify radius for base of cone or [Diameter]: 2.5*

*Specify height of cone or [Apex]: 1.5. Ver Fig. A2.9.*

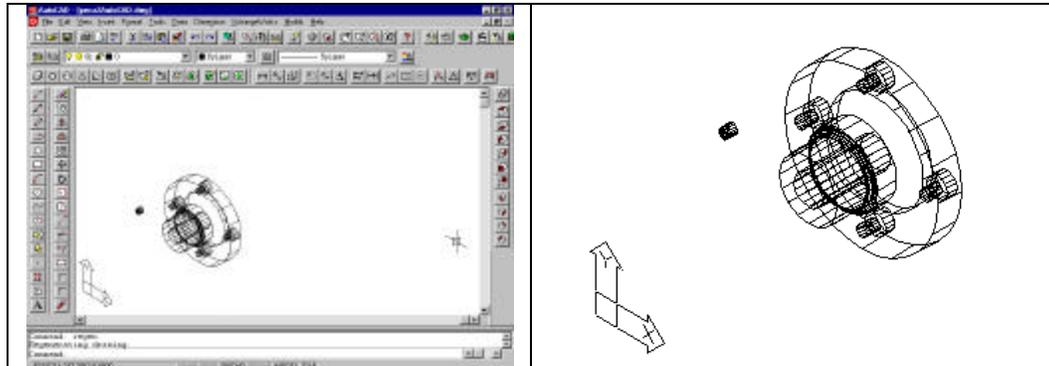


Figura A2.9 – Perfil Revolucionado com Furos para Parafusos e círculo auxiliar extrudado

Unimos os sólidos auxiliares:

*Command: union*

*Select objects: Specify opposite corner: 2 found*

Movemos o sólido auxiliar para junto da peça:

*Command: \_move*

*Select objects: 1 found*

*Select objects:*

*Specify base point or displacement: Specify second point of displacement or*

*<use first point as displacement>: \_from Base point: <Offset>: @15<0-*

*Ver Fig. A2.10.*

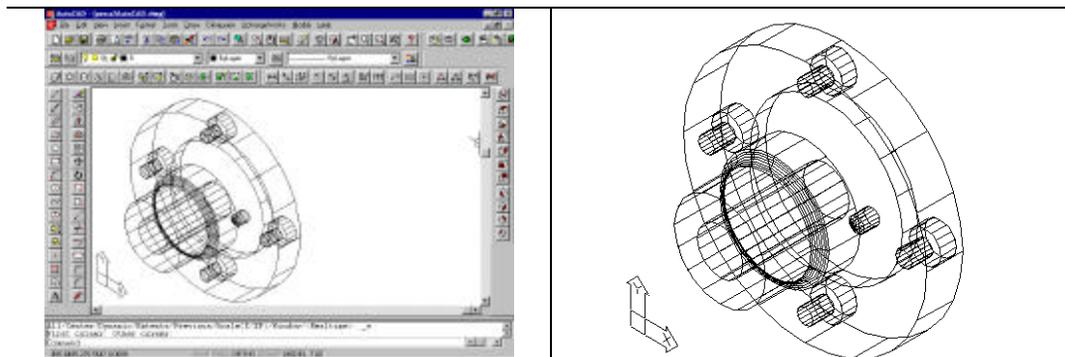


Figura A2.10 – Perfil Revolucionado com Furos para Parafusos e círculo auxiliar extrudado em sua posição na peça

Utilizamos o comando “array” para criar outro sólido igual a um ângulo de 30° deste:

Command: array  
 Select objects: 1 found  
 Enter the type of array [Rectangular/Polar] <P>:  
 Specify center point of array:  
 Enter the number of items in the array: 2  
 Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>: 30  
 Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>:

Espelhamos o último sólido criado em relação ao centro da peça:

Command: \_mirror  
 Select objects: 1 found  
 Specify first point of mirror line: Specify second point of mirror line:  
 Delete source objects? [Yes/No] <N>:

Ver Fig. A2.11.

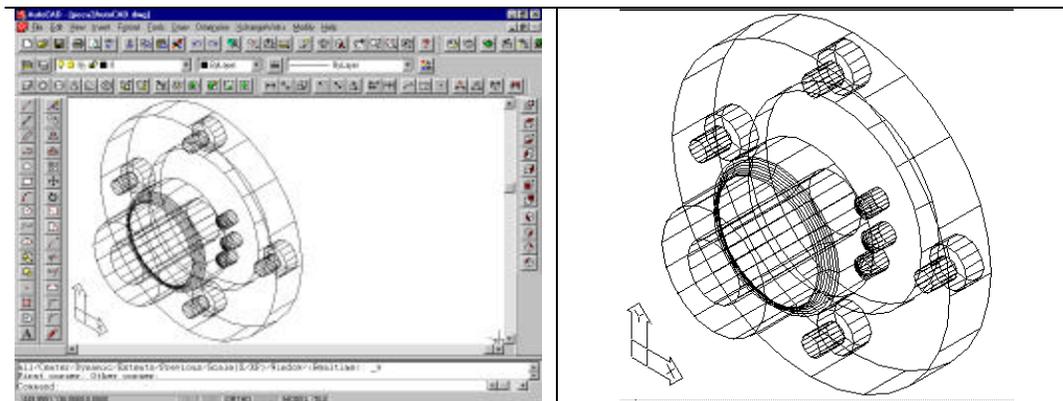


Figura A2.11 – Perfil Revolucionado com Furos para Parafusos e círculo auxiliar extrudado em sua posição na peça

Subtraímos todos os sólidos auxiliares do modelo base:

Command: subtract  
 Select solids and regions to subtract from ..  
 Select objects: 1 found  
 Select solids and regions to subtract ..  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: 1 found, 2 total  
 Select objects: 1 found, 3 total  
 Select objects: 1 found, 4 total

Select objects: 1 found, 5 total

Select objects: 1 found, 6 total

Select objects: 1 found, 7 total.

Aplicamos o comando hide e modificamos as posições do observador para melhoramos a visualização. Ver figuras abaixo.

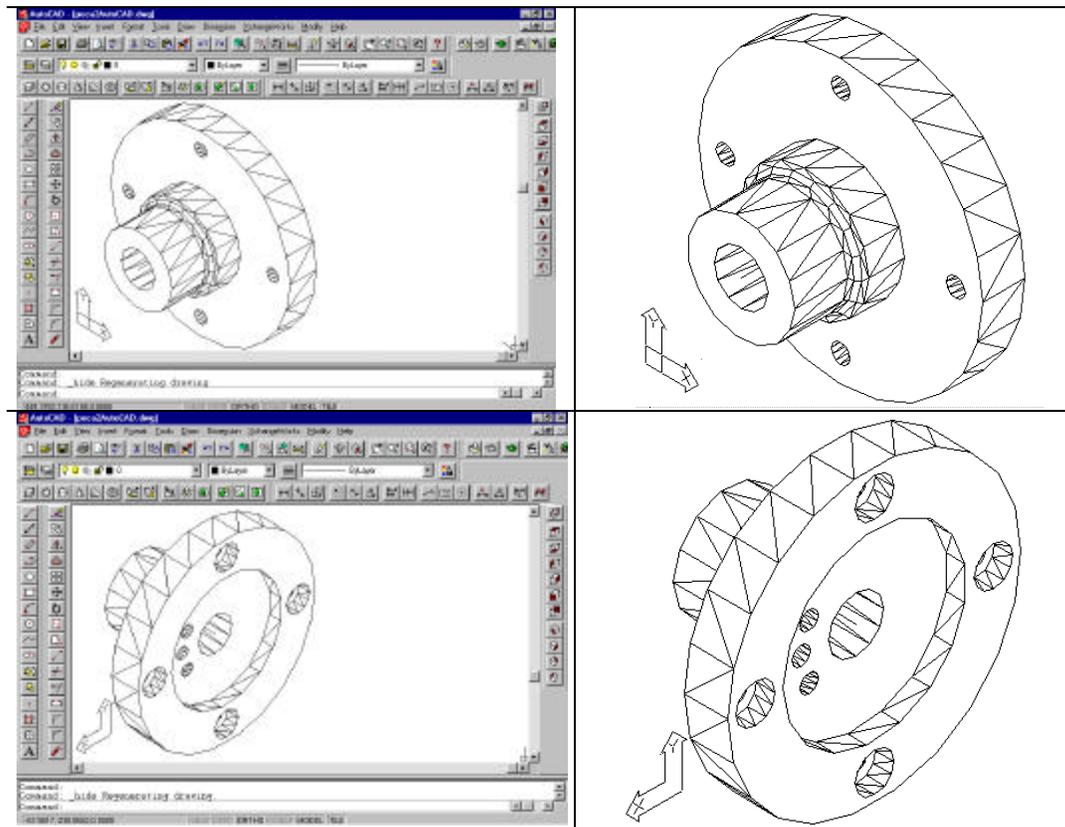


Figura A2.12 – Visualização com hide

### Anexo 3

## DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO MECÂNICO UTILIZANDO O MECHANICAL DESKTOP

### PROCEDIMENTOS:

1. Após seleccionar o ícone referente ao MDT na tela do computador iniciamos um novo desenho, clicando em *file* e depois em *new* e damos OK (enter)

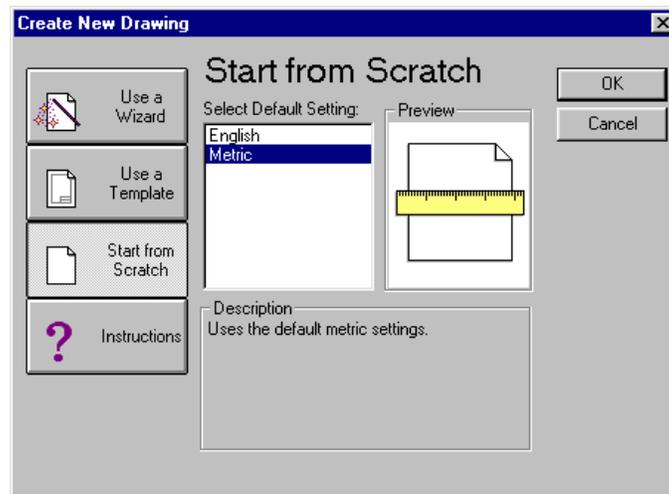


Figura A3.1 – Criar um novo desenho no MDT

Abre-se uma tela gráfica conforme mostra figura abaixo

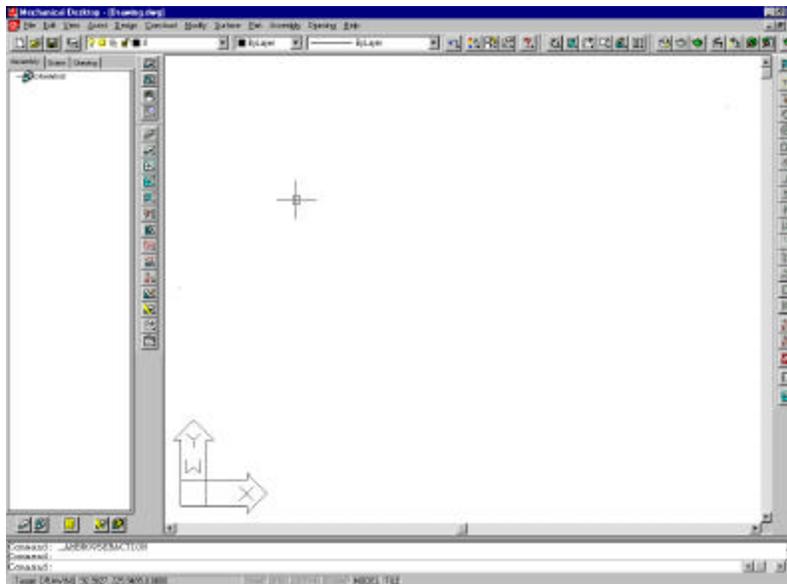


Figura A3.2 – Interface do Mechanical Desktop

2. Podemos iniciar o processo por mais de um caminho, ou vamos em *new sketch plane* (atalho ss) ou utilizamos wcs (*world coordinate system*) como mostra o quadro abaixo

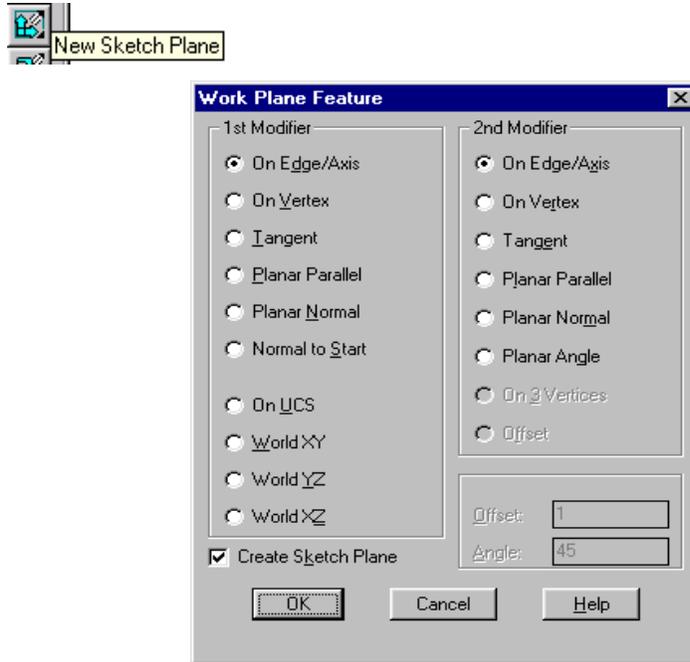


Figura A3.3 – Janela dos planos de trabalho

3. Começamos construindo o perfil básico para o início da modelagem da peça sem preocupação com suas dimensões, mas sim com sua geometria. Esboçamos um círculo, para isso ativamos o ícone *circle*

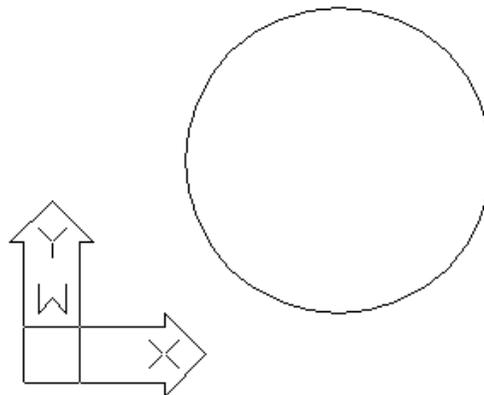
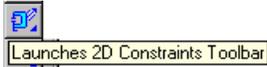


