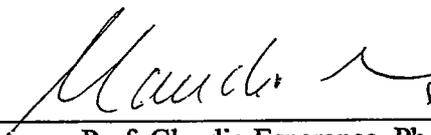


ANÁLISE DE INTERAÇÃO NO PROCESSO DE INSTANCIAÇÃO DE
OBJETOS 3D

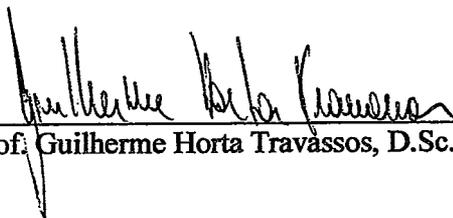
Eduardo Barrére

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS
EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

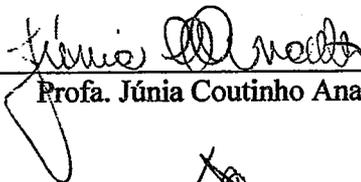
Aprovada por:



Prof. Claudio Esperança, Ph. D.



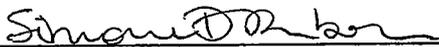
Prof. Guilherme Horta Travassos, D.Sc.



Prof. Júnia Coutinho Anacleto, Ph. D.



Prof. Luís Alfredo Vidal de Carvalho, D. Sc.



Prof. Simone Diniz Junqueira Barbosa, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2007

BARRÉRE, EDUARDO

Análise de Interação no Processo de Instanciação de Objetos 3D [Rio de Janeiro] 2007

XII, 127 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 2007)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Modelagem 3D, 2. Interface Humano-Computador, 3. Análise de Interação

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

*À minha família Celia,
Elaine, Bruno e Ana Paula,
pelo eterno apoio.*

Agradecimentos

Todo desafio que envolve tempo, dedicação e desgaste tem sempre um fator que nos ajuda a vencê-lo, a Fé. É impossível falar em Fé sem citar e agradecer a Deus pela esperança, bom senso e acolhimento que Ele sempre nos proporciona nos momentos de maior dificuldade. A Ele, todo o meu agradecimento!

Tenho que fazer um agradecimento muito especial à minha família Célia, Elaine, Bruno e Ana Paula, que se privaram de tantas coisas para me apoiarem nesta jornada. Foram eles quem mais tiveram que aturar o mau humor, o nervosismo e a ansiedades em diversos períodos desta jornada. Muito obrigado.

Aos meus orientados de iniciação científica Geraldo Clézio de Oliveira Jr., Ana Luiza Dias e Samuel de Matos Rezende pela colaboração no árduo desenvolvimento da FMI3D, muito obrigado!

Agradeço a todos os membros da Banca Examinadora pelas orientações que nortearam a versão final deste trabalho, principalmente a professora Junia pela colaboração dada durante o desenvolvimento deste trabalho e a professora Simone pela leitura do texto.

Agradeço ao professor Claudio Esperança, não só pela orientação de uma tese, que já é algo especial e imensurável, mas principalmente por aceitar o desafio de trabalhar com situações e problemas que vão muito além da área de Computação Gráfica e envolvem um termo desafiador, a interdisciplinaridade. Mas enfim, acho que conseguimos aprender um pouco mais sobre interface humano-computador. Muito obrigado.

A todos os funcionários, professores e colegas da COPPE, meu agradecimento pelo apoio, atenção e presteza nas atividades que norteiam o desenvolvimento de um doutorado.

Por último e não menos importante, agradeço à PUC Minas pelo apoio e pela oportunidade de continuar meus estudos.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ANÁLISE DE INTERAÇÃO NO PROCESSO DE INSTANCIÇÃO DE OBJETOS 3D

Eduardo Barrére

Dezembro/2007

Orientador: Claudio Esperança

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Este trabalho apresenta uma análise de interação humano-computador no processo de instanciação de objetos 3D, funcionalidade básica de todo software de modelagem 3D. Para a realização desta análise foi desenvolvida uma ferramenta que permite o controle dos recursos de interação utilizados durante o processo de instanciação de um objeto 3D. Utilizando esta ferramenta, foram realizadas pesquisas para definir clara e objetivamente possibilidades de interação durante o processo de instanciação e seus impactos no desempenho do usuário. Com base nos resultados obtidos, foi possível elaborar uma série de recomendações para os desenvolvedores de aplicativos de modelagem 3D e também descrever novas possibilidades de interação durante o processo de instanciação.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

INTERACTION ANALYSIS IN THE PROCESS OF INSTANTIATION 3D
OBJECTS

Eduardo Barrére

December/2007

Advisor: Claudio Esperança

Department: Computing and Systems Engineering

The primary purpose of this study is to analyze the human-computer interaction in the process of 3D object instantiation in 3D modeling software. In order to examine such interaction, we developed a tool that controls the interaction resources used during the human-computer interaction. By using this tool, much work was carried out to define a clear and objective range of 3D interaction possibilities for the instantiation process, as well as its impact on user performance. Based on the obtained results, it was possible to put together a series of recommendations that can be useful to 3D modeling software developers, and to present new interaction possibilities that can be used in the instantiation process.

Sumário

| | |
|--|----|
| 1 - Introdução | 1 |
| 2 - Instanciação 3D | 4 |
| 2.1 Modelagem Geométrica | 5 |
| 2.2 Transformações Geométricas | 7 |
| 2.3 Visualização | 9 |
| 2.4 Espaço 3D | 11 |
| 3 - Interfaces para Instanciação 3D | 13 |
| 3.1 Interface | 13 |
| 3.1.1 Linguagem de Especificação da Mensagem do Designer | 16 |
| 3.2 Interação | 18 |
| 3.2.1 Usabilidade | 23 |
| 3.3 Interação em cenários 3D | 27 |
| 3.4 Estilos de Interação na Modelagem de Objetos 3D | 28 |
| 4 - Software para Instanciação 3D | 30 |
| 4.1 Arquitetura | 31 |
| 4.2 Funcionalidades | 32 |
| 4.2.1 Funcionalidades de Modelagem | 33 |
| 4.2.2 Funcionalidades de Interação | 33 |
| 4.2.3 Funcionalidades de Armazenamento de <i>Log</i> | 36 |
| 4.3 Implementação da FMI3D | 38 |
| 4.4 Especificações de Interfaces da FMI3D | 41 |
| 4.5 Aspectos Relevantes da Implementação | 44 |
| 4.5.1 Funcionalidades Principais | 44 |
| 4.5.2 Interfaces | 48 |
| 4.5.3 Visualização do Cenário | 50 |
| 4.5.4 Manipuladores | 52 |
| 4.5.5 Armazenamento, Importação e Exportação | 53 |
| 5 - Avaliação de Interação em Sistemas de Modelagem 3D | 55 |
| 5.1 Aspectos Metodológicos | 55 |
| 5.1.1 Método para Avaliação de Usabilidade | 55 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.1.2 | Grupo de Usuários | 58 |
| 5.1.3 | Coleta de Dados..... | 59 |
| 5.1.4 | Relevância da Opinião dos Usuários | 60 |
| 5.2 | Pesquisa Piloto sobre aplicativos de instanciação 3D | 61 |
| 5.2.1 | Aplicação e Resultados da Primeira Etapa | 63 |
| 5.2.2 | Aplicação e Resultados da Segunda Etapa | 65 |
| 5.2.3 | Resultados Gerais da Pesquisa Piloto..... | 66 |
| 5.3 | Observação dos Usuários | 67 |
| 6 | Pesquisas Realizadas | 70 |
| 6.1 | Pesquisa sobre Modelagem de Cenários | 70 |
| 6.1.1 | Modelagem de Cenários – Primeira Etapa | 73 |
| 6.1.2 | Modelagem de Cenários – Segunda Etapa | 75 |
| 6.1.3 | Usuários | 77 |
| 6.1.4 | Aprendizagem..... | 78 |
| 6.1.5 | Memorização | 79 |
| 6.1.6 | Eficiência de Uso..... | 80 |
| 6.1.7 | Análise de <i>Logs</i> | 82 |
| 6.1.8 | Avaliação sumária dos estilos de interação | 85 |
| 6.1.9 | Problemas | 86 |
| 6.1.10 | Satisfação..... | 87 |
| 6.2 | Pesquisa sobre Cursores 3D | 87 |
| 6.2.1 | Aplicação | 88 |
| 6.2.2 | Análise de <i>Logs</i> | 89 |
| 6.2.3 | Cursor 3D | 90 |
| 6.2.4 | Formato do cursor 3D..... | 98 |
| 6.3 | Pesquisa sobre Visões..... | 101 |
| 7 | Contribuições e Trabalhos Futuros | 105 |
| 7.1 | Lições sobre o uso de cursores 3D | 107 |
| 7.1.1 | Movimentação do Cursor 3D | 107 |
| 7.1.2 | Propriedades do Cursor 3D..... | 108 |
| 7.1.3 | Informações Adicionais..... | 109 |
| 7.1.4 | Pré-Instanciação..... | 110 |
| 7.2 | Trabalhos Futuros | 110 |
| | Referências Bibliográficas..... | 112 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO I - Armazenamento de Cenários na FMI3D | 117 |
| ANEXO II - Comparação Blender x 3DStudio – 1ª Etapa..... | 119 |
| ANEXO III - Comparação Blender x 3DStudio - 2ª ETAPA | 125 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Relacionamento entre as áreas de CGxVCxPI | 4 |
| Figura 2 - Transformações lineares afins | 7 |
| Figura 3 – Ordem e quantidade de transformações | 8 |
| Figura 4 - Objetos posicionados de forma interdependentes..... | 8 |
| Figura 5 - Subdivisões das Projeções Planares..... | 9 |
| Figura 6 - Visualização (BATTAIOLA, 2004) | 10 |
| Figura 7 - Posicionamento no Cenário (BATTAIOLA, 2004)..... | 10 |
| Figura 8 - Esquema de transformação de coordenadas na OpenGL | 11 |
| Figura 9 - Interfaces do Corel Draw | 15 |
| Figura 10 - Interface do Blender..... | 16 |
| Figura 11 - Formalismos de Apoio ao <i>Designer</i> (LEITE, 1999) | 16 |
| Figura 12 - Mensagens do <i>Designer</i> (LEITE, 1999)..... | 17 |
| Figura 13 - Processo de interação humano-computador..... | 19 |
| Figura 14 - Fatores envolvidos na Usabilidade | 24 |
| Figura 15 - Padrão MVC (KRASNER, 1998)..... | 31 |
| Figura 16 - Arquitetura interna da FMI3D | 32 |
| Figura 17 - As Quatro Visões no software 3D Studio Max | 34 |
| Figura 18 - Instanciação via Manipulação Direta..... | 35 |
| Figura 19 - Exemplos de Cursores 3D (3DS, FMI3D, FMI3D e Blender) | 36 |
| Figura 20 - <i>Log</i> da FMI3D | 38 |
| Figura 21 - Hierarquia das Classes OpenGL em FXRuby | 39 |
| Figura 22 - Versão atual da FMI3D | 40 |
| Figura 23 - Interface para alteração da cor de um objeto | 41 |
| Figura 24 - Exemplo de Grades 2D e 3D no Blender..... | 46 |
| Figura 25 - Elementos básicos de interface | 48 |
| Figura 26 - Interface do Blender..... | 49 |
| Figura 27 - Distribuição dos elementos de interface na FMI3D | 50 |
| Figura 28 - Exemplos de Manipuladores..... | 52 |
| Figura 29 - Modelo de atributos de aceitabilidade de Nielsen (1994) | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 30 - Exemplo do Modelo de Usabilidade (NIELSEN, 1994) | 58 |
| Figura 31 - Equações para Cálculo da Normalização do Atributo (a) e do RR (b)..... | 60 |
| Figura 32 - Fluxo de Ações durante o Processo de Instanciação | 68 |
| Figura 33 – Cenários modelados | 74 |
| Figura 34 - Cenário Seis: Castelo | 76 |
| Figura 35 - Cenário Sete: Sala..... | 76 |
| Figura 36 - Perfil do Usuário que participou da Pesquisa | 77 |
| Figura 37 - Gráficos Comparativos do Impacto no uso do Cursor 3D..... | 96 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Regras de Mapeamento Semântico (LEITE, 1999)..... | 18 |
| Tabela 2 – Lista de propriedade dos objetos 3D | 46 |
| Tabela 3 - Modelo de Usabilidade Aplicado | 71 |
| Tabela 4 - Cálculos para definição do RR dos participantes..... | 78 |
| Tabela 5 - Tempo gasto com a instanciação do primeiro objeto do cenário | 83 |
| Tabela 6 - Tempo total para montar o cenário..... | 83 |
| Tabela 7 - Quantidade de erros cometidos pelo usuário..... | 85 |
| Tabela 8 – Destaques da Interação | 86 |
| Tabela 9 - Quantidade média de arrastes e cliques com o cursor 3D..... | 90 |
| Tabela 10 - Tempo médio gasto com o posicionamento do Cursor 3D | 91 |
| Tabela 11 - Média de modificações no posicionamento dos objetos | 92 |
| Tabela 12 - Tempo médio gasto para o posicionamento de um objeto | 93 |
| Tabela 13 - Média de interações para a instanciação de cada objeto | 93 |
| Tabela 14 - Tempo médio gasto para a instanciação de cada objeto..... | 94 |
| Tabela 15 - Tempo médio gasto para a instanciação de todos os objetos | 94 |
| Tabela 16 - Valores referentes ao log da FMI3D | 100 |
| Tabela 17 - Questionário sobre Tipos e Quantidade de Visões..... | 102 |
| Tabela 18 - Movimentação do cursor 3D | 108 |
| Tabela 19 – Mudança nas propriedades básicas do cursor 3D | 109 |
| Tabela 20 – Exibição de informações adicionais via cursor 3D..... | 109 |

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho tem como objetivo analisar as possibilidades de interação a serem oferecidas por um software para instanciação 3D, buscando entender os motivos que levam o usuário a utilizar uma forma de interação em detrimento de outra, as limitações de interação impostas por um software desta natureza e, como consequência desta análise propor, o uso de recursos de interação pouco explorados atualmente neste tipo de software.

A motivação para a realização deste trabalho teve origem na vivência de professores e alunos do Laboratório de Computação Gráfica da COPPE/UFRJ e através da leitura de depoimentos de usuários em fóruns de diversas comunidades de aplicativos 3D, onde se constatou que o processo de interação em um software para a área de computação gráfica não é simples e apresenta peculiaridades, principalmente quando se é restrito ao uso de dispositivos de interação 2D. Tal observação suscitou o desejo de se estudar as soluções de interação correntemente empregadas em aplicativos dessa natureza e avaliar em que medida tais soluções são efetivas e adequadas.

Para realizar um estudo desse tipo, é inevitável que se recorra a técnicas e procedimentos produzidos no escopo da área de Interação Humano-Computador (IHC). Com efeito, considerável esforço tem sido despendido por pesquisadores daquela área com objetivos bastante semelhantes ao do presente trabalho. É forçoso reconhecer, entretanto, que pesquisas centradas no estudo de interfaces normalmente requerem um foco bastante nítido e, portanto, bastante mais estreito do que o que era almejado para esta tese. Como resultado, temos aqui um trabalho que não deve ser julgado como uma investigação típica da área de IHC, mas sim como um esforço no sentido de entender melhor como interfaces são implementadas e usadas em aplicativos 3D típicos assim como identificar práticas, técnicas ou regras gerais capazes de melhorar a usabilidade de tais interfaces.

Este ficou restrito à utilização de recursos de interação 2D (teclado, mouse e monitor) e não a recursos de interação para realidade virtual. Esta restrição se justifica pelo fato de que os ambientes de interação para realidade virtual são caros e demandam maior espaço físico e, conseqüentemente, ainda são relativamente pouco utilizados em trabalhos na área de computação gráfica, principalmente em modelagem 3D.

Desde o início da área de computação gráfica, os profissionais e pesquisadores dedicam seus esforços no desenvolvimento de algoritmos e técnicas cada vez mais complexos e realistas, mas durante esse tempo pouco esforço foi feito para se estudar e desenvolver o processo de interação de um usuário com um software para esta área. Observa-se que estudos de interatividade freqüentemente se concentram em realidade virtual ou o uso de técnicas e dispositivos de interação específicos. As demais subáreas da computação gráfica e suas aplicações tendem a apresentar interfaces elaboradas conforme padrões desenvolvidos pelos principais fabricantes ou fruto da intuição de grupos de desenvolvedores.

Visando contribuir para a área de computação gráfica, no que diz respeito ao processo de interação, buscou-se uma funcionalidade básica que estivesse presente em grande parte dos sistemas desta área, chegando assim às aplicações para instanciação de objetos tridimensionais, chamados de objetos 3D. Essas aplicações também podem ser módulos em sistemas de maior complexidade como software para CAD (*Computer-Aided Design*) e pacotes gráficos, por exemplo.

Neste trabalho é utilizado o termo software para instanciação de objetos 3D para representar tanto os sistemas isolados, quanto os módulos de grandes sistemas de desenvolvimento gráfico que tenham a funcionalidade de instanciação de objetos 3D. Um software desta natureza deve suprir a maioria das seguintes operações (FOLEY, 1997):

- A instanciação propriamente dita de objetos pré-definidos (esfera, cubo, cone, etc.);
- A instanciação de objetos modelados (superfícies, *wireframes*, sólidos, etc.);
- A manipulação das propriedades de um objeto (material, quantidade de pontos/faces, etc.);
- As transformações lineares afins (translação, rotação, escala e cisalhamento);

- As transformações de visualização (manipulação de câmeras e manipulação de objetos);
- As transformações de projeção (projeção paralela e projeção perspectiva).

A objetividade das operações (somente instanciação de objetos), a simplicidade (a interface não contém botões/menus que levem a outra funcionalidade que não seja a instanciação) e total controle sobre a interface foram pontos importantes na realização das pesquisas. Sendo assim, se verificou que os principais aplicativos disponíveis na área (CorelDraw[®], PhotoShop[®], Maya[®], 3D Studio[®], Blender[®], AutoCAD[®], etc) não oferecem toda esta flexibilidade em suas interfaces e conseqüentemente acabariam interferindo no estudo, o que justificou o desenvolvimento de um software específico para tal finalidade.

Como conseqüência, foi desenvolvido um protótipo que permite um controle total sobre a sua interface, permitindo configurar quais os recursos de interação estão disponíveis ao usuário durante a execução do software e omitindo operações e demais funcionalidades, que dificultam um determinado estudo de interação. Este protótipo foi chamado de FMI3D, Ferramenta Multi-interface para Instanciação 3D.

Utilizando a FMI3D foram realizadas pesquisas que contribuíssem para atingir o objetivo inicial de analisar as possibilidades de interações oferecidas por um software para instanciação e suas peculiaridades.

No texto que se segue, são apresentados inicialmente os conceitos das áreas de Computação Gráfica e IHC que estão presentes numa aplicação para instanciação de objetos 3D. Em seguida é abordado o funcionamento de uma aplicação para instanciação 3D, descrito com base nos aspectos focados neste trabalho e que resultam no desenvolvimento da FMI3D.

Com base nos conceitos e no protótipo desenvolvido é apresentada a metodologia utilizada para a realização das pesquisas e posteriormente a descrição de cada pesquisa com a análise de seus resultados. Em seguida é feita a discussão de alguns recursos de interação e por último são descritas algumas contribuições deste trabalho e propostos trabalhos futuros. Nos anexos foram incluídas documentações complementares às atividades realizadas.

Capítulo 2

Instanciação 3D

Neste capítulo são descritos os aspectos pertinentes à área de computação gráfica e que colaboram para o desenvolvimento deste trabalho. O conteúdo deste capítulo foca a idéia da instanciação, conceituada como a junção de um modelo geométrico, com suas características de representação e apresentação, e as transformações lineares afins a ele aplicadas. É descrito também como é feita a visualização do cenário 3D num dispositivo 2D, fato importante e restritivo durante a interação do usuário com o software.

Inicialmente, é necessário caracterizar a Computação Gráfica (CG). Ela é a área da computação que estuda a geração, manipulação e interpretação de imagens por meio de computadores (FOLEY, 1997). Para isso, são utilizados modelos matemáticos para retratar a realidade da forma mais fiel possível.

O objetivo inverso, ou seja, a recuperação dos dados a partir de uma imagem, corresponde à área de Visão Computacional (VC). Ainda existe a necessidade de manipulação de imagens, com o objetivo de processar uma imagem base para produzir uma nova imagem, a partir de operações de filtragem e de deformação. Esses problemas são tratados na área de Processamento de Imagens (PI). A Figura 1 esquematiza os relacionamentos entre as áreas citadas (CAVALCANTI, 2000).

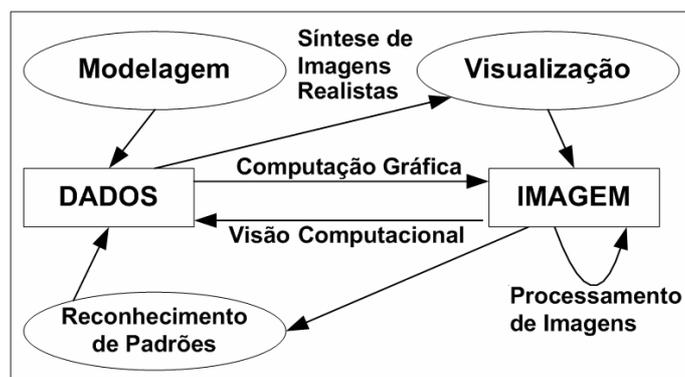


Figura 1 - Relacionamento entre as áreas de CGxVCxPI

Em outras palavras, a partir de um modelo matemático (armazenado como um conjunto de dados) utilizam-se técnicas para a visualização desse modelo, gerando assim uma imagem. Por outro lado, partindo da aquisição de uma imagem real, utilizam-se técnicas de reconhecimento de padrões para obter informações, gerando dados que poderão ser visualizados na forma de novas imagens que contêm somente alguns aspectos requisitados da imagem original.

No que diz respeito a um software para instanciação de objetos 3D, ele é composto a partir de técnicas de modelagem e visualização (dos modelos gerados). A seguir, abordamos as principais características dessas técnicas que afetam um software desta natureza.

2.1 Modelagem Geométrica

Segundo Azevedo (2003), a modelagem se refere à área da ciência da computação que utiliza técnicas de computação gráfica, matemática aplicada e computacional como ferramentas para criar representações abstratas de sistemas físicos, processos ou objetos. Já Foley (1997) conceitua a modelagem geométrica como um conjunto de métodos que visam descrever a forma e as características geométricas de um objeto.

Os aplicativos que permitem a modelagem de objetos têm como principais metas: a representação e a especificação dos modelos. A representação lida com o problema de como caracterizar objetos e como converter esta caracterização em estruturas concretas. Já a especificação se refere a técnicas usadas para construir essas estruturas e a interface do sistema com o usuário (VELHO, 2002).

Várias técnicas e algoritmos vêm sendo desenvolvidos para que a modelagem possa cumprir o seu papel de representar objetos, oriundos do mundo real ou não, em sistemas computacionais. Esquemas usados na representação da geometria de objetos e superfícies podem ser categorizados em três classes gerais (DINH, 2002):

- **Representação Discreta:** o modelo é formado por um conjunto de complexos simpliciais que podem incluir pontos, segmentos, triângulos e tetraedros. A principal vantagem desta representação é a sua capacidade de representar formas de topologia arbitrária com refinamento também arbitrário;

- **Representação Paramétrica:** descreve superfícies compostas por retalhos (*patches*), definidos por equações paramétricas. As superfícies paramétricas podem ser amostradas em resolução arbitrária e usadas para representar superfícies suaves;
- **Representação Implícita:** descreve superfícies a partir de conjuntos de nível (*level set surface*) de um dado campo escalar. Em outras palavras, um conjunto de nível é um conjunto de pontos onde uma função implícita assume um valor especificado, sendo que o campo escalar pode ser expresso analiticamente ou amostrado discretamente.

Estes esquemas de representação trazem consigo uma série de características que os tornam mais adequados a cada tipo de aplicação. As principais formas de representação na construção dos modelos geométricos são:

- **Representação por Primitivas:** consiste em agregar instâncias de objetos de geometria simples (cubos, esferas, cones, etc.);
- **Varredura (*sweep*):** permite criar sólidos de revolução, onde a partir de um contorno 2D se realiza um deslocamento e, à medida que este contorno descreve uma trajetória no espaço 3D, são gerados os polígonos que irão compor o objeto final (DIEGUES, 1989). O tipo mais simples de varredura é definido por uma área 2D movida ao longo de um caminho normal ao plano da área para criar um volume, chamada de varredura translacional, varredura linear ou extrusão. Já a varredura rotacional, produz as chamadas superfícies de revolução ou torneadas e é definida pela rotação de uma área sobre um eixo (HERMIDA, 1994);
- **Representação por Bordas (B-rep):** define um sólido indiretamente através da representação das suas superfícies limitantes, ou seja, representa-se um objeto sólido através de uma descrição de sua borda. A borda, ou fronteira, de um objeto pode ser dividida em faces, vértices e arestas de forma ilimitada, não existindo uma forma única de representar os limites de um objeto. Para ser considerado um modelo válido é necessário que este inclua as seguintes condições:
 - O conjunto de faces que compõem o modelo se fecha;
 - As faces do modelo não intersectam outras faces, exceto as que possuem vértices e arestas em comum;
 - As faces são superfícies simples que não se auto-intersectam.

- **Decomposição volumétrica:** descreve sólidos através da união de blocos básicos, que podem variar no tipo, tamanho, posição, parametrização e orientação. A maneira como os blocos são combinados distingue cada variação deste esquema de representação. São modelos de representação por decomposição volumétrica: enumeração exaustiva, representação por “Octree”, decomposição de células e Árvores de Partição Binária do Espaço (“BSP-Trees”).
- **Geometria Sólida Construtiva (CSG):** Este método consiste em compor sólidos complexos a partir de primitivas geométricas através de transformações no espaço e operações booleanas. Em geral, estas primitivas geométricas são objetos simples de descrição e representação, como cubos ou esferas (AZEVEDO, 2003).

De forma geral, podemos dizer que a modelagem geométrica trata computacionalmente a criação e a manipulação de objetos geométricos. Através das técnicas de modelagem geométrica podemos descrever e/ou representar a forma (largura, altura, áreas,...) de objetos reais.

2.2 Transformações Geométricas

Transformações geométricas são essenciais para a modelagem de um cenário, pois a partir delas podemos mudar o tamanho de um objeto (escala), o seu posicionamento (translação), deformá-lo (cisalhamento) ou rotacioná-lo (rotação), entre outras operações (GATTASS, 2005).

Para este trabalho é importante destacar a transformação linear afim (*affine linear transformation*) que permite a alteração das propriedades geométricas de objetos no espaço 3D. A Figura 2 ilustra as matrizes de transformações lineares afins aplicáveis a um objeto no espaço 3D, com as quais se efetuam as mudanças geométricas necessárias para modificar um objeto recém instanciado.

| | | | |
|---|---|--|--|
| <p>Matriz de transformação linear afim</p> $T = \begin{bmatrix} a & b & c & j \\ d & e & f & k \\ g & h & i & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | <p>Rotação Translação</p> $T = \begin{bmatrix} a & b & c & j \\ d & e & f & k \\ g & h & i & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | <p>Escala</p> $T = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | <p>Deformação</p> $T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Sh_x & 0 \\ 0 & 1 & Sh_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
|---|---|--|--|

Figura 2 - Transformações lineares afins

Diferentes combinações de transformações podem chegar ao mesmo resultado, ou seja, dois usuários podem modelar o mesmo objeto e chegar ao mesmo resultado aplicando transformações distintas em gênero e ordem. A Figura 3 ilustra um exemplo em 2D (GATTASS, 2005).

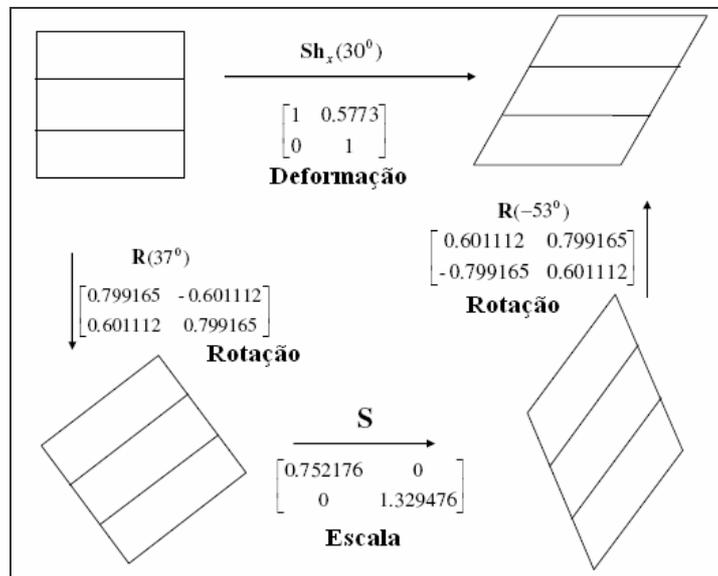


Figura 3 – Ordem e quantidade de transformações

Contudo, é importante ressaltar que a ordem das transformações altera o resultado, ou seja, uma rotação seguida de uma translação ($p_x=TRp$) pode gerar um resultado diferente de uma translação e seguida de uma rotação ($p_x=RTp$), pois o produto de matrizes não é comutativo, sendo assim estas equações produzem, em geral, resultados diferentes. Uma forma de minimizar este problema é aplicar as transformações geométricas em torno da origem, aplicando escala, rotação e translação nesta ordem. Desta forma, evita-se a interferência da transformação de escala ou de rotação na posição do objeto. Entretanto, a escala, a rotação e a translação podem ser de difícil especificação nas cenas em que a posição de um objeto depende da posição de outros, vide Figura 4-a.