Figura A3.4 – Círculo

4. Convertemos o perfil aplicando o *profile a sketch* (atalho pp).



Isto fez com que o perfil adquiri-se restrições geométricas. Estas restrições geométricas podem ser ativadas clicando-se em (atalho jj) ou clicando em



observamos que algumas restrições podem ser visualizadas logo após a criação do *sketch* através do comando *show constraints*

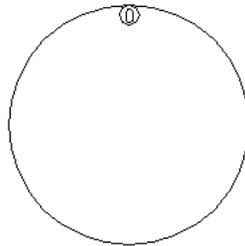


Figura A3.5 – Círculo com restrições geométricas

Listamos abaixo de algumas barras de ferramentas mais frequentemente utilizadas na grande maioria dos modelos

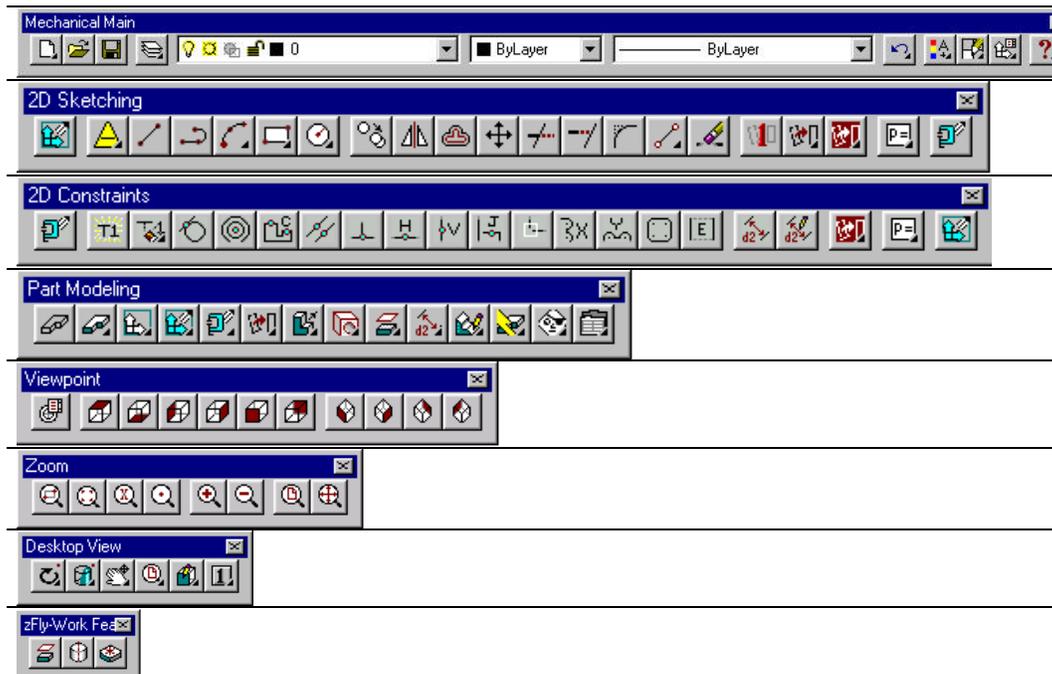
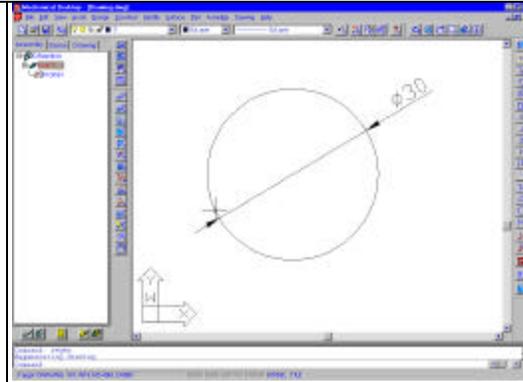


Figura A3.6 – Barra de ferramentas do Mechanical Desktop

5. Dimensionamos o perfil  
(*add dimension*) (atalho ii)



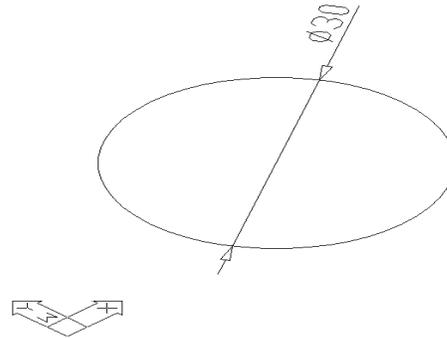
6. Visualizamos em perspectiva (atalho  
8 ou 88)



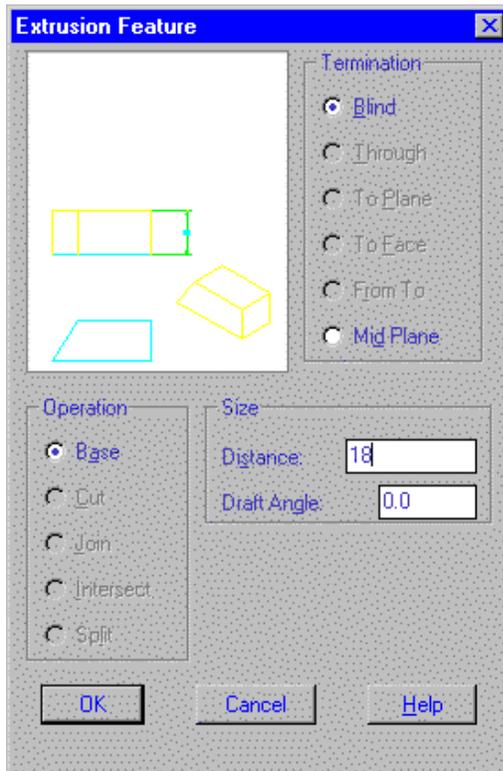
Right Front Isometric View ou



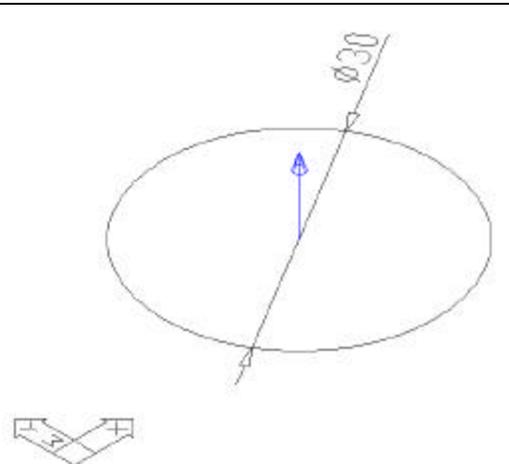
Left Back Isometric View



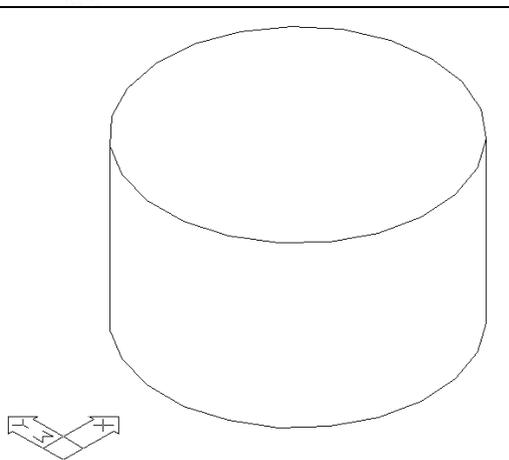
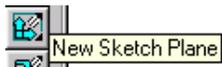
7. Clicamos no ícone do comando  
*extrude*, e abrimos a tela *extrusion  
feature*, ativamos o *blind*, *operation*  
base e definimos a *distance* em 18  
unidades, com o *draft angle* (ângulo  
de inclinação de extrusão) igual a  
zero e acionamos ok.



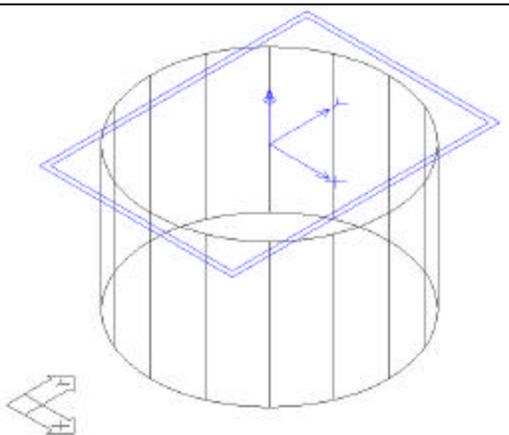
8. Observamos a necessidade de usar of (de *flip*) para inverter o sentido de extrusão

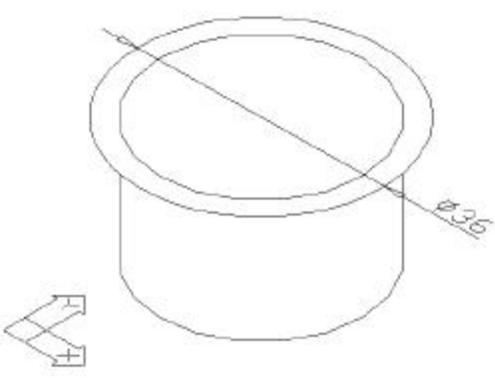
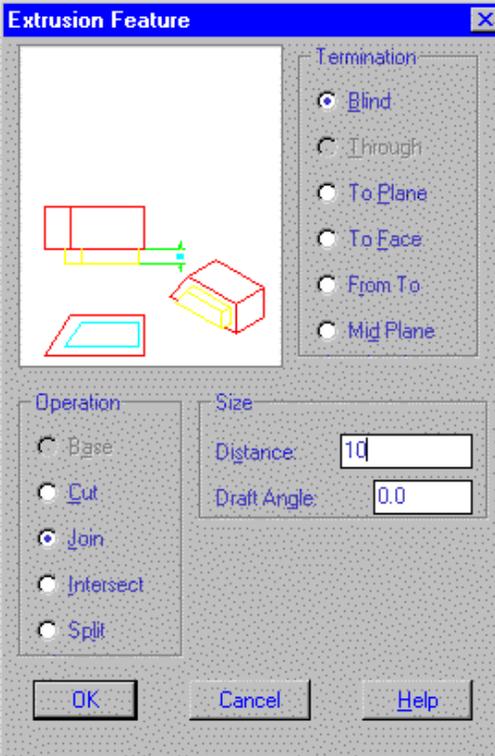


9. Definimos um novo *sketch plane* e selecionamos o topo do cilindro (atalho ss)

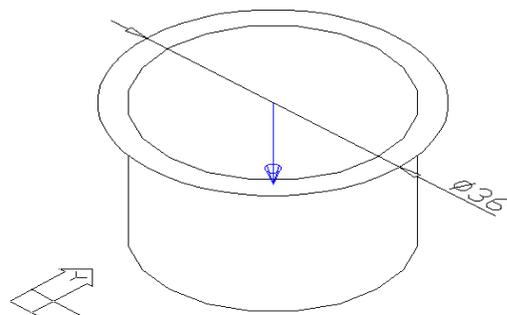


10. Verificamos que se o plano não ficar conforme figura ao lado devemos clicar na tecla esquerda do *mouse* ate conseguir a posição desejada e confirmar com a tecla direita do mesmo

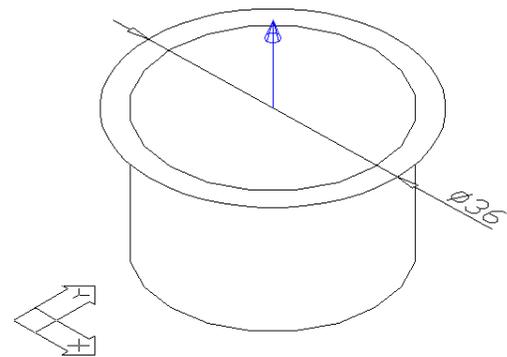


|  |   |
|--|---|
| <p>11. Esboçamos novo círculo  e aplicamos as restrições geométricas   entre os dois círculos e cotamos o mesmo com valor de 36 unidades de diâmetro .</p> |   |
| <p>12. Ativamos o comando <i>extrude</i>  (atalho g), após a abertura da caixa de diálogo <i>extrusion feature</i>, ativamos a opção <i>blind</i> em <i>termination</i>, em <i>operation</i> ativamos <i>join</i> e em <i>size</i> definimos o valor de 10 unidades para <i>distance</i> com <i>draft angle</i> 0.0 e acionamos ok.</p>   |  |

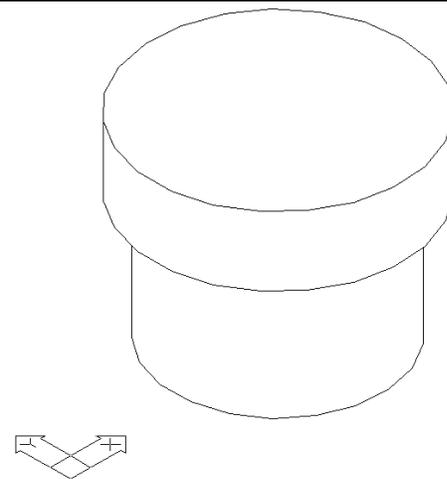
13. Se houver necessidade usamos f (de *flip*) para inverter o sentido de extrusão e acionamos ok.