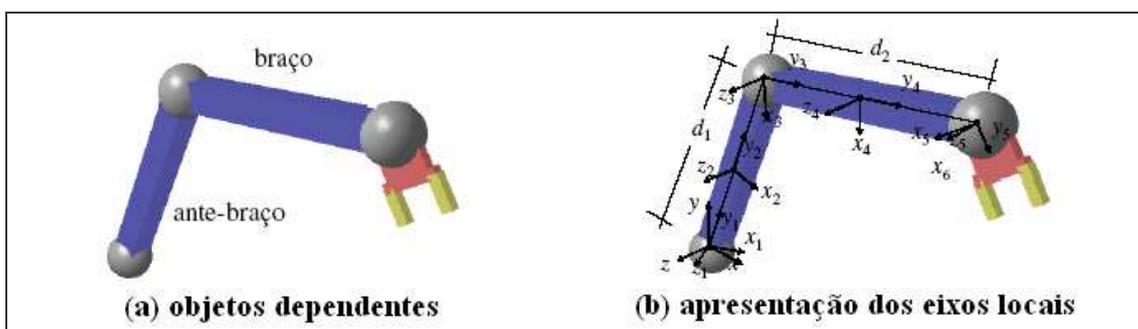


Figura 4 - Objetos posicionados de forma interdependentes

Para seguir uma cadeia de transformações que ocorre em objetos dependentes ou articulados, como na Figura 4-a, é conveniente adotar uma outra interpretação geométrica para as transformações. Pode-se pensar nas transformações ocorrendo num sistema de eixos, chamados de **eixos locais**, que rodam e transladam. A idéia geral é que os eixos locais estão originalmente coincidentes com os eixos globais. A cada transformação de rotação e translação, o eixo local muda de posição, vide Figura 4-b.

A complexidade das transformações geométricas dificulta a modificação da geometria do objeto através de caixas de diálogo, justificando a aplicação de manipulação direta em aplicações para modelagem 3D.

Outros aspectos como a ordem das rotações também interferem no resultado final, ou seja, o efeito de duas rotações seguidas depende da ordem em que elas são aplicadas. Estes e outros pontos não são abordados neste trabalho, mas também devem ser considerados, principalmente quando se trabalha com animações.

2.3 Visualização

A visualização de um cenário 3D pode ser feita utilizando dispositivos de realidade virtual ou dispositivos convencionais, como monitores CRT e LCD. Em um dispositivo convencional, foco deste trabalho, o cenário 3D deve ser projetado numa área de visualização 2D, ou seja, consiste em sintetizar uma imagem bidimensional a partir de uma representação de uma cena tridimensional.

Este processo envolve a utilização de transformações de projeção (define o volume de visualização) e de *viewport* (define correspondência entre as coordenadas transformadas e os pixels da tela). As transformações de projeção planares podem ser paralelas ou perspectivas, dependendo da distância do plano de projeção ao centro de projeção. Se a distância é finita, a projeção é paralela, se a distância é infinita, a projeção é perspectiva, veja a Figura 5.

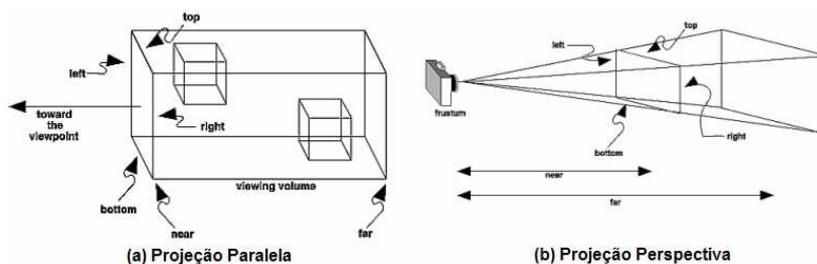


Figura 5 - Subdivisões das Projeções Planares

Consideremos o processo de visualização de um objeto conforme definido pela biblioteca gráfica OpenGL (OPENGL, 2006), que segue os mesmos passos utilizados para fotografar um objeto. A Figura 6 ilustra esses passos, não necessariamente nesta ordem, para visualizar um objeto em OpenGL. São eles (BATTAIOLA, 2004): posicionamento da câmera (a), região de interesse ou ponto de observação (b), posicionamento do objeto (c), definição de posicionamento do modelo (d), definição do volume de visualização (e), escolha da região ou uma sub-parte dela para ser mapeada na área da foto (f).

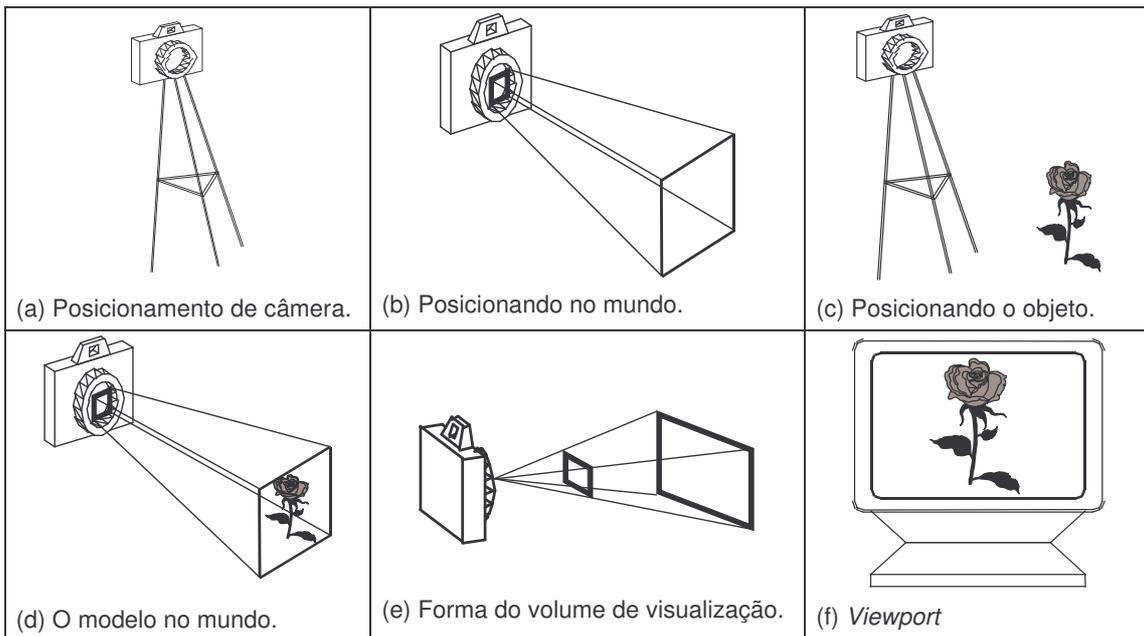


Figura 6 - Visualização (BATTAIOLA, 2004)

As etapas (b) e (c) da figura anterior se confundem, pois o usuário pode mudar o posicionamento do objeto ou da câmera para compor sua área de visualização da forma desejada. A Figura 7 apresenta as duas formas de se preparar esta área do ponto de vista da OpenGL, rotacionando ou transladando o objeto (a) ou a câmera (b).

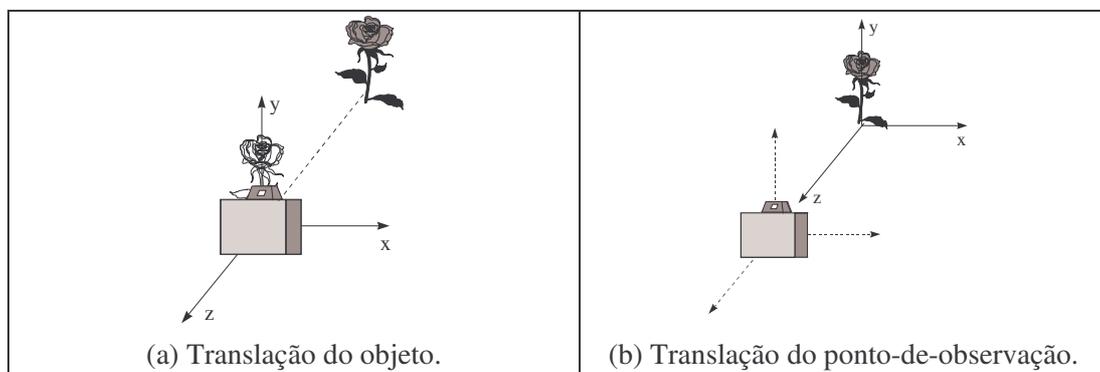


Figura 7 - Posicionamento no Cenário (BATTAIOLA, 2004)

Para gerar a informação visualizada pelo usuário, OpenGL utiliza o esquema de transformações de coordenadas apresentado na Figura 8. Durante este processo alguns objetos são retirados do processamento por não pertencerem à área de visualização atual (operação de recorte) e os demais passam pelas transformações necessárias até a sua visualização final (*viewport*).

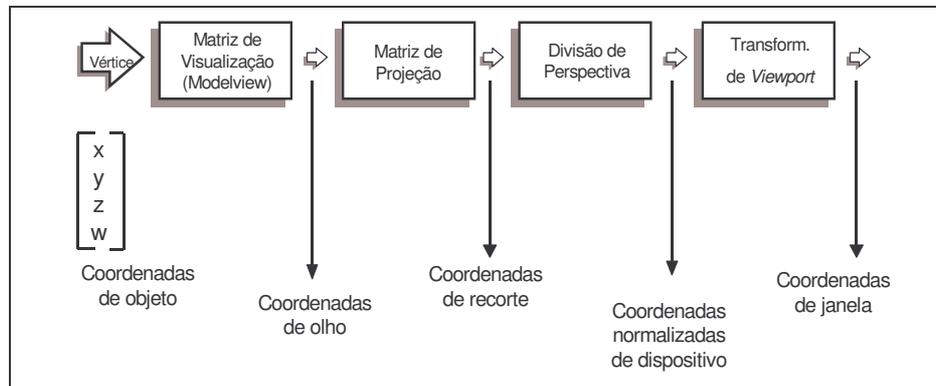


Figura 8 - Esquema de transformação de coordenadas na OpenGL

Grande parte das dificuldades de visualização do cenário e consequente interação com o mesmo são oriundas da projeção de um cenário 3D em 2D, pois entre outras coisas, o entendimento do cenário como um todo fica prejudicado pelo “achatamento” da profundidade e pelas dimensões restritas da janela de visualização. Em contraste, em ambientes imersivos (aplicativos e principalmente dispositivos para interação 3D) (JACOB, 2001), usuários apresentam menor dificuldade de visualização e, conseqüentemente melhor entendimento do cenário como um todo.

2.4 Espaço 3D

Como a maioria dos sistemas é desenvolvida para ser executado em computadores com dispositivos convencionais, que possibilitam apenas dois graus de liberdade (2 DOF), torna-se um desafio importante o desenvolvimento de técnicas de interatividade que possibilitem manipular objetos em espaços 3D.

Uma das soluções consiste em adotar ambientes de realidade virtual. Esses ambientes requerem dispositivos e sistemas específicos que apresentam vários DOF e possibilitam um controle mais apurado e uma representação mais realista dos objetos sendo manipulados. Em contrapartida, estes sistemas e seus periféricos são caros e necessitam muitas vezes de espaços físicos maiores.

A maioria das aplicações da área de computação gráfica, entretanto, é elaborada para computadores com interfaces 2D tradicionais, por limitações de custo e espaço físico.

Num contexto geral, a instanciação de objetos 3D apresenta peculiaridades devido às limitações de visualização em relação às necessidades de navegação num cenário 3D. Além das questões de navegação e visualização, as operações sobre um objeto 3D requerem *feedback* visual após a realização de cada ação, justificando o uso do recurso de interação WYSIWYG.

Capítulo 3

Interfaces para Instanciação 3D

Neste capítulo são descritos os aspectos pertinentes à área de IHC empregados no desenvolvimento deste trabalho. O entendimento de como deve ser construída uma interface e quais os aspectos envolvidos na comunicação do usuário com esta interface são importantes para a análise das pesquisas desenvolvidas neste trabalho. Outros aspectos como a importância dos mecanismos de ajuda e como ocorre a interação em cenários 3D contribuíram para a construção do protótipo e conseqüentemente para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Interface

Segundo Rocha e Baranauskas (2003), a idéia de interface foi inicialmente relacionada com a forma de comunicação possível entre o homem e o computador (hardware + software). Com o desenvolvimento da área de IHC foram incluídos aspectos cognitivos e emocionais do usuário na sua definição. Desta forma, a idéia de interface agregou mais poder ao usuário, para que ele pudesse customizar as funcionalidades do sistema e alcançar objetivos mais complexos (LAUREL, 1990).

A área de IHC é atualmente definida como a tecnologia envolvida com o projeto, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e os fenômenos a ele relacionados (DIX, 1998). Envolve o estudo das pessoas, tecnologias da computação e o modo como um influencia o outro. A IHC é uma área de estudo multidisciplinar necessitando da contribuição de várias disciplinas (SHNEIDERMAN, 1998).

Três fatores são fundamentais na IHC: a interface, o homem e o computador. A relação entre estes termos é conhecida como interação. Neste contexto, os componentes da interface humano-computador incluem (CARDOSO, 2000):

- **Hardware:** dispositivos com os quais os usuários realizam atividades motoras e perceptivas, tais como vídeo, teclado e mouse;
- **Software:** parte do sistema que implementa os processos computacionais necessários para controle dos dispositivos de hardware, para construção de dispositivos virtuais (*widgets*).

A interface de um software deve atender aos anseios dos usuários. Para tornar isto possível se faz uso da Semiótica, ou seja, da disciplina que estuda os signos e os sistemas sígnicos. Um Signo é qualquer coisa que representa algo para alguém (PEIRCE, 1995). No campo de interfaces de sistemas, tudo são signos, e, portanto, se presta a um tratamento semiótico.

Segundo De Souza (2005), a Engenharia Semiótica é uma teoria que nos permite entender os fenômenos envolvidos no design, uso e avaliação de um sistema interativo, com o objetivo de esclarecer a natureza e os aspectos envolvidos nestas atividades.

O foco da Engenharia Semiótica está na comunicação interpessoal entre o *designer* e os usuários. O que o *designer* transmite não é uma mensagem como a de um documento multimídia, um livro, ou um filme, mas uma mensagem interativa e dinâmica: um sistema de comunicação (para a interação) e um resolvidor de problemas (a funcionalidade da aplicação).

Neste contexto, o *designer* define a interface através da especificação e estruturação dos signos de domínio e das funções da aplicação. A Engenharia Semiótica nos permite entender melhor a finalidade de cada elemento da interface e as funcionalidades que se pode ou se deve ativar através da interação com este elemento.