14. Após ter clicado em f a seta indicativa inverteu sua direção conforme mostra figura ao lado

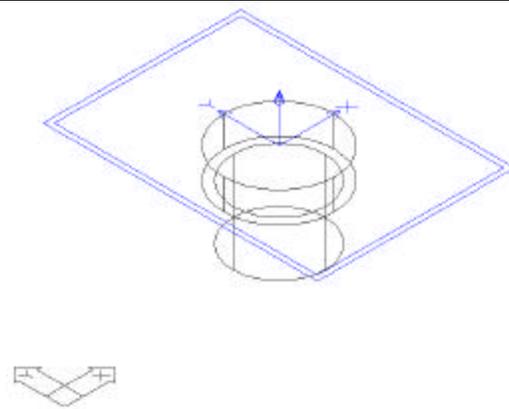


15. Após a atuação do comando *extrude* o modelo se apresenta conforme figura ao lado



16. Definimos um novo *sketch plane* (atalho ss) no topo do cilindro

 **New Sketch Plane** verificamos que se o plano não ficar conforme figura ao lado devemos clicar na tecla esquerda do *mouse* até conseguirmos a posição desejada e após confirmarmos com a tecla direita do mesmo

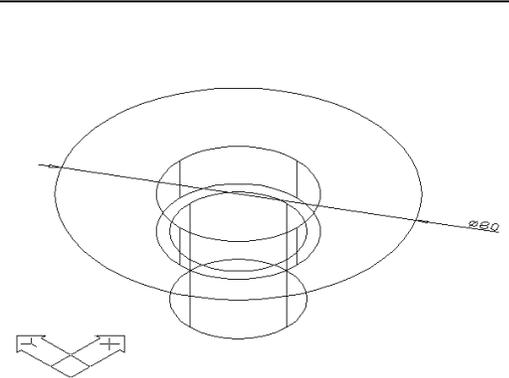


17. Esboçamos um novo círculo  **Circle** e aplicamos a restrição geométrica

 **Launches 2D Constraints Toolbar** de

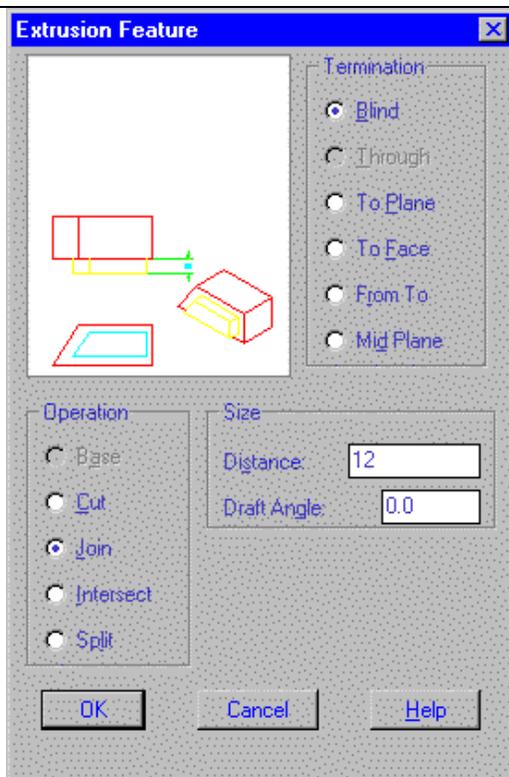
concentricidade  **Concentric** entre os dois círculos e cotamos o mesmo de valor 80 unidades de diâmetro

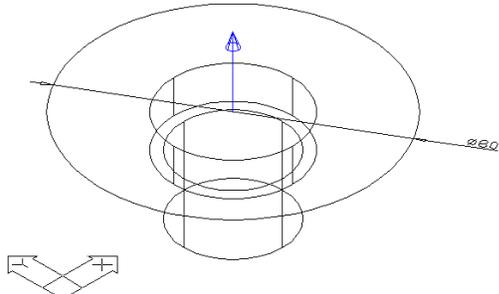
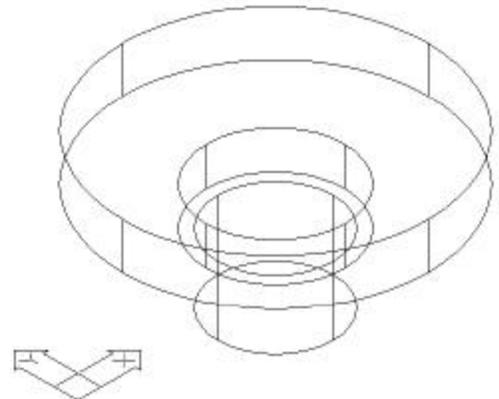
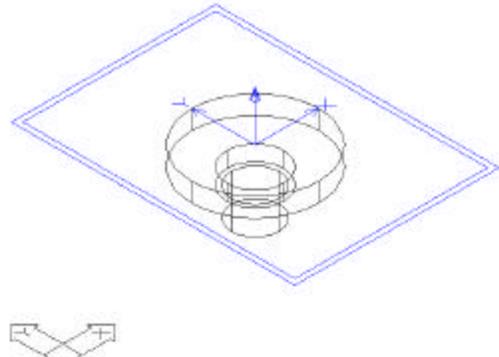
 **Add Dimension**

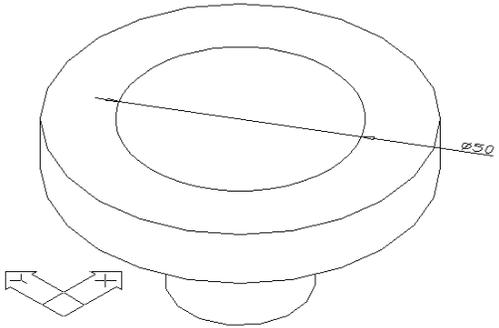
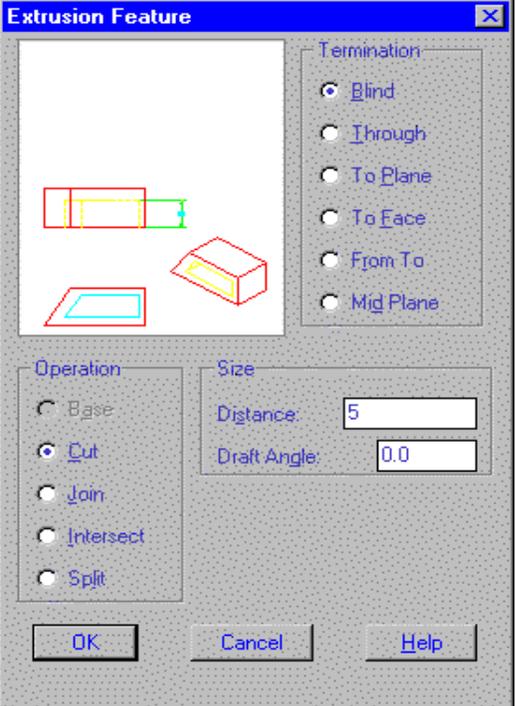
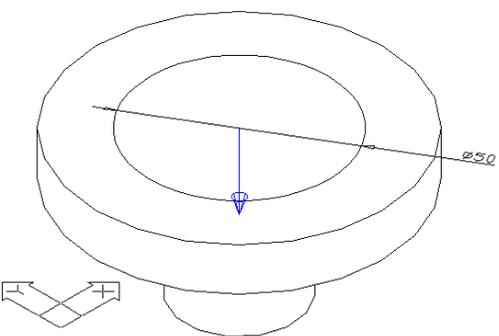


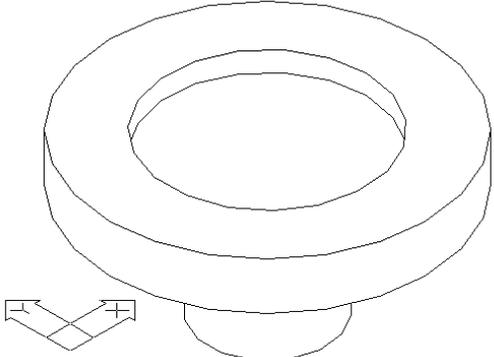
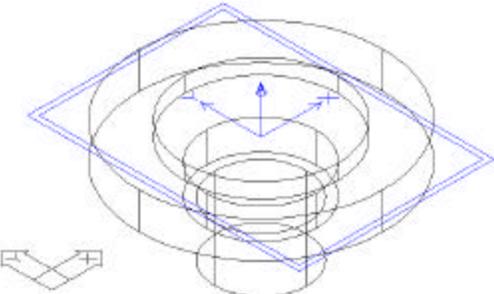
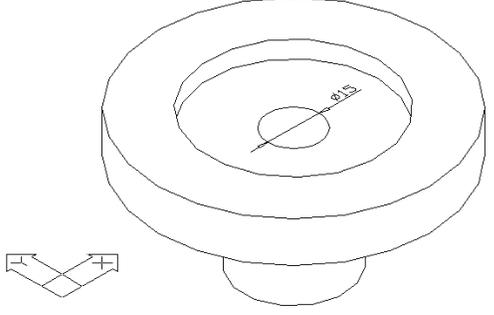
18. Selecionamos *extrude*

 **Sketched Features - Extrude** (atalho g), e após a abertura da caixa de dialogo *extrusion feature*, ativamos a opção *blind* em *termination*, em *operation* ativamos *join* e em *size* definimos o valor de 12 unidades para *distance* com *draft angle* 0.0 e acionamos ok.

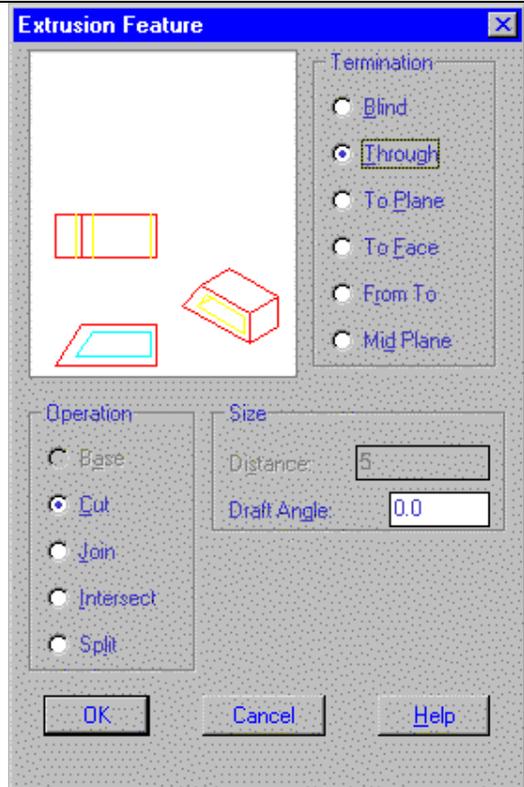


|   |   |
|---|---|
| <p>19. Verificamos se a direção de extrusão estava correta senão teríamos que alterar o <i>flip</i> conforme mostra figura ao lado</p>  |   |
| <p>20. O resultado que obtivemos se apresenta conforme mostra figura ao lado</p>  |   |
| <p>21. Definimos novo <i>sketch plane</i> (atalho <i>ss</i>) no topo do cilindro</p> <p> New Sketch Plane</p> <p>observando que se o plano não ficar conforme figura ao lado devemos clicar na tecla esquerda do <i>mouse</i> até conseguirmos a posição desejada e após confirmarmos com a tecla direita do mesmo</p> |  |

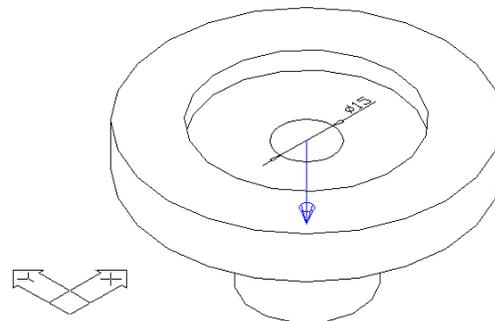
|   |  |
|---|--|
| <p>22. Esboçamos um novo círculo  no topo da peça com diâmetro maior e aplicamos a restrição geométrica   de concentricidade  entre os dois círculos e cotamos o mesmo com valor de 50 unidades de diâmetro  </p> |    |
| <p>23. Clicamos no comando <i>extrude</i>, ativamos as opções <i>blind</i> e <i>cut</i>, definimos <i>distance</i> igual a 5 unidades e <i>draft</i> 0.0 (ângulo de inclinação da extrusão), observando a direção de extrusão</p>   |   |
| <p>24. Observamos se a direção de extrusão se apresenta conforme a figura ao lado</p>   |  |

|   |   |
|---|---|
| <p>25. Confirmamos o comando <i>extrude cut</i> e a peça deve ficar como mostra a figura ao lado</p>  |   |
| <p>26. Definimos um novo <i>sketch</i> plane no rebaixo cilíndrico realizado e representado anteriormente.</p>  |   |
| <p>27. Esboçamos um novo círculo no rebaixo cilíndrico da peça e aplicamos a restrição geométrica</p> <p> Circle</p> <p> Launches 2D Constraints Toolbar</p> <p> Concentric</p> <p>de concentricidade entre os dois círculos e cotamos o mesmo com valor de 15 unidades de diâmetro</p> <p> Add Dimension</p> |  |

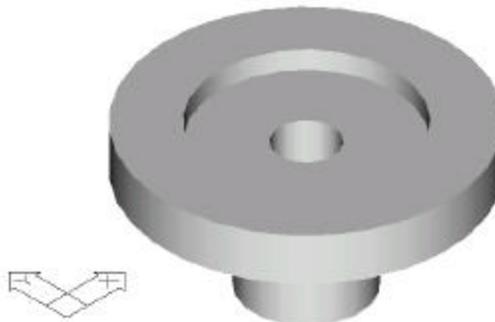
28. Ativamos a opção *extrude cut*, selecionamos a opção *through* (através de) e *cut* (cortar) *draft angle* (ângulo de inclinação da superfície da peça com a base da mesma) igual a zero



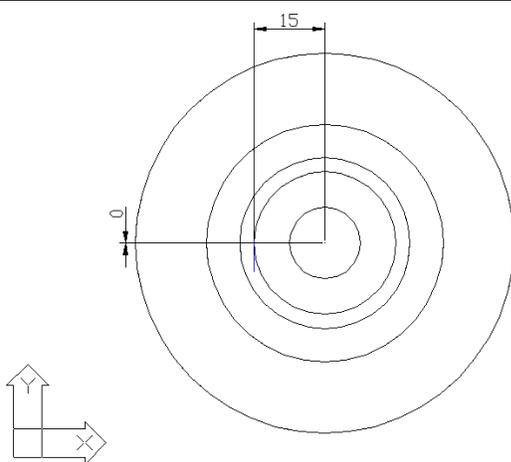
29. Observamos se a direção de extrusão apresenta-se conforme figura ao lado e clicamos em ok



30. Clicamos no comando *display shaded* forme figura ao lado



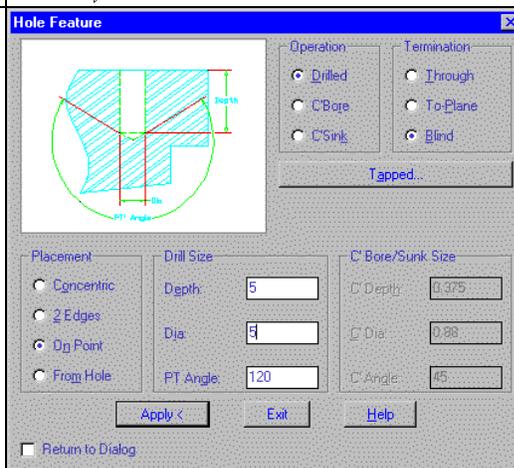
31. No mesmo plano em que foi realizado e representado o furo passante, desenhamos um *work point* e cotamos suas coordenadas conforme mostra a figura ao lado



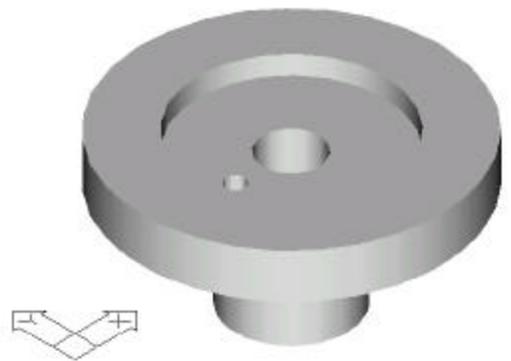
32. Seleccionamos o ícone *hole* (furo)



*Hole*, após a abertura da caixa de diálogo, ativamos as seguintes opções, *operation drilled*, *termination blind*, *placement on point*, *drill size dept* igual a 5 unidades e *dja* também com 5 unidades e *pt angle* 120 graus e damos *apply*.



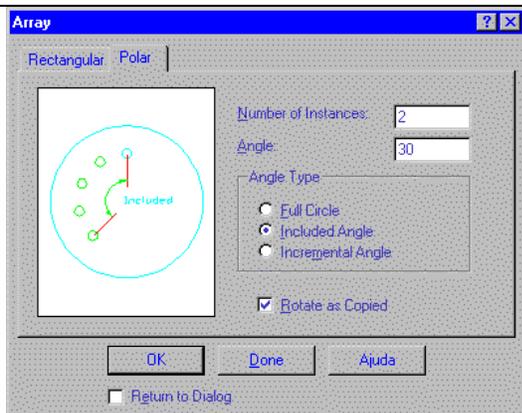
33. Seleccionamos o *point* e clicamos no comando *display shaded* para mostrar a peça conforme figura ao lado



34. Ativamos a opção *feature array*



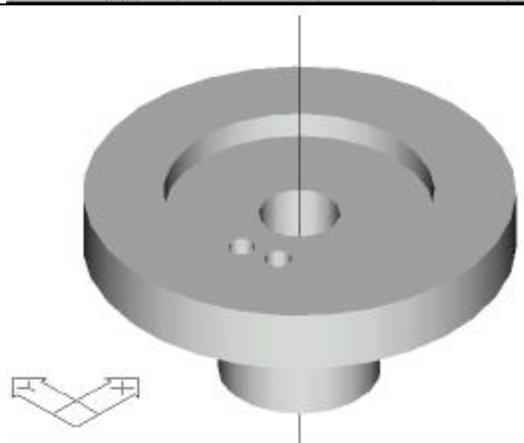
**Feature Array** e selecionamos o item polar. Mudamos o *number of instances* para 2 unidades e *angle* igual a 30 graus, e com a opção *angle type* ativada em *included angle* e *rotate as copied* ativada e acionamos ok.



35. Clicamos no comando *display shaded* para mostrar a peça conforme figura ao lado



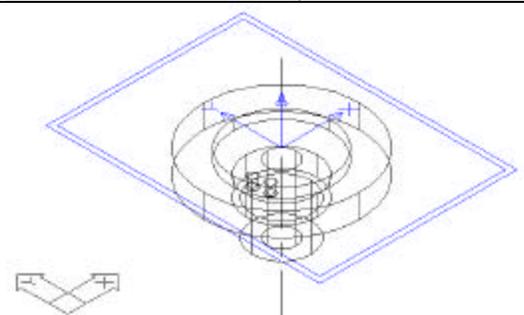
**Display Shaded**



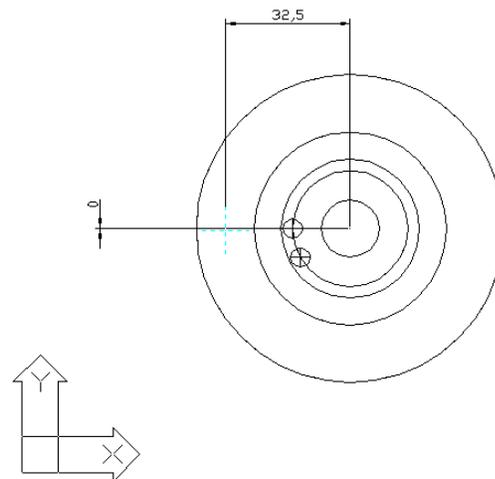
36. Definimos um novo *sketch plane*



**New Sketch Plane** no topo do cilindro com diâmetro maior, e deixamos como mostra a figura ao lado



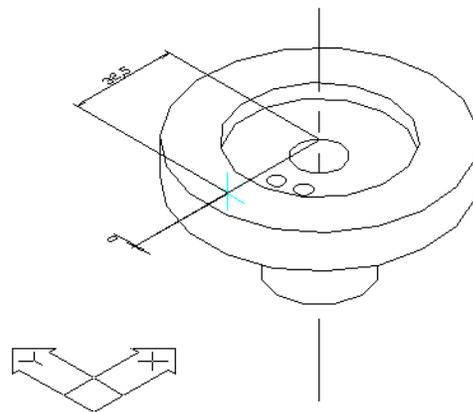
37. No mesmo plano definido anteriormente desenhamos um *work point* e cotamos as coordenadas conforme mostra a figura ao lado



38. Colocamos a peça em perspectiva isométrica clicando no ícone *left back isometric view*



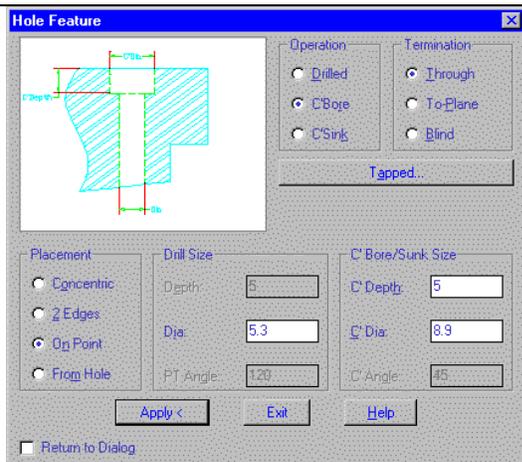
a peça ficará conforme mostra a figura ao lado



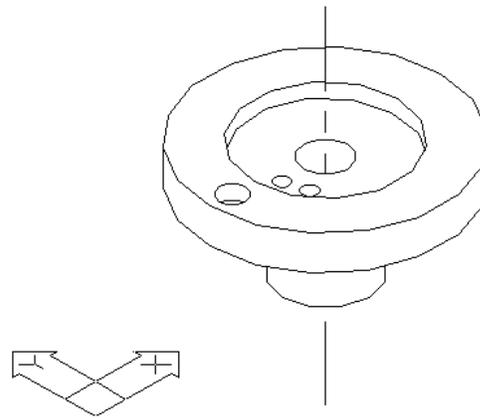
39. Seleccionamos o ícone *hole* (furo)



, e após a abertura da caixa de diálogo, ativamos as seguintes opções, *operation c`bore*, *termination through*, *placement on poin*, *drill size dja* igual a 5 unidades, *c`bore/sunk size c`depth* também com 5 unidades e *c`dia* 8.9 unidades e unidades *apply*.



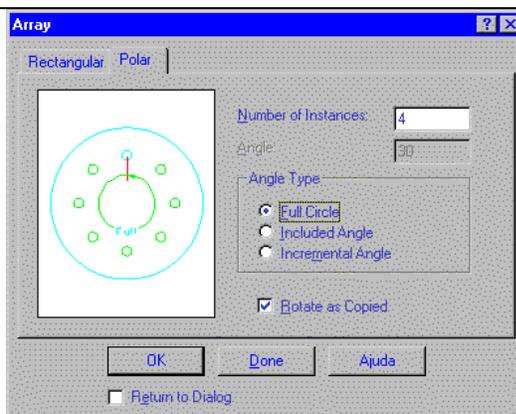
40. Seleccionamos o *point* e a peça ficará conforme mostrada ao lado



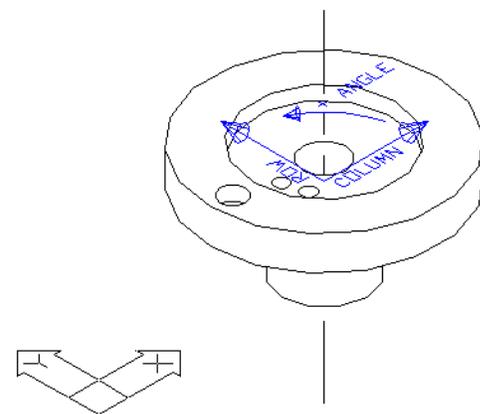
41. Ativamos a opção *feature array*

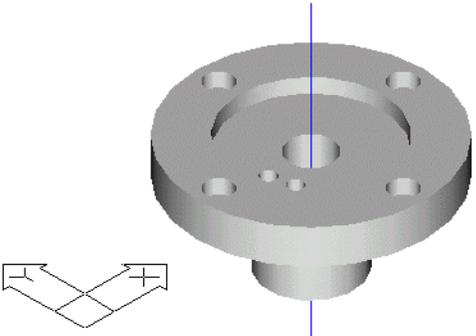
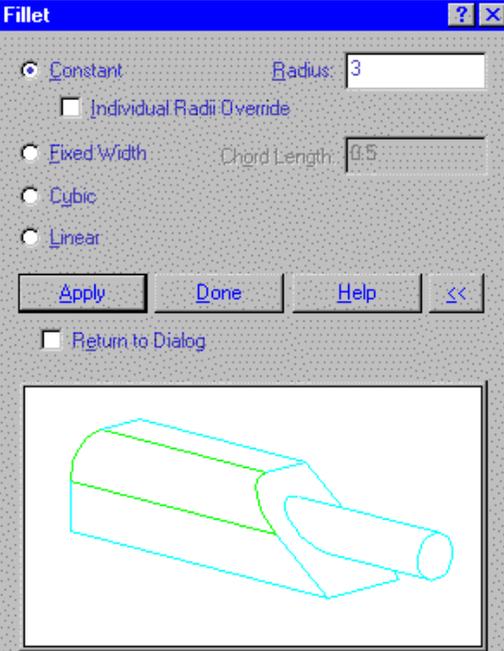
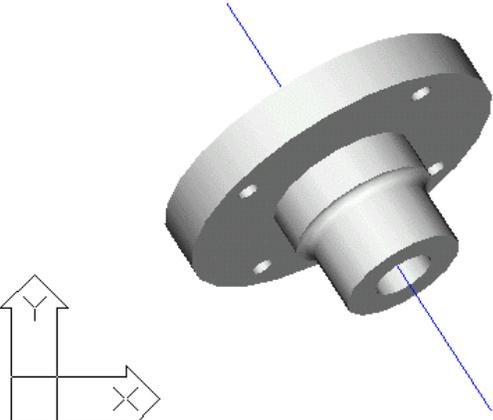


**Feature Array** e seleccionamos o item polar. Mudamos o *number of instances* para 4 unidades, com a opção *angle type* ativada em *full circle* e *rotate as copied* ativada e acionamos ok.



42. Observamos que a peça ficará conforme a figura ao lado e verificamos que após este comando é criado um eixo de trabalho, onde ao seleccionarmos o furo o mesmo é reproduzido conforme as especificações anteriores

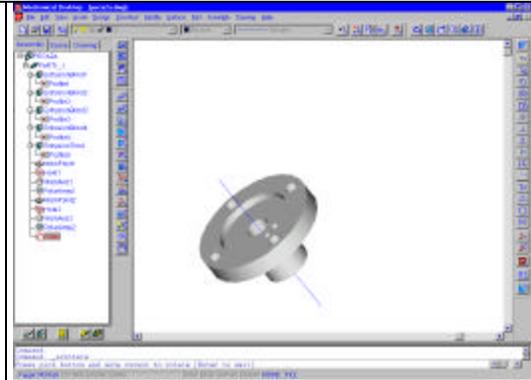


|  |  |
|--|--|
| <p>43. Clicamos no comando <i>display shaded</i> para deixarmos a peça conforme figura ao lado</p>    |    |
| <p>44. Selecionamos o comando <i>fillet</i></p>  <p>ativamos a opção constante e especificamos o <i>radius</i> em 3 unidades e clicamos em <i>apply</i>. Selecionamos o círculo que é transição do cilindro com menor diâmetro para o cilindro intermediário e observamos que a peça ficará conforme figura abaixo a esquerda</p> |   |
| <p>45. Clicamos no comando <i>display shaded</i> para deixar a peça conforme figura ao lado</p>   |  |

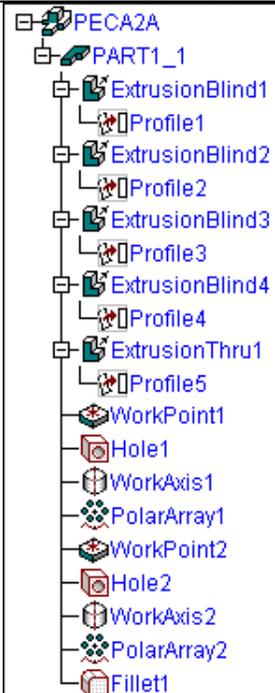
46. Rotacionamos a peça no espaço utilizando o comando *dynamic rotation*



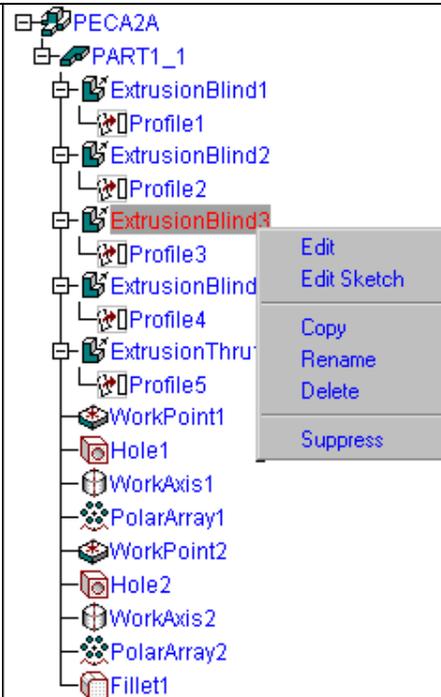
**Dynamic Rotation** e deixamos o modelo conforme mostra figura ao lado.