Na interface de um software para instanciação de objetos 3D, alguns aspectos são iguais aos de outros aplicativos, como navegação por menus, funções básicas para abrir e salvar arquivos, entre outros. Para esses casos, aplicam-se análises semióticas já realizadas e divulgadas por outros pesquisadores. Mas no que diz respeito aos aspectos de interface específicos da área de computação gráfica, quase nenhum material relevante está disponível.

Através da Engenharia Semiótica é possível obter como lições (PRATES, 2007) o fato dos signos poderem ser interpretados de maneiras diferentes daquelas pretendidas pelo *designer*, já que os signos computacionais não evoluem com a mesma facilidade

dos signos humanos e que parte da comunicação humana se dá através de signos fora do sistema (piadas, metáforas, etc.).

Para se realizar uma análise semiótica eficiente de um software para instanciação 3D, é necessário levar em consideração todas as funcionalidades principais, sem considerar as compartilhadas com aplicativos de outra natureza.

As comunicações interpessoais entre o *designer* e os usuários são a essência da especificação da interface de uma determinada funcionalidade do software. Tome-se como exemplo a análise da interação para mudança de cor de um objeto. Apesar da maioria dos aplicativos apresentarem os mesmos elementos e formas de interação para este tipo de interface, alguns apresentam recursos adicionais ou mesmo formas diferentes de organizar essa interface.

As figuras 9 e 10 apresentam as interfaces de dois aplicativos para a função de alteração de cor que cada designer construiu para expressar o que o usuário pode fazer. Vale ressaltar que a interface do Blender (BLENDER, 2006) apresenta, além da função de alteração de cor, também funções para aplicação de textura.

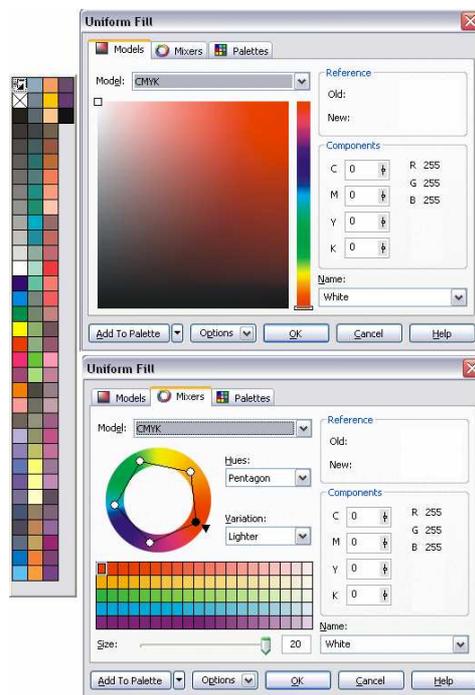


Figura 9 - Interfaces do Corel Draw



Figura 10 - Interface do Blender

Foram analisadas várias formas para se representar essas interfaces e assim buscar aspectos distintos e que contribuíssem para o presente trabalho. Foi escolhida a Linguagem de Especificação da Mensagem do Designer (LEMD) (LEITE, 1999), pois ela contribui para a Engenharia Semiótica possibilitando uma especificação da interface em nível abstrato, que permite a representação de associações entre intenções de comunicação do *designer* e expressões de interface utilizadas para este fim.

3.1.1 Linguagem de Especificação da Mensagem do Designer

A LEMD tem como objetivo principal a definição de quais mensagens devem ser transmitidas ao usuário, de acordo com o estado da aplicação. Para contribuir com a boa comunicabilidade do sistema, o *designer* deve ter clareza sobre quais mensagens ele quer passar e seu conteúdo. Este é um fator crucial no desenvolvimento de interfaces, pois dele depende a facilidade de abstração por parte dos usuários. Além disso, uma boa comunicabilidade evita que o usuário se perca na interface ou não saiba o que está acontecendo. A Figura 11 ilustra o formalismo a ser utilizado como apoio ao *designer* para a definição das interfaces de um sistema.

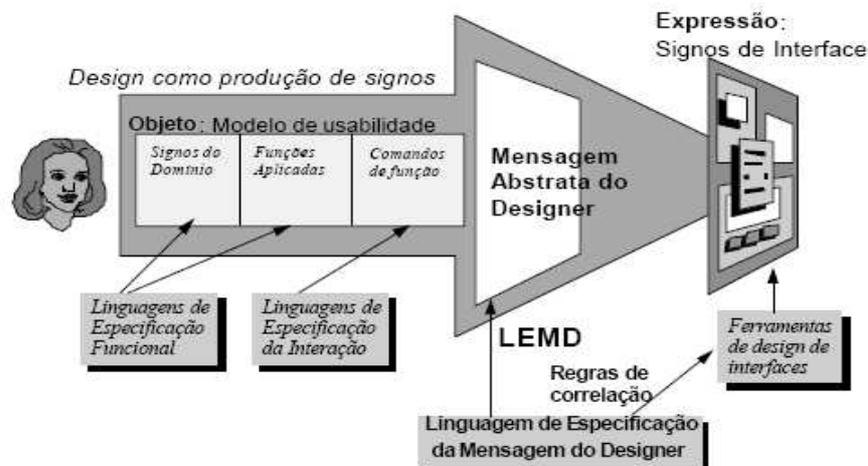


Figura 11 - Formalismos de Apoio ao *Designer* (LEITE, 1999)

Para compor o visual da interface são utilizados signos. Um signo pode ser um botão, um menu, uma caixa de texto, uma imagem ou até mesmo uma tela (que é um signo complexo, formado por vários outros signos). O signo possui dois aspectos principais: expressão, que é o que se percebe, e conteúdo, que é o seu significado. A expressão do signo deve revelar seu conteúdo, transmitindo seu significado.

A LEMD diferencia diversos tipos de mensagens, a Figura 12 identifica alguns destes tipos de mensagens do design. As mensagens identificadas são:

- **Metacomunicação direta:** permitem ao designer enviar mensagens diretamente ao usuário. Na LEMD, é especificada pelo elemento **View**;
- **Estado do signo do domínio:** revelam o estado do sistema, através dos signos da interface;
- **Interações básicas:** indicam ao usuário a interação a ser desempenhada. As interações básicas são *acionar (Activate)*, fornecer informação (**Enter**) e selecionar informação (**Select**);
- **Estrutura sintática dos comandos:** ilustram a articulação das interações que o usuário precisa desempenhar. As interações são agrupadas em seqüência (**Sequence**), repetição (**Repeat**), agrupamento (**Join**), combinação (**Combine**) e seleção (**Select**);
- **Metacomunicação para apresentação e controle de leitura mensagem:** comunicam ao usuário como deve “ler” a mensagem do *designer*.

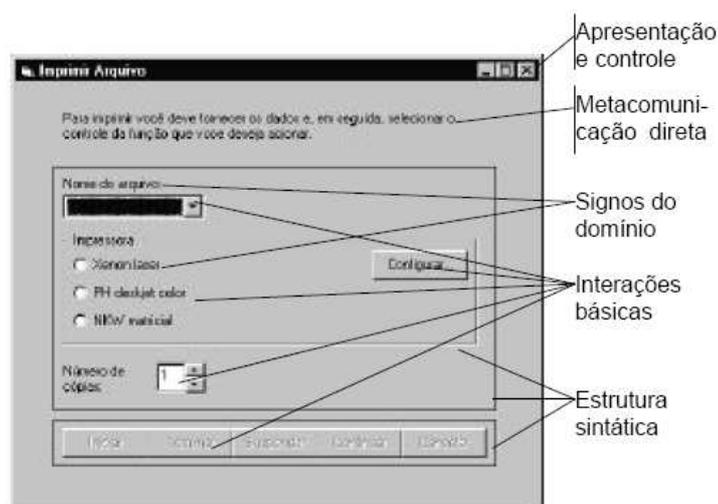


Figura 12 - Mensagens do *Designer* (LEITE, 1999)

As mensagens representadas através da LEMD devem ser expressas através dos *widgets* de uma interface gráfica. As construções da interface estão associadas a regras de correlação de acordo com a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Regras de Mapeamento Semântico (LEITE, 1999)

| Comando | Descrição |
|-----------------------|---|
| Join | Configuração espacial (agrupamento visual) |
| Sequence | Configuração espacial com os elementos da seqüência em cinza claro indicando “não-disponível” |
| Combine | <i>Widgets</i> Frame |
| Select | Configuração espacial (agrupamento visual) |
| Select texto | Caixa “combo” |
| Enter texto | Caixa de texto |
| Enter numérico | Caixa Spin (número com incrementadores) |
| Activate | Botão de pressão |

A LEMD permite aos *designers* formularem sua mensagem de maneira estruturada e coerente com o modelo apresentado. Este modelo descreve os componentes necessários ao desempenho do processo de interação. Este formalismo é complementar às linguagens de especificação tradicionais e pode ser integrado às ferramentas de interfaces baseadas em *widgets*, normalmente utilizadas para interfaces gráficas.

A especificação da mensagem utilizando a LEMD não garante sozinha que o sistema construído tenha boa usabilidade. Ela deve ser utilizada conjuntamente com outros formalismos tradicionais da engenharia de software que façam a especificação da funcionalidade e do modelo de interação. O seu objetivo é especificar como estes componentes do modelo conceitual de aplicação devem ser comunicados aos usuários (LEITE, 1999).

3.2 Interação

A construção de uma interface implica desenvolvimento de um processo de interação com o usuário (DIX, 1998), envolvendo atividades físicas e, principalmente, mentais.

Segundo De Souza (1999), a interação é um processo que engloba as ações do usuário sobre a interface de um sistema, e suas interpretações sobre as respostas reveladas por esta interface (vide Figura 13).

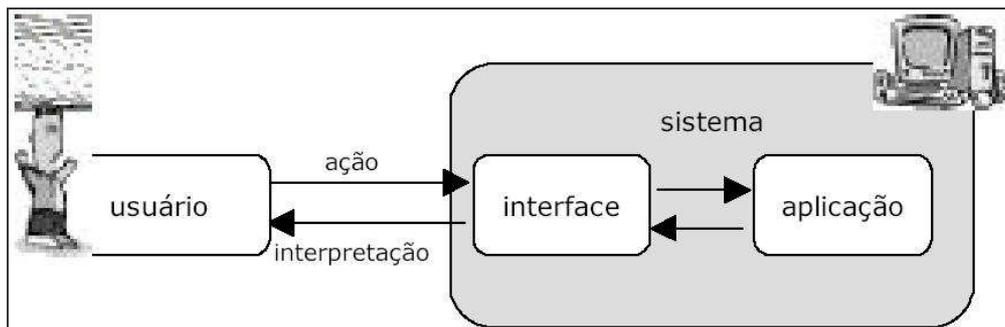


Figura 13 - Processo de interação humano-computador

Para obter sucesso neste processo, é necessário conhecer as variáveis envolvidas. Para isso, algumas perguntas devem ser respondidas, por exemplo (LEITE, 2003): quanto um determinado modelo de interação afeta uma atividade mental para interagir com o sistema? Como uma determinada organização de menu afeta a realização das tarefas? Quanto uma palavra de um comando reflete a tarefa a ser solicitada? E o que dizer de ícones?

Para conhecer todas as atividades que envolvem o processo de interação e depois aplicar a avaliação da usabilidade ao desenvolvimento de uma interface, é necessário um modelo destas atividades mentais e físicas.

Os processos mentais ou cognitivos vêm sendo estudados há muito tempo, sendo que a psicologia foi a ciência que surgiu para estudar o comportamento humano de maneira experimental, ajudando assim a desvendar parte destes processos. No que se refere aos processos fisiológicos, a neurologia tem colaborado de forma significativa na determinação desses processos (ORTH, 1993).

No projeto de uma interface é preciso criatividade, experiência e conhecimento sobre como ocorre o processo de interação. Além disso, é preciso utilizar técnicas e princípios que vão desde a elaboração do projeto até análises e testes com os usuários finais. Segundo Dix (1998), o desenvolvimento de uma interface deve seguir as seguintes etapas:

- **Análise de usuários:** conhecer o grupo de usuários que fará uso do sistema, auxiliando assim o projeto da interface;
- **Análise de tarefas:** definir as principais tarefas a serem realizadas para que o sistema cumpra suas funções. Nesta etapa se definem as formas de interações mais adequadas para cada tarefa;

- **Projeto da interação:** projetar as interações adequadas para a realização de cada tarefa (de acordo com as características do grupo de usuários do sistema);
- **Prototipação:** desenvolvimento através de prototipação evolutiva (PRESSMAN, 2006);
- **Testes:** realização de testes, através de simulações, *feedback* de usuários, etc.

Para auxiliar o projeto de interfaces, o projetista faz uso de vários instrumentos de apoio. São eles:

- **Princípios:** perspectivas e considerações a serem seguidas pelos projetistas;
- **Diretrizes:** recomendações mais específicas e detalhadas sobre decisões a serem tomadas (provenientes de casos anteriores de sucesso);
- **Regras:** séries de especificações de projeto para uma aplicação em particular;
- **Patterns:** têm por objetivo sistematizar a experiência de projetistas através de descrições de soluções aplicadas a problemas em determinados contextos.

Como exemplo de instrumentos de apoio, pode-se citar o “Apple Human Interface Guidelines” (APPLE, 2003) e o “User Interface Design and Development” (MICROSOFT, 2005).

Esses instrumentos têm sido fundamentais a muitos projetistas, pois a proliferação dos computadores pessoais e a diversidade de usuários exigem uma atenção maior às interfaces, o que contribuiu para o surgimento de GUIs (Graphical User Interfaces) e novos estilos de interação, tais como preenchimento de formulários, manipulação direta, linguagem natural, WIMP (*Windows, Icons, Menus e Pointers*) e WYSIWYG (*What You See Is What You Get*).

Esses estilos, hoje já familiares à maioria dos usuários, vieram substituir as interfaces baseadas em linguagem de comandos que, por vários anos, dominaram as aplicações de computadores utilizadas quase que exclusivamente por pessoas especializadas em informática (LEITE, 2003). A seguir, são apresentados os estilos de interação que freqüentemente são encontrados nas interfaces (DIX, 1998) (SHNEIDERMAN, 2005):

- **Linguagem de Comandos:** Oferece acesso direto às funcionalidades do sistema e permite maior iniciativa do usuário na construção de comandos através do teclado. É

utilizada por usuários avançados, pois a flexibilidade implica uma maior dificuldade enfrentada por iniciantes ao aprender a linguagem. Os comandos precisam ser lembrados e erros de digitação são muito comuns, sendo estas as principais desvantagens;

- **Formulários:** Atualmente são os mais utilizados para entrada de dados em sistemas de informação, sendo também úteis em aplicações de recuperação de dados. São interfaces fáceis de aprender e não requerem flexibilidade na funcionalidade. Os aspectos que vão influenciar na usabilidade do sistema são a produtividade do usuário, a sua satisfação e o esforço físico provocado pelo sistema, uma vez que são projetados para que os usuários forneçam vários dados. Nestas interfaces a correção de erros de digitação e a verificação dos dados digitados precisam ser realizadas através de técnicas adequadas. Vantagens apontadas: entrada de dados simplificada, requerem modesto treinamento, fornecem assistência conveniente; desvantagem: consomem muito espaço de tela;
- **Linguagem Natural (LN):** É expressão utilizada para se referir de maneira genérica à língua que o usuário domina. Através de interfaces em linguagem natural, o usuário pode interagir com o sistema na sua própria linguagem. A interação é atrativa a usuários com pouco ou nenhum conhecimento em computação. Sistemas de consulta a informações e sistemas baseados em conhecimento são exemplos em que a utilização de interfaces em LN é interessante. Entretanto, o desenvolvimento de um sistema com estas interfaces é complexo e difícil de ser implementado, sendo esta a maior limitação deste tipo de interface. Desvantagem: requer diálogo claro, pode requerer muita digitação;
- **Manipulação direta (MD):** Permite ao usuário interagir diretamente com representações visuais dos objetos da aplicação sem a necessidade de comandos de uma linguagem específica, através de dispositivos como o mouse, utilizando arrastos e cliques para interagir com os objetos;
- **WYSIWYG:** Permite ao usuário ver na tela o resultado do processamento. A diferença entre a representação e o produto final deve ser mínima;
- **Menus:** O conjunto de opções disponível é apresentado ao usuário, diminuindo a possibilidade de erro, uma vez que não há digitação e se reduz o treinamento e o esforço de memorização necessários, já que o usuário precisa apenas lembrar a

função associada a cada item. Existem diversas técnicas para se agrupar e apresentar as opções de menus, sendo a mais comum a categorização hierárquica na qual as opções são agrupadas em categorias de maneira hierárquica. Podem ser compostos por palavras ou signos gráficos específicos. São bem aceitos por novatos, porém alguns usuários experientes se ressentem de ter de passar por uma série de seleções para desencadear a ação desejada. Teclas de atalho são indicadas para solucionar este problema;

- **WIMP:** Atualmente, é o estilo de interação mais comum em ambientes de janelas gráficas tais como Microsoft Windows, MacOS e XWindows. A interação ocorre através de componentes virtuais, denominado *widgets*. É implementado com o auxílio das tecnologias de interfaces gráficas que proporcionam o desenho de janelas e do controle de entrada através do teclado e do mouse em cada uma dessas janelas. Embora baseado em janelas, ícones, apontadores e menus, outros estilos de interação podem ser inseridos através de outros *widgets* tais como paletas e caixas de diálogo;
- **Point-and-click:** Em muitos sistemas multimídia e navegadores *web* as ações podem ser executadas através de um simples clique do mouse. Por exemplo, apontar com o mouse para uma cidade em um mapa e ao clicar sobre ela, uma nova janela se abre com informações sobre aquela cidade. Não é uma interface exclusiva baseada no mouse, sendo também utilizado em sistemas de informação *touchscreen*;
- **Interfaces Tridimensionais:** Apresentam um novo estilo de interação. O principal exemplo é a realidade virtual, porém aparências 3D podem ser aplicadas a botões, *scrollbar*, etc. Este estilo convida o usuário a usar suas habilidades tácticas do mundo real transferindo-as a um mundo eletrônico.

Estes estilos não são e muitas vezes não devem ser utilizados de forma isolada. O tipo de aplicação e de usuário são fatores determinantes na escolha do estilo a ser aplicado em cada atividade do sistema.

Independente do padrão de interface ou plataforma escolhidos, é preciso planejar a interface. Um projeto de interface define o comportamento e a apresentação da mesma (DIX, 1998). A execução de um projeto envolve: tipos de diálogo ou interação, análise do usuário, análise das tarefas, fatores humanos, dispositivos de entrada e saída, princípios, padrões, regras e diretivas, protótipos e avaliação de sistemas existentes. O

resultado é o detalhamento do projeto, geralmente através de especificações formais, protótipos ou ainda documentos informais.

Segundo Foley (1997), as principais metas de um projeto de interface compreendem:

- **Aumento da velocidade de aprendizado:** evitar que toda vez que o usuário use o sistema, ele tenha que “reaprender” a utilizar a interface. Para minimizar este tipo de problema é comum a utilização de padrões de interface conhecidos e uma interface intuitiva ao usuário;
- **Aumento da velocidade de uso:** quando o usuário tem dificuldade em encontrar uma determinada funcionalidade, ou a mesma não está disponível rapidamente, o uso do sistema se torna mais lento. Recursos como teclas de atalho e manipulação direta ajudam a aumentar a velocidade de uso do sistema;
- **Redução na taxa de erros:** checagem de campos de interação, inibição de funcionalidades que não podem ser executadas no contexto atual e validação dos dados fornecidos pelo usuário;
- **Promoção da memória de utilização de interface:** uso de elementos gráficos e ações intuitivas ajudam o usuário a recordar como fazer determinadas tarefas;
- **Aumento da atratividade para potenciais usuários:** cores, tipos de elementos gráficos, disposição e quantidade dos elementos gráficos, formas de interação, entre outros, formam um conjunto de fatores que podem aumentar a atratividade do sistema.

3.2.1 Usabilidade

A usabilidade pode ser definida como a área de IHC que promove a melhoria da interação do usuário com os elementos de um sistema, de modo a promover níveis avançados de segurança e bem estar do usuário, melhorando a eficiência do sistema em que este está inserido. A Figura 14 ilustra o que a usabilidade deve proporcionar a um sistema (NIELSEN, 1994) (PREECE, 2002).



Figura 14 - Fatores envolvidos na Usabilidade

A definição de usabilidade pode estar centrada (NIELSEN, 1994):

- **Nos atributos do produto:** preocupa-se principalmente com as interfaces gráficas e navegação do sistema. Problemas: normalmente não envolve os usuários, dificuldade em fazer modificações, não avalia a qualidade da informação.
- **No usuário:** envolve os potenciais usuários em todas as etapas do desenvolvimento. Na etapa de Definição do Conceito o usuário contribui com suas expectativas e seus objetivos. Na etapa de Arquitetura da Informação é definido o mapa mental dos usuários e é feita a avaliação do rascunho. Na etapa de Estudos Detalhados é realizada a avaliação dos primeiros protótipos funcionais. Por fim, na etapa de Implementação é feita a avaliação final.

A Avaliação de Usabilidade é feita para testar a usabilidade de um sistema. Ela é naturalmente complexa, pois avaliar facilidade de uso, facilidade de aprendizagem, eficácia e eficiência do sistema, além da satisfação do usuário não é uma tarefa simples.

Um método de avaliação é um procedimento para coleta de dados relevantes, associados à operação de uma interface humano-computador, e as atitudes do usuário em relação a isto. Os métodos podem ser divididos em cinco categorias:

- **Avaliação analítica:** usa descrições de interface formais ou semiformais para prever o desempenho do usuário;
- **Avaliação por especialista:** envolve especialistas na avaliação da interface;
- **Avaliação observacional:** envolve observação ou monitoramento do comportamento dos usuários enquanto estão usando a interface;

- **Avaliação por pesquisa:** busca obter a opinião subjetiva dos usuários sobre uma interface;
- **Avaliação experimental:** usa prática experimental científica para testar hipóteses sobre o uso de uma interface.

O problema de registrar, rastrear e analisar posteriormente as ações do usuário em sua interação com um sistema é complexo e tem sido tema de várias pesquisas na área de testes de usabilidade (SHNEIDERMAN, 2005). A aplicação da avaliação de usabilidade pode ser feita através de um teste, chamado Teste de Usabilidade.

Um teste de usabilidade envolve pessoas reais tentando realizar tarefas com o sistema, e a observação do que acontece. Ele destina-se a validar ou não hipóteses de mau funcionamento de determinadas funções, quando utilizadas numa situação real de trabalho. Ribeiro (1998) afirma que há vários tipos de ensaios de interação, que podem ser divididos nos seguintes grupos:

- **Medição de Desempenho:** dá-se uma lista de tarefas para o usuário executar em um ambiente controlado (ou observa-se o usuário em sua rotina diária) e medem-se grandezas como: tempo para completar cada tarefa, número de erros cometidos, número de comandos e funções nunca utilizados e número de consultas ao manual;
- **Pensamento em voz alta (*Thinking aloud*):** consiste basicamente em fazer um usuário verbalizar seus pensamentos enquanto utiliza o sistema sob teste, anotando-se os pontos onde ocorre um erro ou dificuldade. Há muitas variações do método básico, como por exemplo (VAN SOMEREN, 1994):
 - **Aprendizagem por co-descoberta:** usuários utilizam o sistema conjuntamente;
 - **Teste retrospectivo:** o usuário é convidado a comentar sua própria atuação, gravada em mídia apropriada;
 - **Protocolo de pergunta:** há uma interação explícita entre o usuário e o aplicador do teste. O usuário pode perguntar ao treinador, geralmente um assistente do aplicador ou um usuário experiente, qualquer questão relacionada ao sistema.

De posse das observações e gravações produzidas no teste de usabilidade, os avaliadores analisam o desempenho em termos de velocidade, precisão, número de problemas, número de tentativas, etc. Também podem procurar por sinais de confusão

ou hesitação por parte dos usuários (CONSTANTINE, 1999), sendo a gravidade de um problema de usabilidade formada pela combinação de três fatores:

- **Frequência:** quantas vezes ele ocorre na interface? É comum ou é raro?
- **Impacto:** ele é fácil ou difícil de ser superado pelos usuários?
- **Persistência:** é um problema que afeta os usuários somente uma vez (e depois que o usuário aprende como resolvê-lo, ele desaparece) ou é um problema que vai incomodar os usuários repetidas vezes?

Dentro do método de avaliação observacional temos algumas técnicas para coleta de dados:

- **Observação direta:** envolve a observação de usuários durante a execução da tarefa, com o avaliador registrando o desempenho do usuário;
- **Gravação em vídeo:** pode ser usado para gravar aspectos visuais e auditivos da atividade do usuário;
- **Log de software:** registra o diálogo entre o usuário e o sistema, os tempos associados às entradas do usuário e as respostas do sistema;
- **Protocolos verbais:** são registros das observações e falas dos usuários.

Várias experiências vêm sendo realizadas utilizando essas técnicas. Alguns comentários interessantes incluem (NETO, 2000):

- Connally e Tullis (1995) dizem que a anotação manual é muito limitada pela habilidade do observador humano em documentar eventos rapidamente, pois não é possível registrar manualmente cada interação do usuário e cada resposta do sistema com a rapidez necessária para não perder nenhum detalhe da interação, ao mesmo tempo em que tenta analisar as ações do usuário;
- Além do registro de entradas e respostas do sistema, Lewis e Rieman (1994) destacam a dificuldade em anotar simultaneamente o que o usuário fala;
- A técnica de gravação do movimento dos olhos do usuário ao interagir com um sistema também tem sido utilizada por pesquisadores da área de IHC, que, neste caso, utilizam as mesmas ferramentas dos ergonomistas que atuam em marketing. Aoki (2000) utilizou esta técnica para analisar atitudes cognitivas do público em relação a filmes comerciais;

- Segundo Rasmussen (1986), a gravação do movimento dos olhos possui a habilidade potencial de auxiliar na análise de processos perceptivos e/ou cognitivos que são realizados automaticamente baseados em habilidades e regras, entre outros.

Alguns autores sugerem que o registro dos testes de usabilidade seja realizado por uma combinação de gravação do que acontece na tela e notas escritas por um observador. Tal solução, entretanto, implica na presença de um observador, que pode se constituir em um elemento gerador de constrangimento para o usuário.

3.3 Interação em cenários 3D

A construção de um cenário 3D é feita através da criação, codificação e posicionamento de um objeto no cenário. Estas atividades são repetidas até que o cenário esteja satisfatoriamente completo. Neste processo, a visualização do cenário a cada etapa de interação é primordial para o sucesso no desenvolvimento do mesmo.

Subramanian e Ijsselsteijn (2000) classificam as técnicas de manipulação espacial de objetos da seguinte forma:

- **Naturalidade (*Naturalness*):** baseada nas observações de como interagimos com o mundo real. Idealmente, as interações devem proporcionar ao usuário a sensação de estarem manipulando os objetos (em um determinado nível de abstração), sem a necessidade de prestar muita atenção à própria interação. O foco deve estar na interação através de um computador em vez da interação com um computador. Como base para a naturalidade das interações, as ações atômicas requeridas para executar as tarefas da interação devem combinar com as ações atômicas fornecidas pelo dispositivo. Quando a tarefa requerer mais ações atômicas do que as fornecidas pelo dispositivo da interação, a interface necessitará suportar um complexo diálogo de interações compostas, tornando a interação não natural. Assim como no mundo real, com o tempo aperfeiçoamos muitas habilidades da manipulação e da navegação ao ponto que podemos executar muitas tarefas sem prestar muita atenção, ou seja, o dispositivo da interação torna-se “invisível” (ALIAKSEYEU, 2002);
- **Faixas de Interação Espacial:** Em geral, o espaço que cerca o usuário pode ser segmentado em diversas escalas, baseadas nos princípios de percepção e ação do ser humano. A disposição espacial que cerca o observador pode ser dividida em três regiões: espaço pessoal, espaço da ação e espaço de vista. O espaço pessoal se refere

à zona que cai dentro do alcance do braço do observador. O espaço da ação refere-se ao espaço das ações públicas do indivíduo (mover, falar e lançar ou jogar objetos), enquanto o espaço de visão se estende até o horizonte;

- **Graus de liberdade (*Degrees of Freedom* - **DOF**):** Especificar um ponto no espaço tridimensional requer pelo menos três coordenadas (x, y, z). Entretanto, muitas tarefas de manipulação 3D requerem a manipulação de objetos inteiros ao invés de pontos. Se estes objetos forem rígidos, pode-se especificar movimentos deste objeto por três translações (x, y, z) e por três ângulos de rotação. Assim, para manipular objetos 3D são necessários seis graus de liberdade (6 DOF). Em regra geral, os graus de liberdade da tarefa devem combinar os graus de liberdade do dispositivo da interação. A posição relativa em 2D de um mouse, por exemplo, não fornece um modo adequado para executar uma tarefa de posicionamento em 3D. Para que tal tarefa seja executada com sucesso, é necessário que as ações do mouse sejam modificadas (mouse + teclas de controle, etc.) (HAND, 1997);
- **Tipo de ação:** Cada domínio específico da aplicação tem determinadas tarefas que necessitam ser executadas. As tarefas podem ser comuns a diferentes domínios de aplicação. Uma tarefa é uma atuação coordenada ou lógica de ações. Wuthrich (1999) introduziu a classificação baseada no número de ações elementares ou atômicas que podem ser executadas: selecionar, posicionar ou deformar.

3.4 Estilos de Interação na Modelagem de Objetos 3D

Para um software de instanciação de objetos 3D é possível utilizar diversos estilos de interação diferentes, de forma isolada ou não, mas dois estilos se tornaram padrões para estes tipos de software, segundo constatação através de observação dos principais aplicativos comerciais para a área de computação gráfica, são eles: manipulação direta e WYSIWYG.