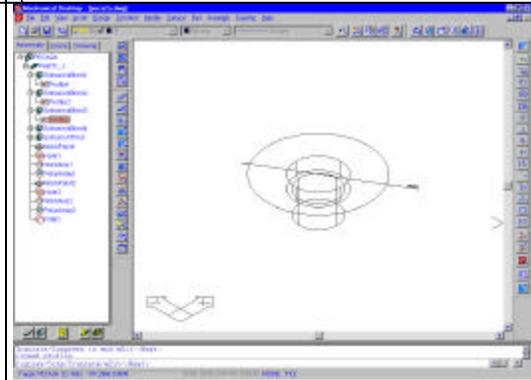
47. Após uma análise criteriosa de todos os procedimentos anteriores verificamos que a grande vantagem dos *softwares* de CAD paramétricos é a possibilidade que os mesmos nos oferecem de editar a todo momento qualquer parte da peça que por uma eventualidade não tenha sido realizada corretamente. Através do *browser* que é a árvore de gerenciamento do MDT.



48. Observamos que no *browser* mostrado na figura ao lado após termos clicado com a tecla esquerda do mouse no quadrado que contém os sinais de mais (+) ou menos (-), pode-se realizar a edição de qualquer das partes do modelo clicando com a tecla direita do mouse, abre-se uma caixa de diálogo onde podemos editar o *sketch* ou outra *feature* de cada parte da peça



49. Na figura ao lado mostramos a edição do perfil na árvore de gerenciamento *browser desktop* em *extrusion blind 3* e editamos o *profile 3*



## Anexo 4

### DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO MECÂNICO UTILIZANDO O SOLIDWORKS

Para desenvolvimento do modelo utilizamos os seguintes comandos e recursos:

- SKETCHING
- RELAÇÕES GEOMÉTRICAS
- SKETCHING SOBRE PLANOS PADRÕES
- EXTRUDE BOSS
- EXTRUDE CUT
- CIRCULAR PATERN
- FILLET
- RENDER
- LIGHTS

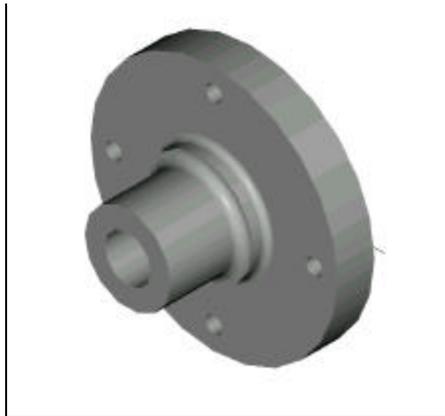


Figura A4.1 – Peça 2 renderizada

Procedimentos:

Iniciamos um novo desenho clicando na barra de menus em *file*, ativando a opção e em *new*, selecionamos *part* e acionamos ok.

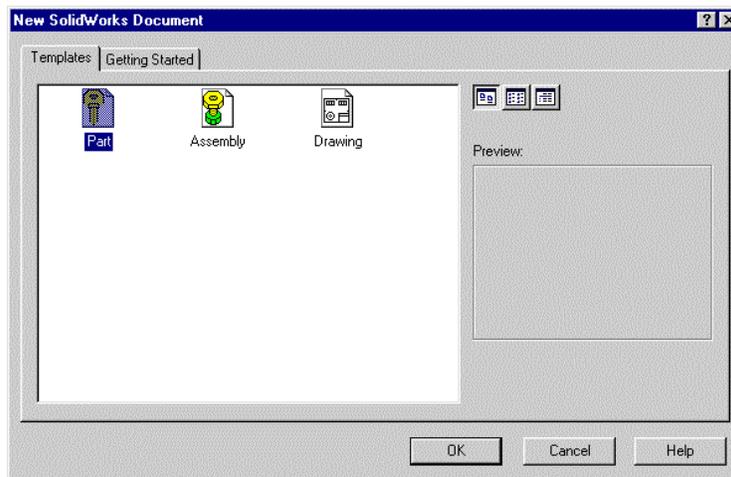


Figura A4.2 – Criar novo documento no SW

Selecionamos o recurso *grid*  desativamos *display grid* e *snap to point*.

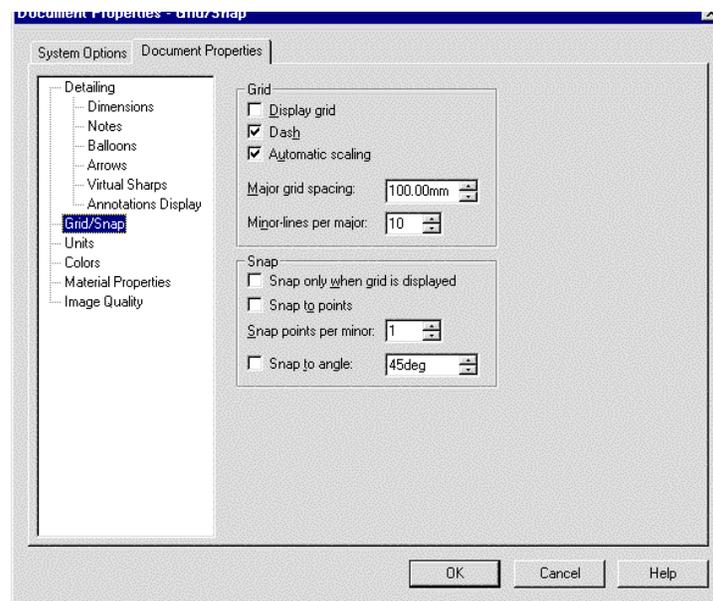


Figura A4.3 – Janela de propriedades (Grid/Snap)

Na mesma caixa de diálogo selecionamos *units*, e em *linear units* ativamos a opção *millimeters*

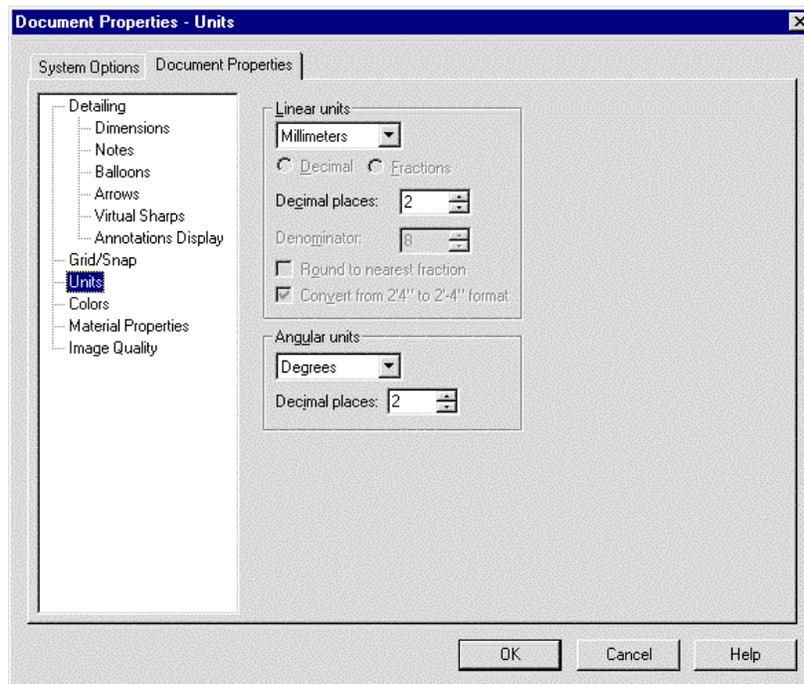


Figura A4.4 – Janela de propriedade (Units)

Ainda nesta mesma caixa de diálogo selecionamos *dimensions*, selecionamos o tipo de seta em negrito e ativamos a opção *smart*.

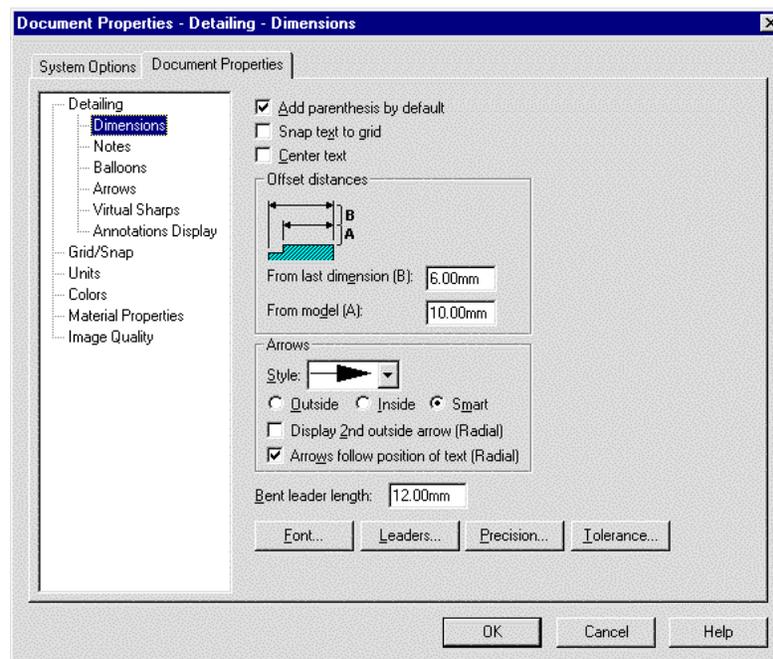
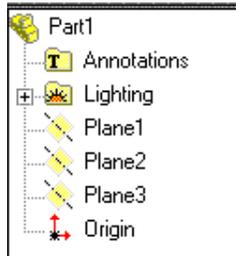


Figura A4.5 – Janela de propriedades de detalhes dimensionais

1. Criamos o modelo de base da peça.

Selecionamos o *plane 2* na árvore de gerenciamento de operações de modelagem.



Ativamos *normal to*



Selecionamos o ícone *sketch*



Selecionamos o ícone *circle*



Adicionamos as dimensões para definir o esboço básico.



Plano de esboço: horizontal

Vista: superior

Altura de extrusão: 18 unidades de medida (mm)

Para visualização em perspectiva ou uma vista perpendicular a qualquer face da peça ou plano acionamos a barra de visualização mostrada abaixo



Para alterar a visualização utilizamos as opções de *wire*, *hide* e *shade*



Selecionamos o comando *sketch* e a seguir o comando *circle* e clicamos na origem da tela gráfica para criar o círculo com a respectiva cota que é mostrado na seqüência.

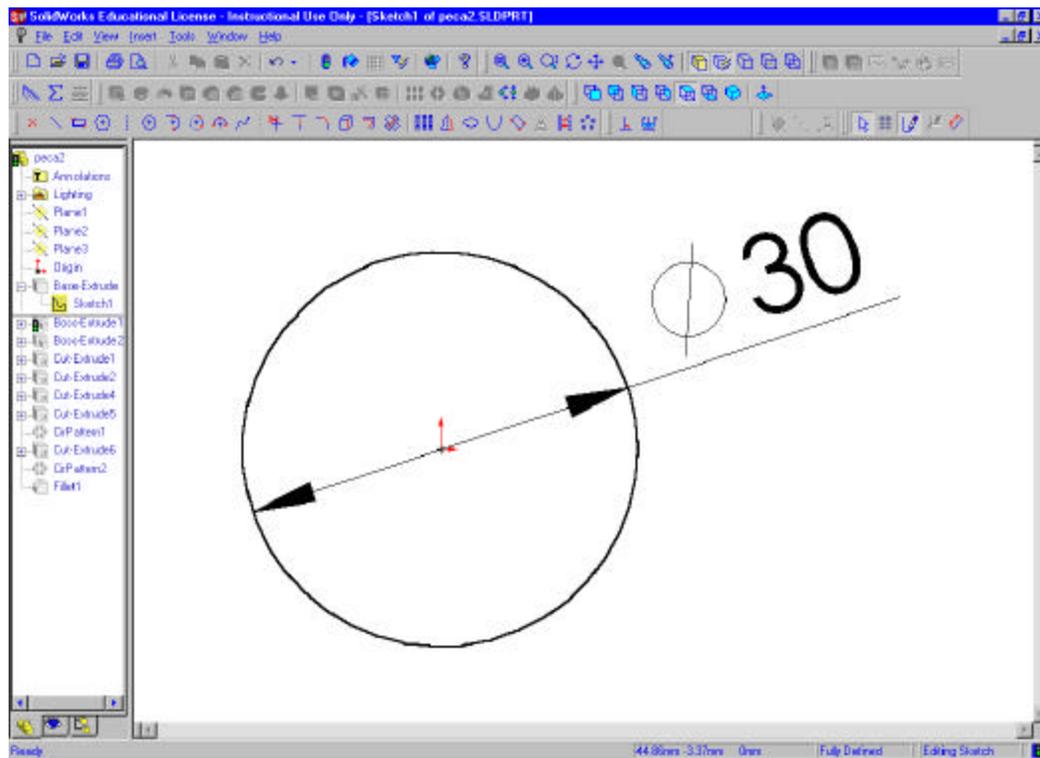


Figura A4.6 – Interface do SW com círculo de base da peça 2



Retiramos a seleção do *sketch*



Selecionamos o comando *extrude boss* especificamos o valor de 18mm e damos ok (enter)

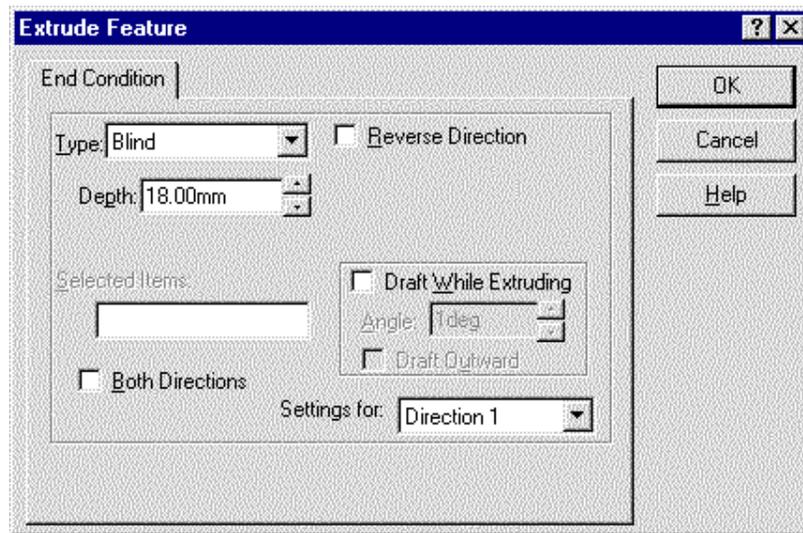


Figura A4.7 – Janela de extrusão do perfil

2. Seleccionamos a face superior e clicamos em *normal to*. Desenhamos neste plano o perfil representado na peça a seguir com as devidas cotas.