Um caso clássico da eficiência desses dois estilos é o sistema Teddy (IGARASHI, 1999), no qual modelos não geométricos são construídos através de traços desenhados à mão livre. Em contrapartida, outros aplicativos que trabalham com objetos desenhados de forma mais detalhada e com maior precisão no posicionamento destes no cenário, necessitam de outros estilos de interação ou software para modelagem profissional como é o caso do AutoCAD®, do Maya® e do 3DStudio Max®.

Sistemas de modelagem de objetos 3D utilizam, tradicionalmente, os seguintes tipos de interação (SHNEIDERMAN, 2005): manipulação direta, menu, botão, arrastar e soltar, formulário e linguagem de comandos.

As formas de interação podem ser utilizadas em conjunto ou separadas, conforme configuração do software (através da habilitação ou não da forma de interação). Mas dentre todas as formas de interação, a mais utilizada em sistemas desta natureza é a manipulação direta e conseqüentemente a interação através de ação/verbo é a forma mais comum, escolhendo uma posição ou selecionando um objeto e depois mencionando o que deve ser realizado.

Durante a realização deste trabalho foi possível verificar a importância da interação através da manipulação direta, o uso de menus e botões para encontrar funcionalidades pouco utilizadas ou desconhecidas e a utilização de WYSIWYG como base de *feedback* das ações utilizadas pelo usuário. Estas informações são apresentadas em detalhes no capítulo sobre as pesquisas realizadas.

No capítulo seguinte são apresentadas as características arquiteturais, funcionais e de interação de uma aplicação para instanciação de objetos 3D e é descrito também o protótipo desenvolvido.

Capítulo 4

Software para Instanciação 3D

Instanciação 3D é, tipicamente, apenas uma das funcionalidades proporcionadas por diversos aplicativos voltados para ilustração, modelagem geométrica, modelagem à mão livre, construção de cenários virtuais, etc. Apesar de ser uma funcionalidade fundamental requerida por tais tipos de software, as correspondentes interfaces implementadas em aplicações tais como Blender, 3DStudio, AutoCAD, Maya, Google Sketchup e outras variam substancialmente de uma para outra, em particular no que diz respeito a:

- Estilos de interação: Linguagem de Comandos, Manipulação Direta, Menus, etc;
- Processo de criação de elementos;
- Controle de atributos através de diversos tipos de elementos de interface distintos;
- Possibilidade de manipulação direta dos elementos do cenário 3D;
- Transformação de rotação, translação, escala e cisalhamento (funções feitas através de menus e/ou manipulação direta do objeto, etc);
- Possibilidade de manipulação de Vistas (vistas simultâneas, limites de vistas, etc);
- Possibilidade de recuperação de erros (undo, redo e undo list);
- Retro-alimentação (as ações apresentam alterações visuais);
- Funções realizadas através de SELEÇÃO-AÇÃO ou AÇÃO-SELEÇÃO;
- Agrupamento (recursos para o agrupamento e desagrupamento de objetos, alteração dos atributos de todos os objetos do conjunto, etc). Entre outras.

Naturalmente, estudar as interfaces oferecidas por tão diversas implementações seria praticamente impossível, principalmente se levarmos em conta que os elementos

de interface associados às demais funcionalidades oferecidas obscureceriam o foco sobre a funcionalidade de instanciação. Por essa razão, optou-se pela construção de um software específico para testes e experimentação de interfaces de instanciação denominado FMI3D (Ferramenta Multi-interface para Instanticiação de objetos 3D) (DIAS, 2005). O público-alvo principal são os pesquisadores, professores e alunos que desenvolvem atividades relacionadas à pesquisa nas áreas de computação gráfica e/ou IHC, podendo ser ou não experientes no que tange ao uso de aplicativos com finalidade semelhante.

Neste capítulo, é descrito o software desenvolvido para o estudo deste trabalho, suas funcionalidades e demais características técnicas.

4.1 Arquitetura

Para a implementação da FMI3D foi seguido o padrão MVC (*Model View Controller*) (KRASNER, 1998), ilustrado na Figura 15. Este padrão proporciona estruturar a aplicação visando escalabilidade e manutenibilidade. A adoção deste padrão ocorreu devido a sua fácil implementação e correspondência direta entre seus elementos e os grupos de funcionalidades existentes num software para modelagem 3D.

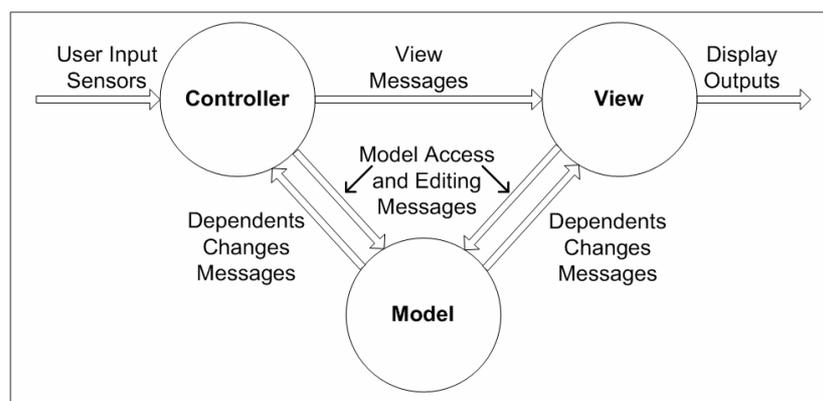


Figura 15 - Padrão MVC (KRASNER, 1998)

O padrão MVC é composto por três elementos chaves:

- **Model:** Informação manipulada pela aplicação;
- **View:** Concretiza a representação visual do modelo;
- **Controller:** Controla a interface com o usuário, determinando quais objetos são manipulados, chamando os métodos do *Model* para fazer as respectivas ações.

Baseado neste modelo, planejou-se a arquitetura interna da FMI3D, vide Figura 16. Nesta figura, estão contemplados quatro módulos:

- **Gerenciador de Interface:** este módulo é responsável pela configuração e gerenciamento da interface. Trata portanto, da interação com o usuário;
- **Visão:** responsável pela exibição do cenário em desenvolvimento e pela representação visual das interações do usuário;
- **Manipulação de Objetos 3D:** responsável pelo controle do modelo a ser exibido / controlado pelo usuário;
- **Geração e Tratamento dos logs:** gera todos os *logs*, armazenando-os num arquivo de interação da ferramenta.

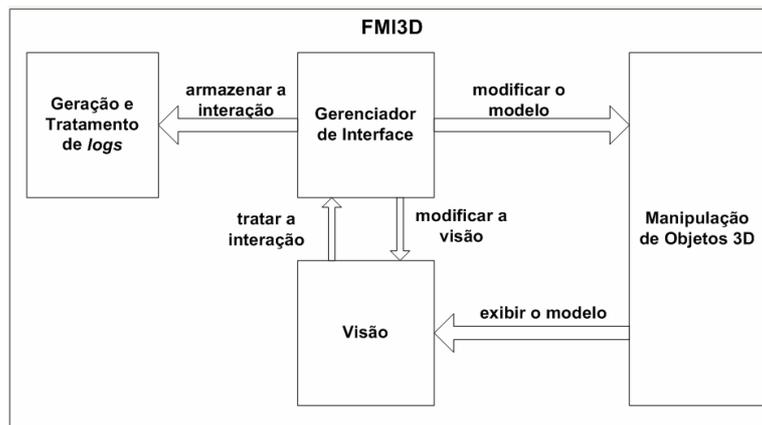


Figura 16 - Arquitetura interna da FMI3D

A relação entre o MVC (Figura 15) e a FMI3D (Figura 16) pode ser representada como a relação direta dos elementos que formam a ferramenta, onde:

- Os módulos “Gerenciador de Interface” e “Geração e Tratamento de Logs” representam o elemento *Controller*;
- O módulo “Visão” representa o elemento *View*;
- O módulo “Manipulação de Objetos 3D” representa o elemento *Model*.

4.2 Funcionalidades

As funcionalidades da ferramenta podem ser divididas em três partes: de modelagem, de interação e as referentes ao *log* da interação. Estas funcionalidades estão descritas a seguir.

4.2.1 Funcionalidades de Modelagem

A ferramenta desenvolvida neste trabalho fornece um subconjunto mínimo das funcionalidades contempladas numa ferramenta de modelagem de objetos 3D:

- **Criação, edição e remoção de elementos gráficos padrões:** permite a composição do cenário com objetos básicos (esferas, cubos, cones, etc);
- **Manipulação de atributos:** permite a adequação do objeto ao cenário, através da mudança de cor, dimensão, posição, transformações, etc.;
- **Manipulação de vistas:** permite a exibição de diversas vistas do mesmo cenário para uma melhor composição da cena;
- **Armazenamento e recuperação de cenários:** persistência do trabalho desenvolvido até um determinado momento;
- **Exportação para os padrões mais utilizados:** torna a ferramenta mais atrativa para os usuários, pois através da exportação do cenário permite a inserção do mesmo em ferramentas profissionais para animação e criação de jogos, como Blender e Maya. A versão atual da FMI3D permite a exportação em X3D e Java3D;
- **Operações de *undo* e *re-do*:** desfazer ou refazer as operações recentes.

4.2.2 Funcionalidades de Interação

Por ser uma ferramenta multi-interface, também é necessário o acesso à área de configuração da interface, em que o usuário tem acesso às diversas opções permitidas, para cada funcionalidade citada acima, podendo assim escolher uma dentre as possíveis formas de interação disponíveis para a funcionalidade em questão. Algumas dessas possibilidades são:

- **Ativação de funcionalidades diretamente na cena (através do mouse e teclas de atalhos) ou via *widjets*:** a manipulação direta na cena proporciona a navegação do usuário num ambiente 3D e a recursos tais como: zoom e vistas (exibição de uma, duas ou várias vistas da cena);
- **Ativação de funcionalidades através de ação-seleção ou seleção-ação:** por exemplo, a alteração da cor de um cubo pode ser feita por meio da escolha da cor e

posterior seleção do cubo (ação-seleção) ou através da seleção do cubo e posterior escolha da cor (seleção-ação); e

- **Instanciação através de um cursor 3D:** durante o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados cursores 3D de formato e dimensões variadas para a realização das pesquisas em questão. Veja seção 4.2.2.2.

4.2.2.1 Visões

Um dos principais recursos de interação utilizados nas aplicações atuais é a possibilidade de emprego de várias visões, normalmente entre uma e quatro visões. A idéia é permitir que o usuário obtenha pontos de vista diferentes do mesmo espaço 3D, suprindo assim a noção de profundidade. As visões frontal, direita, esquerda, cima, baixo, atrás e livre (perspectiva) são as opções comumente fornecidas pelos aplicativos. A Figura 17 ilustra a exibição de quatro visões no software 3D Studio Max.

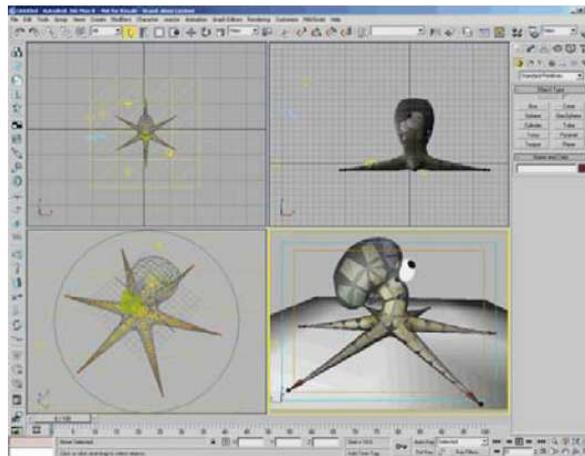


Figura 17 - As Quatro Visões no software 3D Studio Max

Entre as opções de visões é comum utilizar: XY, XZ, YZ e livre. Nesta configuração, o usuário navega através de uma visão e tem as visões dos três planos fixas, como apoio à visualização e localização dos objetos no cenário. Cada visão pode ser apenas para visualização ou permitir a interação com o cenário, isso depende dos objetivos do software ou da complexidade da visão.

Como a manipulação direta é um recurso importante para um software de modelagem 3D e o recurso de retorno visual imediato (WYSIWYG) é básico durante a interação através de manipulação direta, é importante que, ao se modificar o cenário, através de uma das visões, todas elas sejam atualizadas simultaneamente, evitando assim que o usuário tenha um retorno visual inconsistente do cenário.

4.2.2.2 Cursor 3D

O cursor 3D é um elemento que auxilia o usuário na instanciação de objetos no espaço 3D. Ao interagir com a área de manipulação direta, o usuário pode instanciar um objeto de duas maneiras, conforme ilustrado na Figura 18. A primeira com o posicionamento do cursor do mouse convencional (a) e a segunda através do cursor 3D (b). A idéia básica é instanciar o objeto na posição atual do mouse. Isto é feito, por exemplo, através do acionamento do botão direito do mouse, escolhendo uma das opções que aparecem em um menu (c).

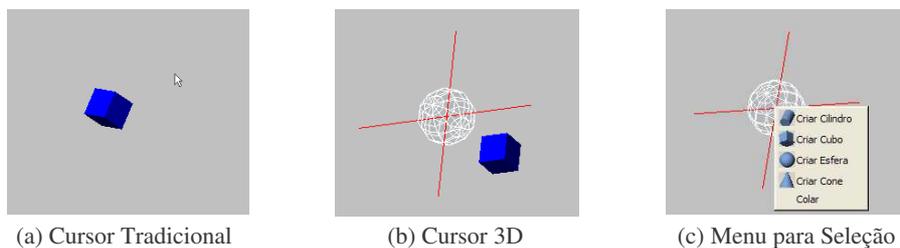


Figura 18 - Instanciação via Manipulação Direta

O uso do cursor do mouse tradicional para determinar a posição de um objeto é ambíguo, pois ele é capaz de exprimir diretamente apenas duas coordenadas, sendo um dispositivo com dois DOF's. Esta situação é o inverso da operação de projeção de um ponto 3D num espaço 2D.

Em contrapartida, o mapeamento de coordenadas 2D num espaço 3D é complexo e depende de outras variáveis que não são visíveis ao usuário, como o vetor direção da câmera, por exemplo. Neste contexto, a posição correspondente no espaço 3D nem sempre corresponde à posição em que o usuário imagina estar inserindo o objeto, ou seja, a noção de profundidade é prejudicada pelo fato da área de interação ser 2D.

Para solucionar este problema, foi desenvolvido o conceito de cursor 3D (BIER, 1990). Trata-se de um objeto que, apesar de ser visualizado no contexto da, não faz parte desta. É um objeto de referência que permite ao usuário saber a posição correta em que o objeto será inserido no cenário 3D.

Um cursor 3D pode ter diversas formas, mas os mais comuns são representados por alvos juntamente com elementos básicos para referência no espaço 3D. A Figura 19 ilustra os cursores 3D como elementos de posicionamento no cenário. O primeiro e o quarto são elementos 2D representando alvos, os demais são da ferramenta FMI3D.



Figura 19 - Exemplos de Cursores 3D (3DS, FMI3D, FMI3D e Blender)

Nos aplicativos comerciais, o cursor 3D é posicionado no cenário a partir do clique do mouse na área de manipulação direta, dando liberdade ao usuário na escolha de dois eixos e estabelecendo a profundidade (o terceiro eixo) com um valor fixo. Ele não pode ser transladado para outras posições e serve somente para indicar o local de instanciação do novo objeto. Já na FMI3D, o cursor 3D tem mais flexibilidade (translação, tipos diferentes de cursores) visando à realização de experimentos de interação.

O uso do cursor 3D já está incorporado no desenvolvimento de aplicações para a área de computação gráfica, sendo que algumas ferramentas, como o VTK (*Visualization ToolKit*) (SCHROEDER, 2001) trazem implementações prontas que facilitam o uso e interação com esse cursor, mas, como citado anteriormente, poucos trabalhos analisam o seu impacto nas aplicações que o utilizam.

4.2.3 Funcionalidades de Armazenamento de *Log*

Uma das opções para a avaliação de usabilidade foi o emprego da técnica de *logging* para registrar a interação do usuário com a FMI3D.

O *logging* por software gera indicadores diretamente associados à forma como os usuários julgam um determinado produto: baseados no tempo que levam para fazer o que querem, no número de passos exigidos para realização da tarefa e do sucesso que têm em prever a ação correta a tomar (que pode ser revelado pela ausência de erros e novas tentativas em realizar tarefas) (NETO, 2000).

Em comparação ao registro manual presencial da interação, esta técnica reduz distorções na percepção do observador e a subjetividade da observação, na medida em que registra de maneira uniforme todos os eventos ocorridos durante o diálogo.

“A natureza construtiva da percepção leva os observadores a registrar eventos que são consistentes com suas crenças e expectativas e a efetivamente ignorar ou distorcer aqueles que são contrários a estas mesmas crenças e expectativas”... (DIAPER, 1989).

Neto (2000) ressalta as seguintes características na técnica de *logging*:

- Registra de forma sistemática todos os eventos (do usuário e do sistema) e o momento exato em que estes eventos ocorreram, reduzindo a subjetividade da avaliação de uma interação humano-computador;
- Não é restritiva. Como o registro dos eventos não impacta a interação, a gravação não é perceptível pelo usuário, e portanto, não interfere na interação;
- Possibilita o registro da interação sem a necessidade da presença de um observador, o que reduz o constrangimento do usuário;
- Facilita o diagnóstico de problemas, pois a interação pode ser reproduzida posteriormente para análise;
- No caso do seu uso combinado com gravação em vídeo e com a presença opcional de um observador para, por exemplo, conduzir uma sessão de *thinking aloud* (pensamento em voz alta), libera o observador para realizar especificamente esta tarefa, eliminando a pressão de tempo sofrida por ele a fim de registrar a interação.

Como a FMI3D pode ser utilizada em diversos locais e situações, isto é, não está confinada a um ambiente fisicamente limitado e apropriado para avaliação de interfaces, é importante que ela faça o registro automático das interações para posterior análise. Este tipo de técnica é utilizada também em sistemas disponíveis na *web*.

Após a captação dos registros, é importante realizar o tratamento estatístico desses dados, pois com isso se detecta informações que demonstram problemas na interação humano-computador, como apresenta Scapin e Bastien (1997):

- Tempos excessivos para realizar determinadas tarefas podem, por exemplo, indicar problemas de densidade informacional excessiva em uma determinada tela, ou expressividade inadequada de rótulos em objetos de navegação: botões e menus;
- Voltas desnecessárias na estrutura do sistema indicam o uso de estratégias de tentativa e erro por um usuário com necessidade de uma melhor orientação;
- A não utilização de opções disponíveis na tela, necessárias para a realização de uma tarefa, aponta problemas de presteza ou legibilidade de link.

Na FMI3D, as funcionalidades do módulo de gerenciamento de *logs* são:

- Limpar o arquivo de *log* atual;

- Registrar de forma sistemática e transparente todos os eventos e o momento exato em que ocorreram. Alguns dados importantes para este registro são: tipo de Mensagem (Mouse, Teclado, etc.), valor da tecla ou coordenadas do mouse e o instante temporal a partir do início da captura do *log*.

O padrão para armazenamento desses *logs*, ilustrado na Figura 20, é determinado pelo armazenamento direto em arquivo texto, no qual as informações iniciais se referem à atividade a ser desenvolvida e em seguida o armazenamento da ação.

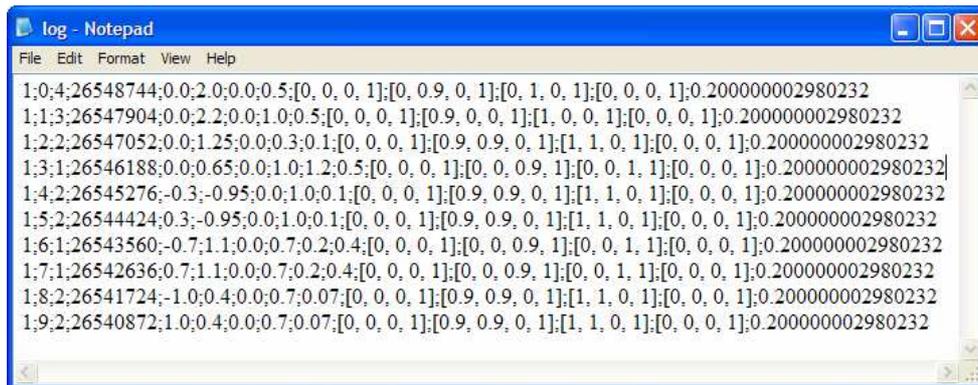


Figura 20 - Log da FMI3D

Os valores armazenados no arquivo de *log* não seguem nenhum padrão pré-estabelecido, ou seja, são armazenados aqueles considerados significativos para cada operação e que contribuem para a análise da interface. A sintaxe do arquivo, vide Anexo I, segue o padrão CSV, separados por ponto e vírgula, pelo fato desta sintaxe permitir uma fácil importação para planilhas eletrônicas e bancos de dados.

4.3 Implementação da FMI3D

Seguindo a proposta de portabilidade, foi necessário fazer uso de linguagens e padrões que possibilitassem que a ferramenta fosse executada, pelo menos, nos ambientes Linux e Windows. Neste contexto, a FMI3D foi desenvolvida utilizando a linguagem Ruby (THOMAS, 2001) (RUBY, 2006), que é uma linguagem de script para programação orientada a objetos baseada em linguagens de *script* como Perl e Python (OLIVEIRA JUNIOR, 2006).

No desenvolvimento, foi utilizado o componente para a criação de interfaces FXRuby, baseada em FOX (FOX, 2006), pois além de prover a maioria das funcionalidades comuns em uma GUI, oferece uma documentação boa e é de fácil instalação e uso, comparado a outras linguagens e bibliotecas como Java e VTK.

Uma das principais facilidades de FXRuby é a disponibilidade de classes já prontas, encapsulando funcionalidades da biblioteca OpenGL, bem como a possibilidade de modificação dessas classes ou a criação de novas. FXRuby provê uma hierarquia de classes para a manipulação de cenários desenvolvidos em OpenGL que está representada na Figura 21.

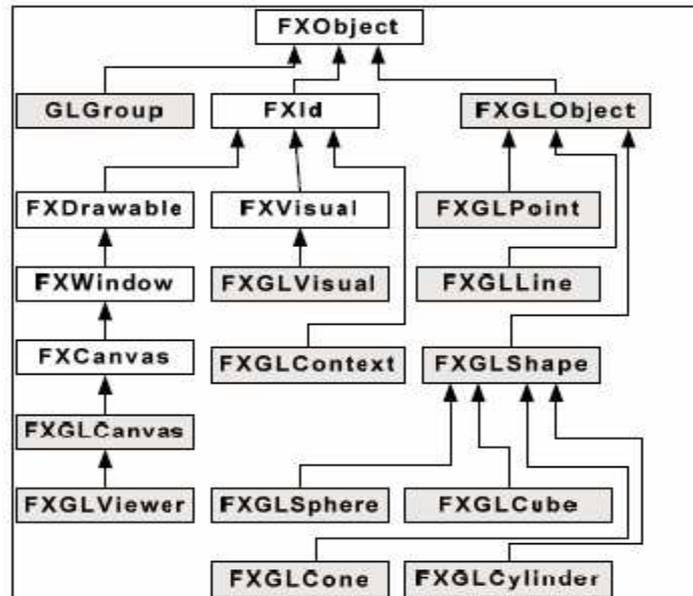


Figura 21 - Hierarquia das Classes OpenGL em FXRuby

A versão atual da FMI3D contempla as seguintes funcionalidades:

- **Instanciação de objetos:** a criação de objetos pode ser feita de quatro formas: caixa de diálogo, ícones de acesso rápido e menus, em que são atribuídos valores *default* aos objetos para sua instanciação, através do cursor 3D e, por último, pela manipulação direta (via botão direito do mouse);
- **Lista de objetos:** recurso disponível para que o usuário tenha acesso a todos os objetos instanciados independentemente de estarem visíveis em quaisquer janelas de visualização. É exibida opcionalmente num painel lateral à direita;
- **Seleção de objetos:** pode ser feita através de manipulação direta pelo mouse, ou então por meio da lista de objetos;
- **Exclusão de objetos:** é feita via ícone, teclado, mouse ou pela lista de objetos;
- **Rotação de objetos:** via caixa de diálogo ou por manipulação direta;

- **Edição de objetos:** via caixa de diálogo (fornecer as novas propriedades do objeto, como coordenadas, dimensões, etc), acionada pelo menu esquerdo do mouse, pela lista de objetos ou no menu;
- **Grade de apoio:** permite ao usuário ter uma melhor visualização dos objetos no cenário tridimensional. Torna mais fácil o posicionamento dos objetos, e permite visualizar de forma mais clara suas características de escala e posição;
- **Zoom:** por meio do uso do mouse, do teclado ou ícone;
- **Visualização do cenário ou posicionamento da câmera:** é acionado através de ícones, caixa de diálogo, menus e menu do mouse;
- **Distância e posição da câmera:** alterada através de uma caixa de diálogo, ativada por menu ou por meio da manipulação direta do cenário;
- **Janelas de visualização:** este recurso é opcional, pois há ocasiões onde o usuário prefere apresentar o cenário usando toda a área de visualização do software;
- **Armazenamento do cenário:** o usuário pode salvar o cenário com a extensão “*.3D” (definida pelo autor), XML, X3D ou Java3D. No Anexo I são fornecidas maiores informações sobre o armazenamento de cenário na FMI3D;
- **Recursos básicos:** copiar e colar, visualizar objeto em sólido, pontos e aramado.

A Figura 22 apresenta a versão atual da FMI3D durante o desenvolvimento de um dos cenários utilizados na pesquisa.

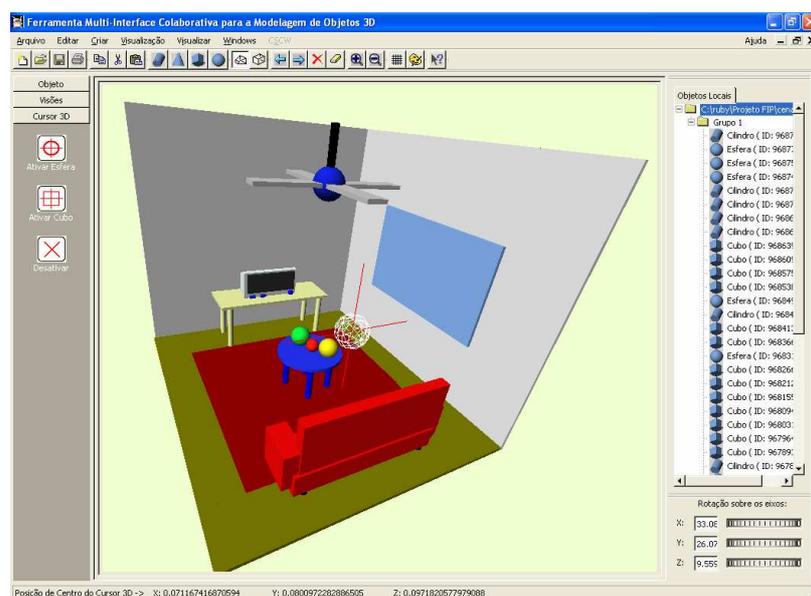


Figura 22 - Versão atual da FMI3D

4.4 Especificações de Interfaces da FMI3D

Desde a elaboração do primeiro protótipo e de seu emprego na primeira pesquisa, sobre aplicativos para instanciação de objetos 3D, se teve a preocupação de elaborar interfaces que, além de cumprir as funcionalidades pretendidas, também estivessem de acordo com a fundamentação teórica de IHC.

Para ilustrar uma definição de interface da FMI3D, é apresentada abaixo a interface que propicia a alteração da cor de um objeto ou mesmo do fundo do cenário. Foram especificadas três opções de interface para a alteração da cor, o que é comum em softwares para modelagem 3D. A Figura 23 apresenta a representação visual final da funcionalidade.



Figura 23 - Interface para alteração da cor de um objeto

Abaixo estão representados, segundo a LEMD, a função *AlterarCor* e a especificação da mensagem para o comando da função *AlterarCor*, para o software FMI3D. Estas representações levaram em conta as interfaces dos aplicativos estudados para este trabalho.

Especificação da função *AlterarCor*:

Application-Function ***AlterarCor***

Operands

Objeto ou Fundo do Cenário,

Cor Atual,

Cor Desejada,

Pre-conditions

Objeto ou Fundo deve ser selecionado antes da chamada da Função,

Cor Atual é obtida através das propriedades do objeto,

Cor Desejada deve ser escolhida.

Post-conditions

O objeto ou fundo do cenário deve ter sua cor alterada ou mantida.