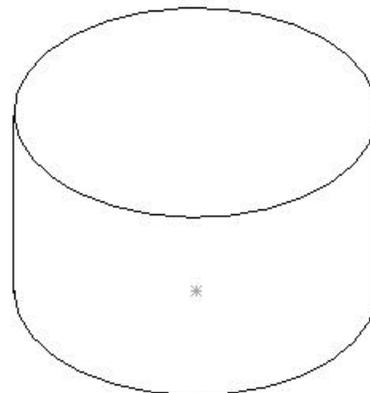
Seleccionamos o ícone *sketch*: 

Seleccionamos o ícone *circle*: 

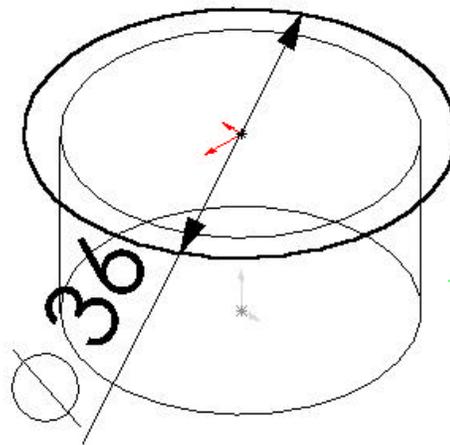
Acrescentamos as dimensões para definir o esboço. 

Ativamos o comando *normal to* 

Ativamos o comando *isometric perspective*



3. Seleccionamos o comando  *extrude boss* e ativamos o perfil desenhado como mostra a figura ao lado



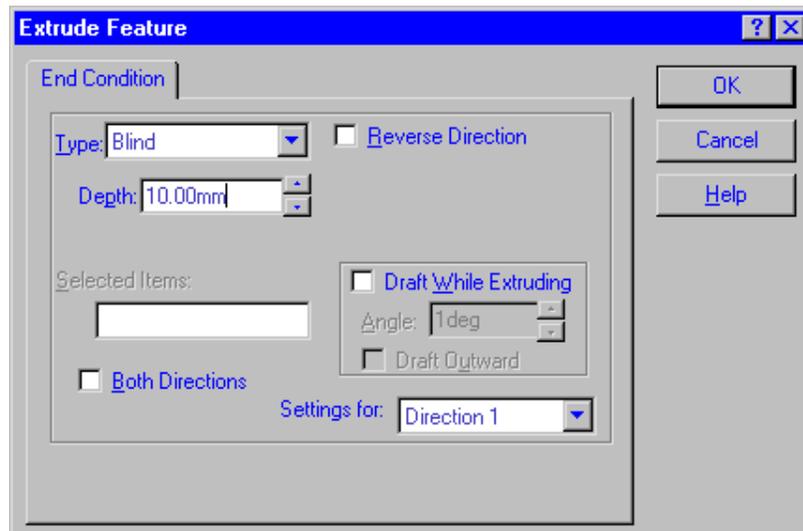
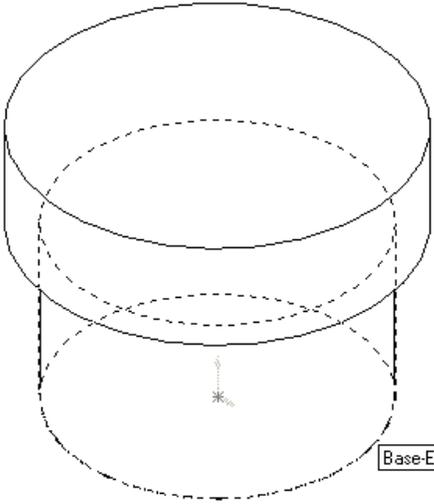
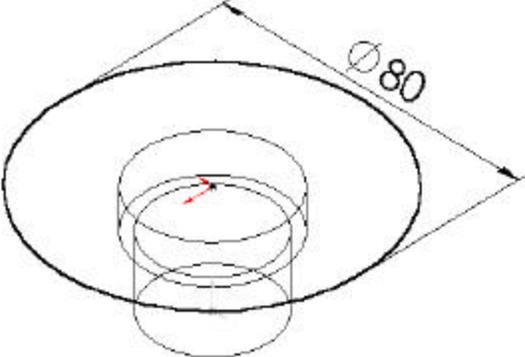


Figura A4.8 – Janela de extrusão do perfil

|  |  |
|--|--|
| <p>4. Selecionamos a face superior com o <i>mouse</i> e quando junto a seta surgiu uma indicação de face damos um <i>click</i>, através do comando  <i>sketch</i>  desenhamos um círculo.</p> <p>Utilizando as dimensões  cotamos o diâmetro do mesmo e a sua posição com relação a base cilíndrica e centralizamos com a opção <i>concentric</i> ativa em  relações geométricas</p> |   |
| <p>5. Selecionamos o comando  comando <i>extrude boss</i> e ativamos o perfil desenhado como mostra a figura ao lado</p>  |  |

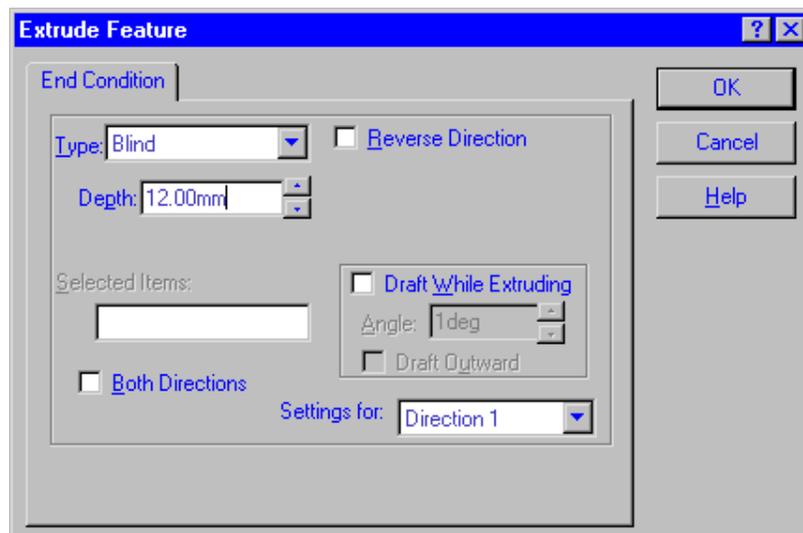
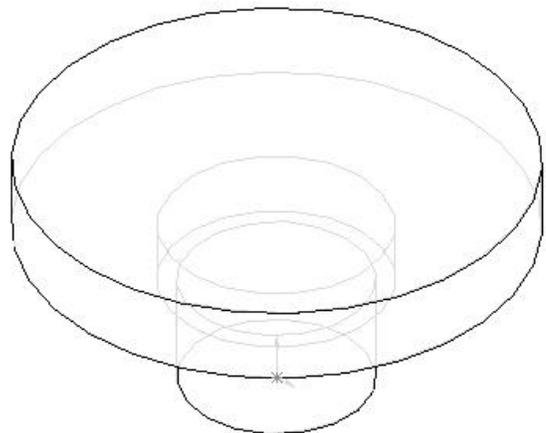


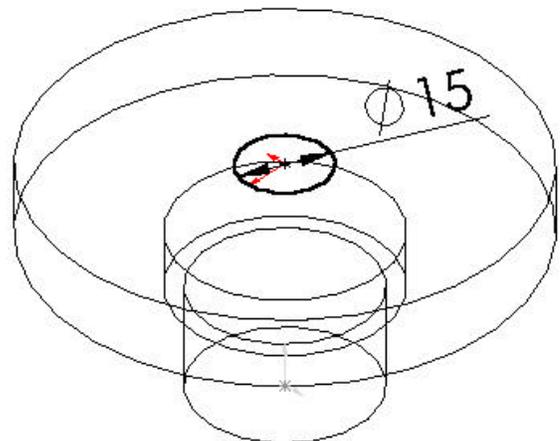
Figura A4.9 – Janela de extrusão do perfil

6. Selecionamos a face superior com o *mouse* e quando junto a seta do *mouse* surgiu uma indicação de face damos um *click*, através do comando  *sketch*  desenhamos um círculo.

Utilizando as dimensões  e cotamos o diâmetro do mesmo e a sua posição com relação a base cilíndrica e centralizamos com a opção *concentric* ativa em  relações geométricas



7. Acionamos o comando  *extrude/cut* e ativamos a opção *through all*



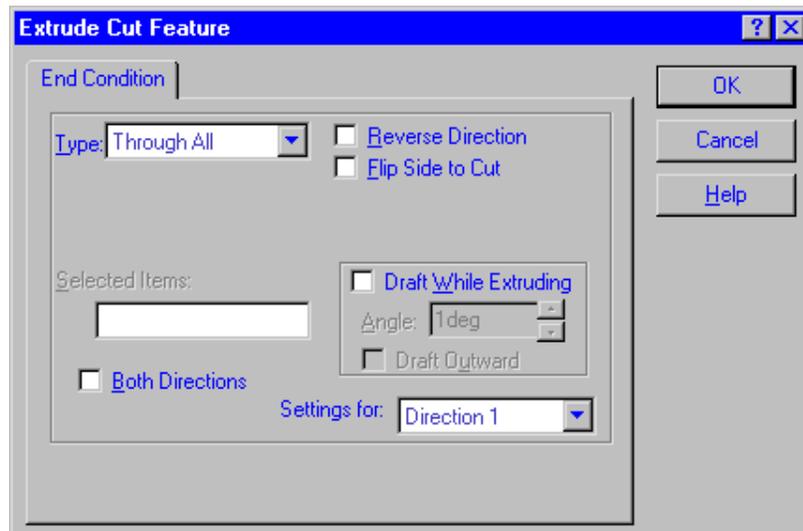
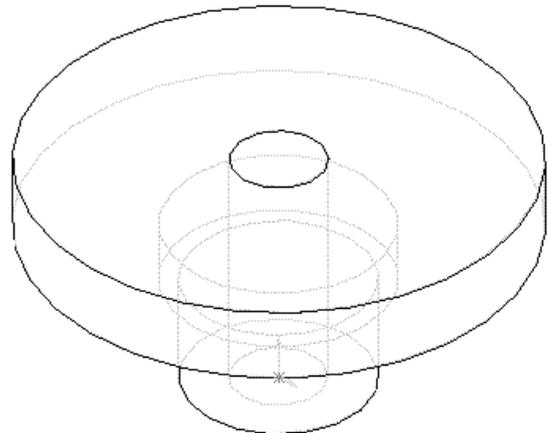


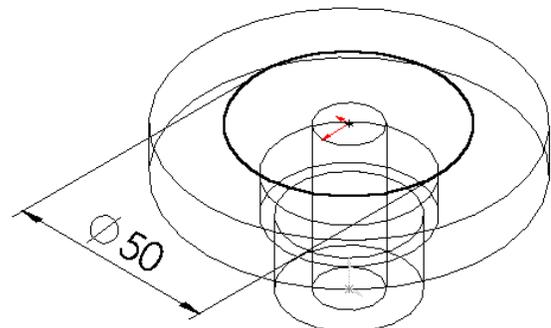
Figura A4.10– Janela de corte por extrusão do perfil

8. Selecionamos a face superior com o *mouse* e quando junto a seta surgiu uma indicação de face damos um click, através do comando  *sketch*  desenhamos um círculo.

Utilizamos o comando dimensões  e cotamos o diâmetro do mesmo e a sua posição com relação a base cilíndrica e centralizamos com a opção *concentric* ativa em  relações geométricas



9. Acionamos o comando  *extrude/cut* e ativamos a opção *blind* e especificamos o valor 5mm para a profundidade



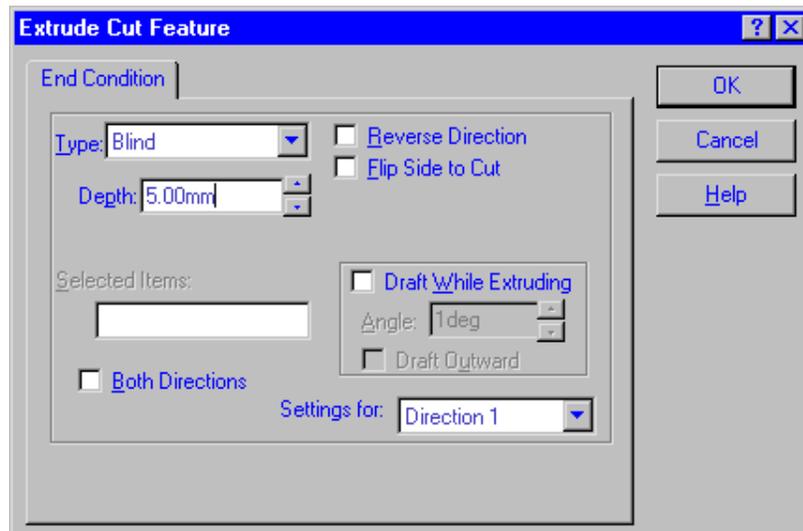
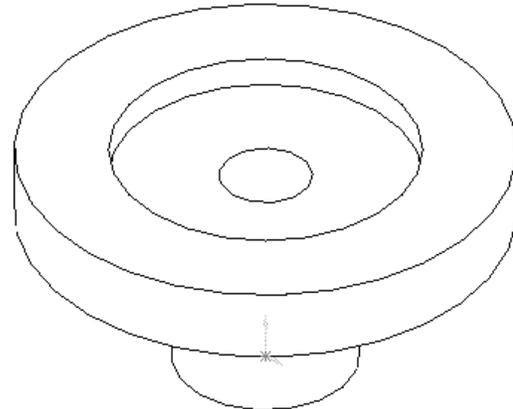


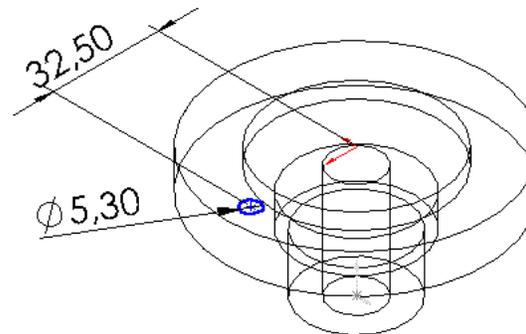
Figura A4.11 – Janela de corte por extrusão do perfil

10. Após ter ativado o comando de visualização *hide* a peça se apresenta conforme a figura ao lado



11. Seleccionamos a face superior do flange e damos o comando *sketch* , seleccionamos o comando *circle*  e desenhamos um círculo numa posição qualquer e após cotamos  o diâmetro e o posicionamento do furo com relação ao centro do cilindro.

Seleccionamos o comando *extrude cut*  e ativamos a opção *through all*



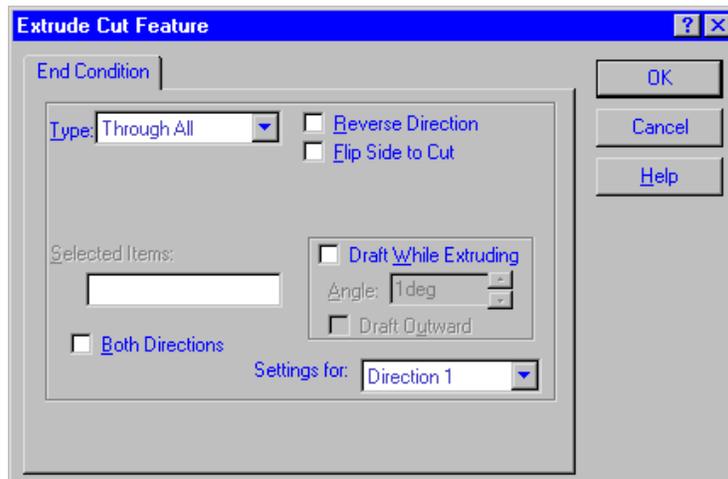
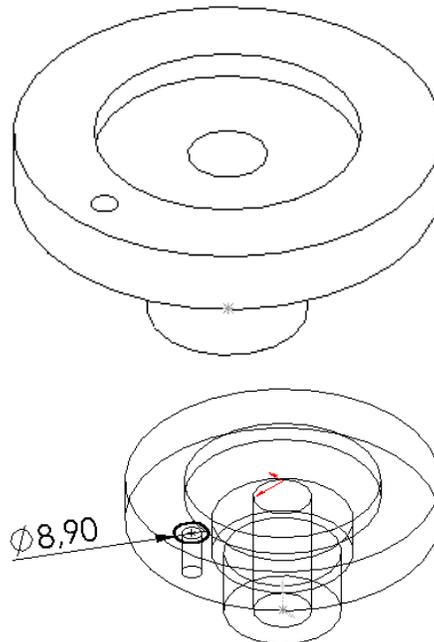


Figura A4.12– Janela de corte por extrusão do perfil

12. Seleccionamos a face superior do flange e damos o comando *sketch* , acessamos o comando *circle*  e desenhamos um círculo numa posição qualquer e após cotamos  o diâmetro e o posicionamento do furo com relação ao centro do cilindro utilizando a relação geométrica de concentricidade.
13. Seleccionamos o comando *extrude cut*  e ativamos a opção *blind* e damos o valor 5mm



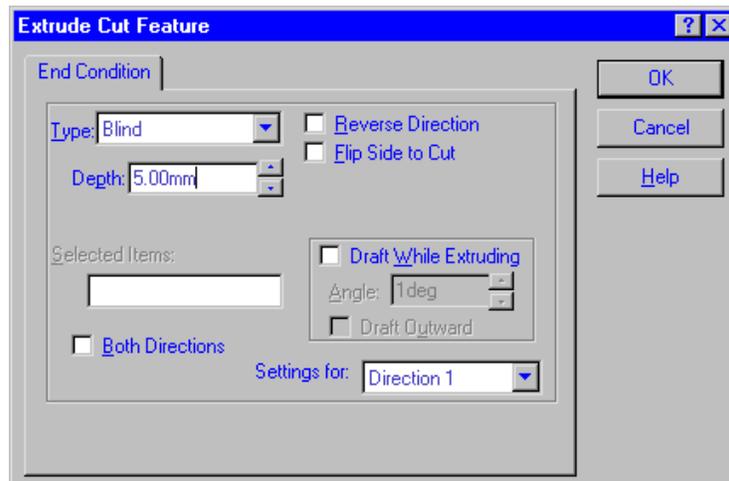


Figura A4.13– Janela de corte por extrusão do perfil

14. Ativamos o comando *circular pattern*  e selecionamos os dois furos que acabamos de representar e definimos o ângulo entre eles e a quantidade dos mesmos e o eixo principal de simetria da peça.

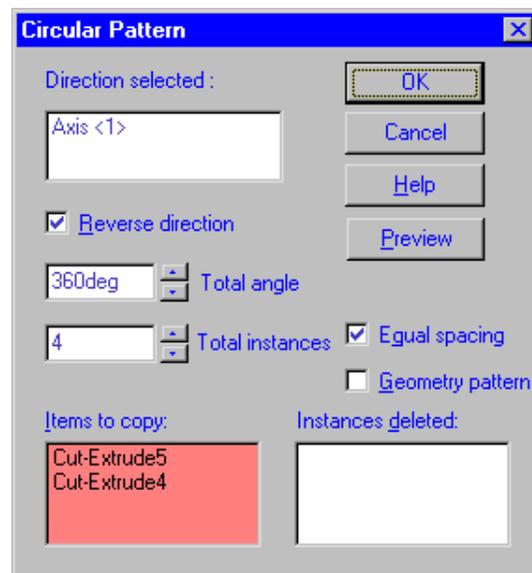
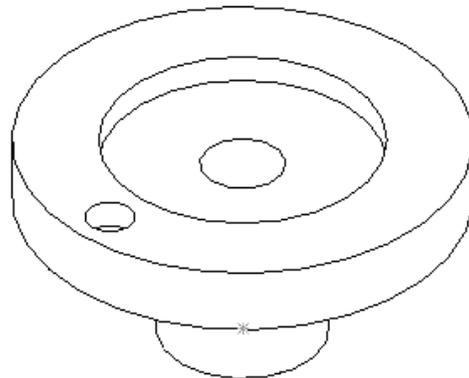
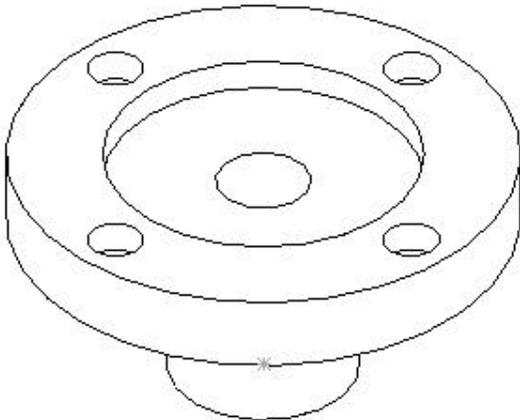
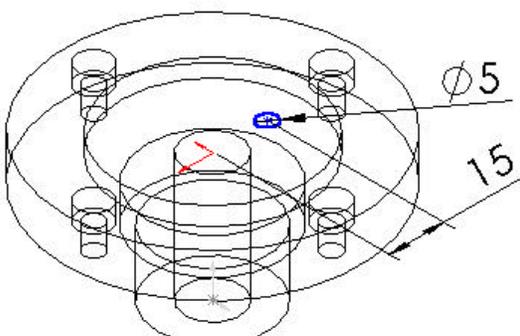


Figura A4.14– Janela de aplicação do padrão circular

|   |   |
|---|---|
| <p>15. Ativamos o comando <i>circular pattern</i>  e selecionamos o rasgo que acabamos de representar e definimos o ângulo entre eles e a quantidade dos mesmos bem como o eixo principal de simetria da peça.<br/>Ativamos o comando <i>hide</i> para ocultar as linhas invisíveis</p>  |   |
| <p>16. Selecionamos a face superior do rebaixo do flange damos o comando <i>sketch</i> , acessamos <i>circle</i>  e desenhamos um círculo numa posição qualquer e após cotamos  o diâmetro e o posicionamento do furo com relação ao centro do cilindro.<br/>Selecionamos o comando <i>extrude cut</i>  e ativamos a opção <i>blind</i> e atribuímos o valor 5mm.</p> |  |

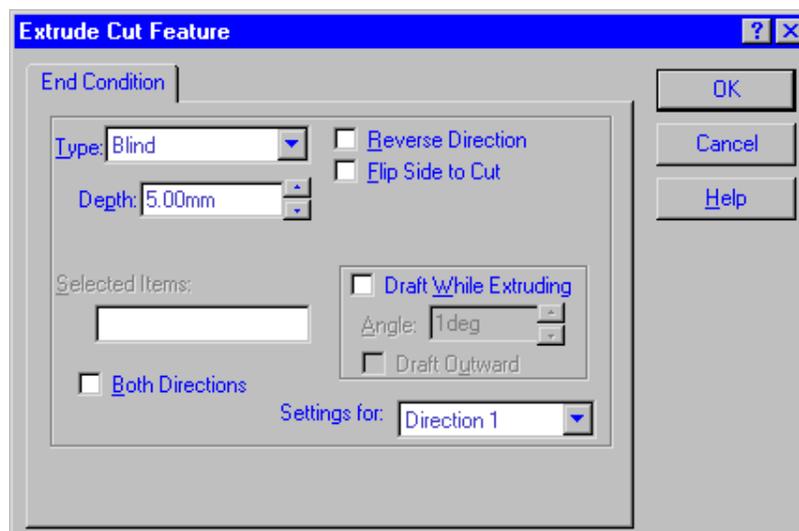


Figura A4.15 – Janela de corte por extrusão do perfil

17. Ativamos o comando *circular patern*  e selecionamos o furo que acabamos de representar e definimos o ângulo entre eles e a quantidade dos mesmos e o eixo principal de simetria da peça. Ativamos o comando *hide* para ocultar linhas invisíveis do sólido

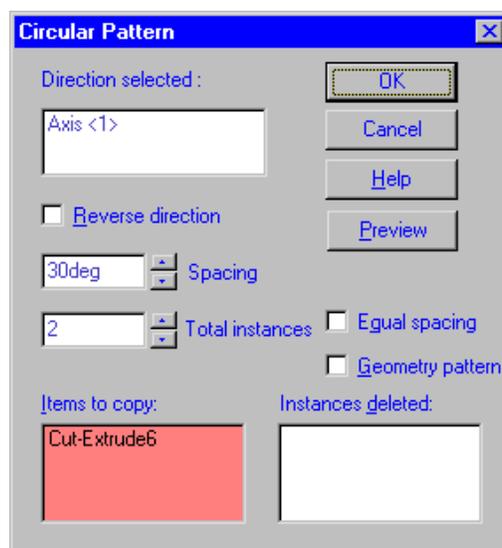
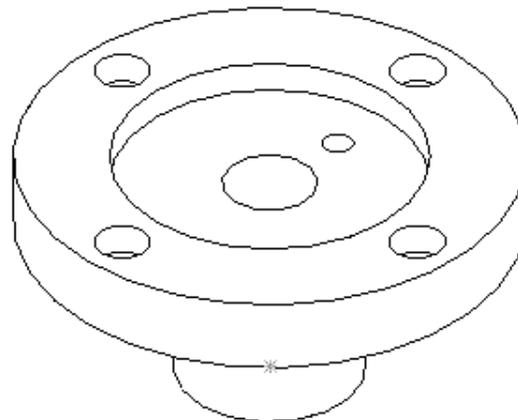
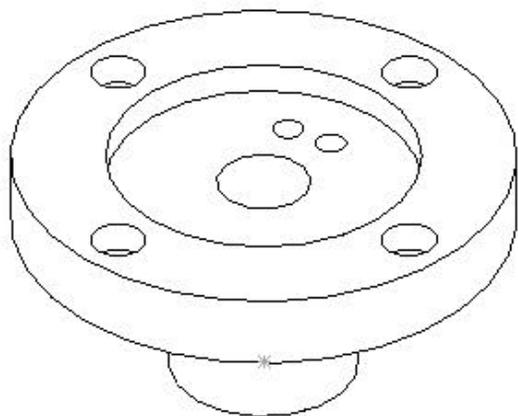
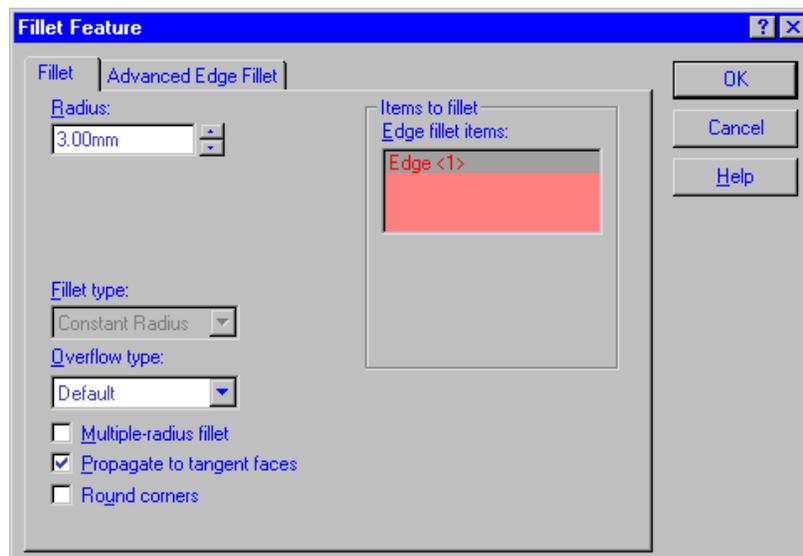


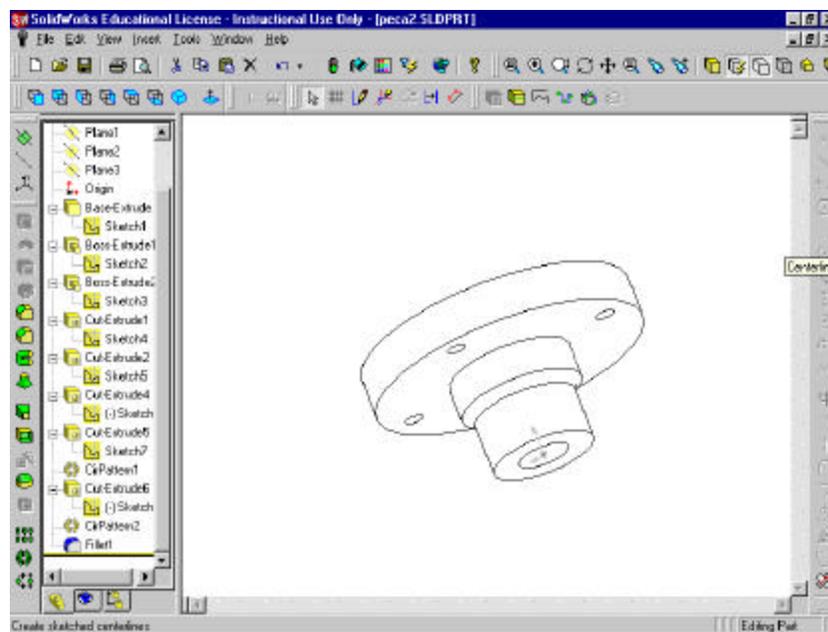
Figura A4.16– Janela de aplicação do padrão circular

18. Selecionamos o comando *fillet* e especificamos o valor de 3mm e selecionamos o perfil circular do cilindro com menor diâmetro 



Figura A4.17 – Janela de aplicação do *fillet*

19. Seleccionamos o comando de visualização *rotate 3D* para mostrarmos os detalhes da parte inferior do flange.

Figura A4.18 – Aplicação do visualização *rotate 3D* na peça

20. Seleccionamos o comando de renderização e o modelo se apresenta conforme mostra a figura

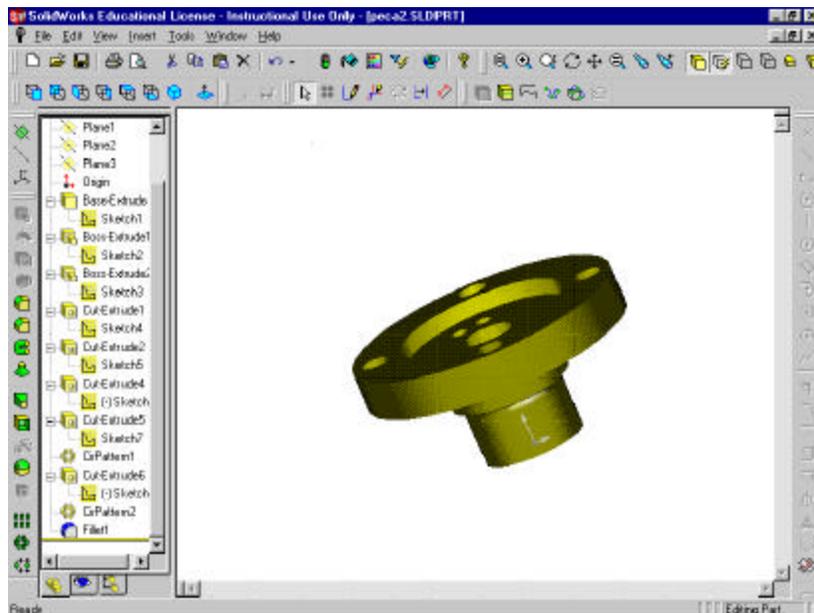
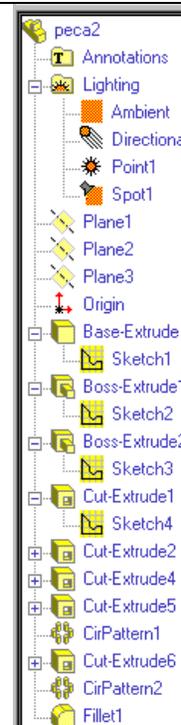
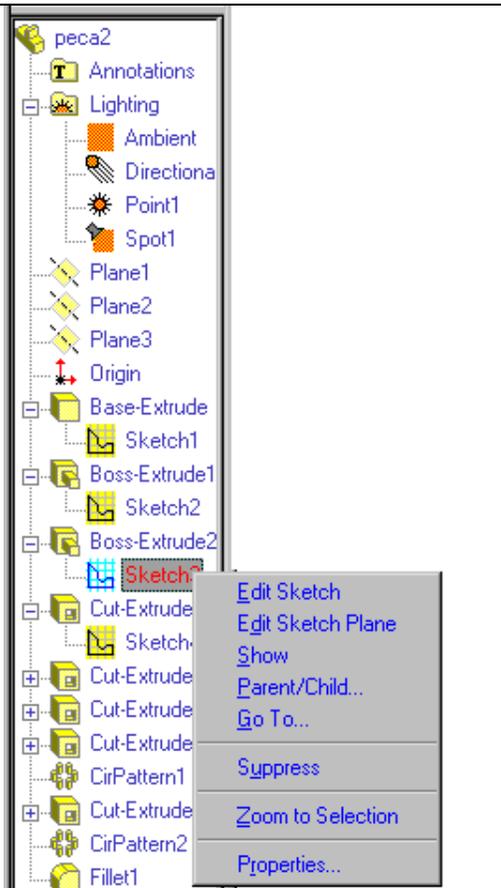


Figura A4.19– Aplicação do comando de renderização na peça

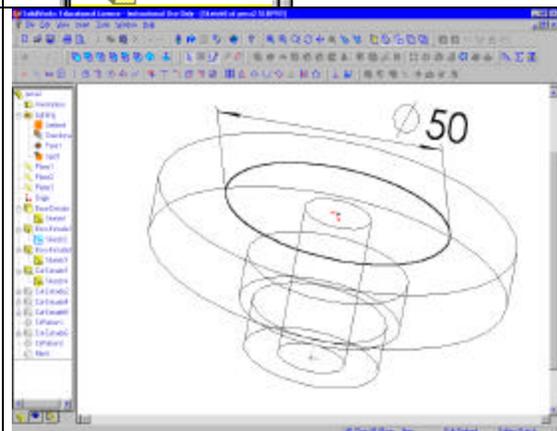
21. Realizando uma análise mais aprofundada sobre os recursos deste modelador sólido podemos concluir que a grande vantagem dos *softwares* de CAD paramétricos é a possibilidade que os mesmos nos oferecem de poder editar a qualquer momento parte da peça que por uma eventualidade não tenha sido representada corretamente ou precise ser modificada, isto é feito de forma rápida e fácil.



22. Observamos que na árvore de gerenciamento do *Solidworks* mostrada na figura ao lado que podemos clicando com a tecla esquerda do mouse no quadrado que contém os sinais de mais (+) ou menos (-), podemos realizar a edição de qualquer das partes da peça e ainda que clicando com a tecla direita do mouse, abrir-se-á uma caixa de diálogo onde podemos editar o *sketch* ou *feature* do modelo ou outro item de cada das partes do modelo. Retornando ao modo normal do programa, automaticamente a peça é reconstruída com as devidas alterações promovidas.



23. Na figura ao lado é mostrada a edição do furo representado pelo *cut-extrude 2* e podemos editar o *sketch 5* com relação ao diâmetro ou profundidade do rebaixo como também o ângulo de inclinação do mesmo.



## **ANEXO 5**

### **PLANO DE ENSINO**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO  
DEPARTAMENTO DE EXPRESSÃO GRÁFICA.

#### **Plano de ensino**

Disciplina: MODELAGEM

Código: EGR XXXX

Pré-requisito: EGR XXXX

Carga Horária: 72 Horas aula - 4 Horas aula/semanais

Semestre: 2000/2

#### **Ementa:**

Introdução - Histórico da computação gráfica - Conceitos básicos de modelagem - Tipos de modelagem - Visualização em 3D - Planos de trabalho e/ou referência - Sistemas de coordenadas e entrada de dados - Estratégias de criação de modelos - Comandos de modelagem - Edição de modelos - Dimensionamento de 3D - Tratamento superficial.

#### **Objetivo Geral**

Trabalhar com o auxílio do computador os conceitos adquiridos em Modelagem I e Sistemas de representação utilizando programas (software) específicos para modelagem gráfica tridimensional de objetos reais ou imaginários.

### Objetivos específicos

Apresentar aos alunos os conceitos de modelagem em 2D, 21/2D e 3D.

Familiarizar os alunos com a visualização em 3D incluindo planos de trabalho e/ou referência, perspectiva isométrica, vistas ortográficas.

Mostrar aos alunos o sistema de coordenadas em 3D e as regras básicas para a entrada de dados.

Orientar os alunos na definição de uma estratégia apropriada para a modelagem de objetos complexos.

Capacitar os alunos à dominar os comandos de modelagem incluindo a criação de modelos em superfície e sólidos com o auxílio dos comandos de extrusão, revolução, espelhamento, corte, rotação entre outros

Mostrar aos alunos os principais comandos de edição de modelos tais como chanfrar, arredondar, redimensionar etc.

Apresentar aos alunos os principais comandos de tratamento das superfícies dos modelos disponíveis na maioria dos programas de modelagem.

### Conteúdo programático

| Unid. | Conteúdo   | Horas/aula |
|-------|--|------------|
| 01    | Introdução <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação do programa</li> <li>• Metodologia de trabalho</li> <li>• Sistema de avaliação</li> <li>• Bibliografia</li> </ul> | 02         |
| 02    | Histórico da computação gráfica<br>Evolução  | 02         |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 03 | <p>Conceitos básico</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Normalização</li> <li>● Representação bidimensional <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vistas ortográficas</li> <li>➤ Perspectivas</li> </ul> </li> <li>● Representação tridimensional - Tipos de modelagem <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Wireframe</li> <li>➤ Superfícies</li> <li>➤ Sólida</li> </ul> </li> </ul> | 12 |
| 04 | <p>Visualização em 3D</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Planos de trabalho e/ou referência</li> <li>● Vistas ortográficas (paralelas)</li> <li>● Vistas isométrica</li> <li>● Dinâmica</li> <li>● Zoom e Pan</li> </ul>  | 04 |
| 05 | <p>Estratégias de criação de modelos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelagem pôr composição</li> <li>● Modelagem pôr decomposição e recorte</li> <li>● Modelagem a partir de elementos construtivos (Features)</li> </ul>  | 04 |
| 06 | <p>Comandos básicos de modelagem eletrônica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Extrusão</li> <li>● Revolução</li> <li>● Corte</li> <li>● Adição/Subtração</li> <li>● Sweep</li> <li>● Loft</li> <li>● Shell/Wall</li> </ul>   | 08 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 07 | Comandos de edição <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chanfrar</li> <li>• Arredondar</li> <li>• Cortar</li> <li>• Espelhar</li> <li>• Copiar</li> <li>• Mover</li> <li>• Etc..</li> </ul> | 08 |
| 08 | Dimensionamento <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionamento</li> <li>• Redimensionamento (edição de medidas e tamanhos)</li> </ul>   | 04 |
| 09 | Tratamento de superfícies <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luz</li> <li>• Materiais</li> <li>• Texturas</li> <li>• Mapeamento</li> <li>• Cores</li> <li>• Etc..</li> </ul>              | 08 |
| 10 | Trabalho Final  | 12 |

### **Metodologia**

Aulas expositivas sobre os aspectos teóricos referentes aos conteúdos programáticos, seguidas de aulas práticas com a utilização de computadores.

### **Avaliação**

A avaliação incluirá

- Participação dos alunos nas atividades propostas durante o semestre
- Testes específicos

- Trabalho final a ser apresentado
- Prova final

### **Bibliografia**

CADENCE. USA: Miller Freeman Publication, 1995.

CADESIGN. São Paulo: Market Press, 1994.

CADWARE. São Paulo: CADware Technology, 1996.

COMPUTER GRAPHICS WORLD. USA: PennWell Publishing Company, 1995.

GOMES, Jonas; VELHO, Luiz. *Computação gráfica*. Rio de Janeiro: Ed. Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 1998.

GRAPHICS COURSE ILLUSTRATIONS. Capturado na internet em 20 jul. 2000. Ralph Martin. 15 mar. 1994. <http://egeria.cm.cf.ac.uk/Ralph/graphicspics/graphicspics.html>

HSUAN-AN, Tai. *Desenho e organização bi e tri dimensional da forma*. Goiânia: Ed. UGG, 1997.

LAZZURI, José Eduardo Cunha. *Mechanical Desktop 4.0 – Guia prático*. São Paulo: Ed. Érica, 1999.

SOLID MODELLING CONCEPTS. Capturado na internet em 24 jul. 2000. Irina Voiculescu. 6 mar. 1998. <http://www.bath.ac.uk/~enpidv/Report/node4.html>.

SOUZA, Antônio Carlos de et al. *AutoCad R14: Guia prático para desenhos em 3D*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.

SOUZA, Antônio Carlos de et al. *AutoCad R14: Guia prático para desenhos em 2D*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

WONG, Wucius. *Princípios de forma e desenho*. (trad. por Alvarar Helena Lamparelli). São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1998.