Control **Cancel, Accept**

State **Executando.**

Especificação da mensagem para o comando AlteraCor:

Command-Message *AlterarCor* for Application-Function **AlterarCor**

```
Join {
  Combine {
    Activate Button Apply Color
    View Color-Field Cor Selecionada
    Select{
      Active Tab Color Picker
      Join {
        Combine{
          Active Round-Color-Picker Cor
          Active Vertical-Color-Picker Cor }
      Active Tab RGB
      Join {
        Combine{
          Enter Information-of Red
          Active Horizontal-Scroll-Bar Red }
        Combine{
          Enter Information-of Green
          Active Horizontal-Scroll-Bar Green }
        Combine{
          Enter Information-of Blue
          Active Horizontal-Scroll-Bar Blue }
        Combine{
          Enter Information-of Alpha
          Active Horizontal-Scroll-Bar Alpha }
      Active Tab Cyan, Magenta, Yellow
      Join {
        Combine{
          Enter Information-of Red
          Active Horizontal-Scroll-Bar Red }
        Combine{
          Enter Information-of Green
          Active Horizontal-Scroll-Bar Green }
        Combine{
          Enter Information-of Blue
          Active Horizontal-Scroll-Bar Blue }
        Combine{
          Enter Information-of Alpha
          Active Horizontal-Scroll-Bar Alpha }
      Active Tab HSV
      Join {
        Combine{
          Enter Information-of Hue
          Active Horizontal-Scroll-Bar Hue }
        Combine{
          Enter Information-of Saturation
          Active Horizontal-Scroll-Bar Saturation }
        Combine{
          Enter Information-of Value
          Active Horizontal-Scroll-Bar Value }
        Combine{
          Enter Information-of Alpha
          Active Horizontal-Scroll-Bar Alpha }
      Active Tab By Name
      Join {
        Select Information-of Nome da Cor } }
      Join {
        Active Color-Field White
        Active Color-Field Black
        // demais cores básicas } }
    Select {
```

```
Activate Cancel Application-Function
Cancelar
Activate Accept Application-Function
Aceitar a alteração da Cor }
}}}
```

Comparando-se a função e sua respectiva especificação de mensagem para diversos aplicativos é possível ressaltar alguns aspectos que podem compor uma interface considerada satisfatória para a função de alteração da cor. São eles:

- Disponibilização de dois elementos de interação distintos e complementares, o numérico (faixa de valores de cada componente da cor) e visual (*color-picker*). Desta forma, atende-se tanto os usuários acostumados com os valores numéricos referentes a cada cor, como os usuários que preferem o recurso visual para a seleção da cor;
- Alteração da cor através do sistema WYSIWYG, fato este que possibilita ao usuário visualizar o efeito que a cor alterada surtirá na cena como um todo. Este é um recurso importante nos aplicativos para modelagem de objetos 3D e, portanto, seus usuários estão acostumados a este tipo de recurso;
- Apresentação da cor atual num campo da interface mesmo que o usuário selecione outra cor. É interessante a cor original ser exibida para possibilitar sua comparação com a cor selecionada;
- Apresentação de modelos de cores distintos que permitam ao software se adaptar a várias aplicações distintas;
- Trazer junto à interface alguma referência ao objeto que se está manipulando (código, nome, etc) pois, apesar de normalmente haver alguma mudança na cor das arestas ou faces do objeto, nem sempre isso fica tão claro num cenário com muitos objetos e detalhes.

Através da adoção da LEMD objetivou-se um melhor entendimento e uma melhor especificação dos elementos de interface da FMI3D. Ao especificar as metamensagens e optar por elementos de interação foi possível entender o processo de definição de uma interface para que ela atinja o objetivo para qual foi elaborada.

4.5 Aspectos Relevantes da Implementação

Neste item são descritos os aspectos mais relevantes na implementação da FMI3D e que estão organizados de forma a colaborar com futuras implementações de aplicações para modelagem 3D.

4.5.1 Funcionalidades Principais

Um software para modelagem 3D faz uso de funcionalidades que podem ser divididas em: gerais, específicas e de interação. As funcionalidades gerais são:

- **Novo:** criar um novo cenário;
- **Abrir:** abrir um cenário existente;
- **Salvar:** persistir as alterações realizadas no cenário corrente;
- **Exportar:** persistir o cenário corrente num determinado padrão (X3D, Java3D, etc);
- **Importar:** permite abrir um cenário armazenado segundo um padrão diferente do utilizado pelo software como *default*;
- **Imprimir:** imprimir o cenário ativo conforme configurações atuais de impressão;
- **Desfazer/Refazer:** cancelar a última ação executada;
- **Copiar:** enviar para a área de transferência um objeto ou grupo de objetos selecionados no cenário ativo;
- **Colar:** gerar na posição corrente uma cópia de um objeto ou grupo de objetos previamente colocados na área de transferência;
- **Recortar:** remover o objeto ou grupo de objetos selecionados do cenário ativo e colocá-los na área de transferência;
- **Excluir:** remover o objeto ou grupo de objetos selecionados do cenário ativo;
- **Help:** manual online, podendo ser um help geral ou de contexto (referente a funcionalidade em uso no momento de sua ativação);
- **Sair:** finalizar o uso do software.

Dentre estas funcionalidades gerais, a de Imprimir é a menos utilizada em protótipos desenvolvidos para validar técnicas e algoritmos, mas, a partir do momento

em que se deseja gerar um produto final, é importante incorporá-la ao conjunto. As funcionalidades de Salvar, Abrir, Importar e Exportar são abordadas na seção 6.1.4.

As funcionalidades específicas tratam diretamente da manipulação (inserção, remoção ou modificação) dos objetos, ativando as funções implementadas no módulo Modelo do software. São elas:

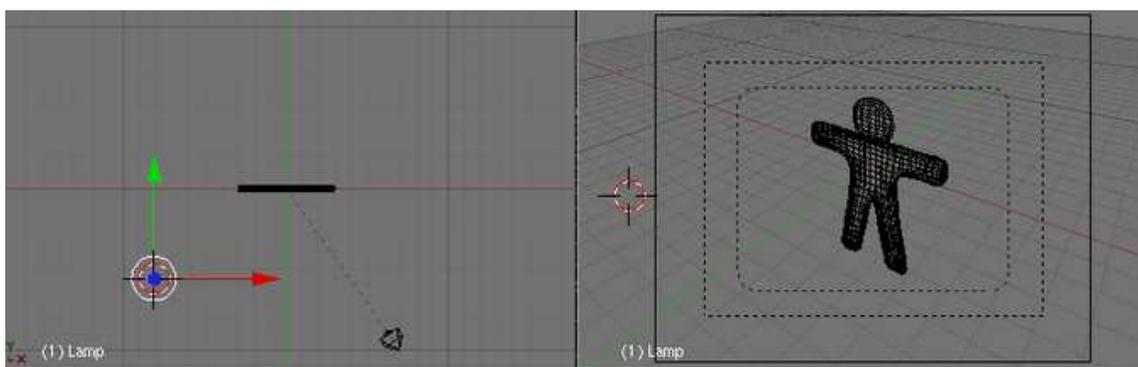
- **Instanciação:** é a funcionalidade principal do software e permite a inserção de objetos ao cenário em desenvolvimento. Pode ocorrer sob as seguintes formas:
 - O usuário indica o tipo de objeto a ser inserido, através de menus ou ícones, (com suas propriedades configuradas pelo usuário ou com valores *default*) e depois é feita a inserção na cena (instanciação);
 - O usuário define a posição no cenário na qual o objeto será inserido e depois seleciona o tipo de objeto pré-definido a ser instanciado;
 - O usuário seleciona uma série de pontos, normalmente num plano 2D, e ativa a instanciação, que gera um objeto a partir de uma forma de representação adotada pelo software. Como exemplo, temos a modelagem “à mão-livre”, na qual, a partir de uma seqüência de pontos definidos pelo usuário, a funcionalidade de instanciação deve gerar um modelo 3D.
- **Transformações lineares afim:** mapeiam pontos de um espaço euclidiano em outros pontos do mesmo espaço, permitindo que operações como: rotação (livre ou em ângulos pré-definidos - 45°, 60°, 90°, 180° e 270°), cisalhamento, translação, escala, e outras compostas como espelhamento, possam ser realizadas sobre um objeto ou grupo de objetos;
- **Propriedades:** permite ao usuário alterar as propriedades do objeto de acordo com suas características pré-definidas. Se a modelagem é feita a partir de objetos primitivos, as propriedades corresponderão às do tipo primitivo utilizado. Caso não seja, todos os objetos terão o mesmo conjunto de propriedades, o que torna mais fácil a implementação. Elas são ativadas através de menu, lista de objetos ou botão direito do mouse, sempre após uma prévia seleção do objeto ou grupo de objetos. A Tabela 2 apresenta uma lista de propriedades comuns, genéricas aos diversos tipos de representação do modelo, nos objetos a serem utilizados.

Tabela 2 – Lista de propriedade dos objetos 3D

| Elemento | Descrição |
|-----------------------------------|---|
| Geometria | Pode indicar o tipo de um objeto pré-definido (cubo, etc.), determinar uma ou mais funções que o representam, um conjunto que o forma, entre outras maneiras de representação. Este elemento pode ser simples ou complexo, dependendo da forma de representação do objeto escolhida. |
| Transformações | É um vetor (X, Y, Z) que indica a posição inicial do objeto, normalmente referente ao seu centro e desde que a linguagem permita esse recurso. Só é usual quando o modelo é formado por objetos primitivos, pois esses permitem o cálculo do ponto central facilmente. |
| Material | Identifica as características referentes a iluminação do objeto (como ele reage as fontes de iluminação do cenário). O material é formado por coeficientes de reflexão ambiente, reflexão difusa, emissão e brilho. Um objeto também pode receber uma textura, que possibilita mapear figuras ou padrões geométricos a ele. Em conjunto com as demais características de iluminação do objeto irão compor a representação visual final do objeto e sua interação, em termos de luzes, com o cenário. |
| Parâmetros de Instanciação | Permite especificar o referido elemento de objetos primitivos fornecidos pela linguagem e que contemplam esta propriedade. Quando o objeto não é representado por formas primitivas, estes elementos da propriedade não se aplicam. |

Já as funcionalidades de interação ativam, na sua grande maioria, as funcionalidades do módulo Visão e indiretamente algumas do módulo Modelo. Elas ajudam o usuário a interpretar melhor o cenário em desenvolvimento e decidir que funcionalidade específica utilizar. São elas:

- **Grade:** controla a exibição ou não de uma grade de apoio para que o usuário possa ter pontos ou regiões de referência durante a montagem do cenário. Normalmente, sua granularidade pode ser alterada de acordo com a dimensão dos cenários em construção ou da precisão de referência desejada. A grade pode ser um elemento de representação 2D ou 3D, vide Figura 24. Na FMI3D a grade é 3D;



(a) Grade 2D

(b) Grade 3D

Figura 24 - Exemplo de Grades 2D e 3D no Blender

- **Seleção:** o processo de seleção de um objeto, ou grupo de objetos, é bem mais complexo num ambiente 3D do que num ambiente 2D, tanto para o desenvolvedor quanto para o usuário. Esta funcionalidade é a que acarreta o maior grau de

complexidade ao ser migrada para um ambiente 3D, pois o usuário está interagindo com recursos de interface 2D (monitor e mouse) em uma projeção do cenário e o software deve realizar a seleção num ambiente 3D. Embora clicando com o mouse, o objeto seja tipicamente selecionado, a lista de objetos também pode ser empregada para esta finalidade, pois livra o usuário dos problemas de oclusão entre objetos ao enumerá-los numa lista. A forma usada pelo software para destacar o objeto selecionado é outra consideração importante. Alterar a cor do objeto, de suas arestas, de seus pontos, mostrar uma âncora ou colocar um paralelogramo que envolva os objetos são técnicas utilizadas e não excludentes;

- **Agrupar e Desagrupar:** possibilita reunir objetos em grupos para que possam ser tratados pela maioria das funcionalidades (cor, transformação, etc.), como sendo um único objeto. Ao desfazer um grupo, os objetos são tratados novamente de forma isolada;
- **Projeção:** refere-se ao ajuste do volume visível através da matriz de projeção. A projeção pode ser paralela ou perspectiva;
- **Câmera:** permite manipular diretamente uma câmera no cenário. A câmera pode ser um objeto disposto no cenário, utilizada para animações e fotografias ou a janela de visão do usuário. Neste trabalho, o termo câmera é utilizado para representar a janela de visão do usuário (vistas). Algumas movimentações padrão da câmera são definidas por outras funcionalidades (vistas e zoom);
- **Zoom:** aproxima ou distancia a câmera, na direção do vetor direção, em uma unidade normalmente configurada pelo usuário. É muito utilizada para obter detalhes dos objetos em construção e facilmente entendida pelos usuários menos experientes;
- **Vistas:** modifica a câmera, de forma a alinhá-la segundo um dos eixos coordenados, normalmente mantendo seu ponto de referência como o centro do cenário. Classicamente, temos as vistas: topo, frente, atrás, direito, esquerdo e fundo. É também possível usar o centro geométrico do objeto ou grupo selecionado como ponto de referência, ou seja, as vistas serão referentes ao objeto e não ao cenário como um todo;
- **Tipo de Visualização:** os objetos do cenário são visualizados como sólido (com ou sem textura), arestas ou pontos. Outra possibilidade é mudar o modo de visualização somente de um objeto ou grupo previamente selecionado;

- **Janelas:** a interface da FMI3D pode conter várias janelas com vistas diferentes do cenário, facilitando assim a interação do usuário. Estas janelas suportam vistas pré-definidas (topo, frente, etc.), permitem a manipulação da câmera, liberar/bloquear a manipulação dos objetos ou fixar um dos eixos para que o usuário só possa movimentar objetos do cenário num único plano;
- **Lista de Objetos:** Consiste em manter uma lista dos objetos instanciados. Os nomes dos objetos podem ser modificados pelo usuário, como por exemplo, *cubo_base_principal*. Através da seleção do nome do objeto na lista, suas propriedades principais podem ser exibidas.

4.5.2 Interfaces

Em geral, os aplicativos podem ter uma interface fixa ou modularizada. Os de interface fixa são aqueles cujas funcionalidades são limitadas a um uso específico, como os aplicativos de controle de estoque ou cadastro de clientes, e são desenvolvidos ou configurados conforme a necessidade do usuário. Já os demais aplicativos, utilizados para várias aplicações ou que permitem um grau de liberdade ao usuário, utilizam uma interface modularizada, ou seja, que exibe ou não um conjunto de janelas, ícones e demais formas de interação, conforme a necessidade e hábito do seu usuário. Os aplicativos de instanciação 3D normalmente se encaixam nesta segunda categoria.

A FMI3D emprega um estilo clássico para disponibilizar alguns elementos de interface. A Figura 25 ilustra esta disposição, na qual os menus são itens indispensáveis, os ícones podem ser exibidos, normalmente habilitando ou desabilitando grupos de funcionalidade (básicas, específicas e de interação).

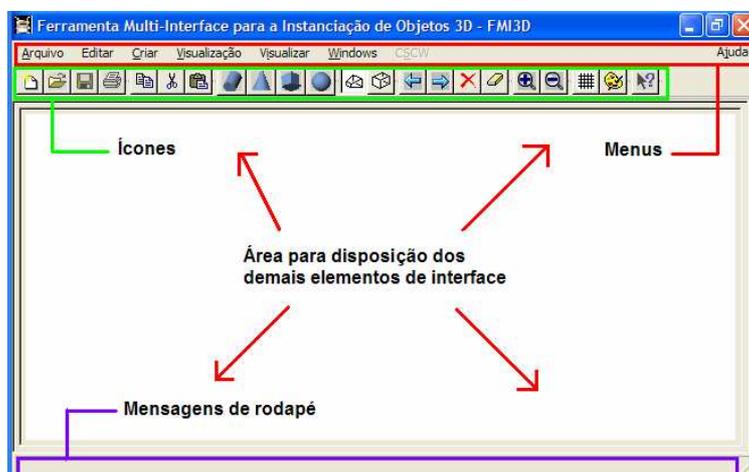


Figura 25 - Elementos básicos de interface

Como ilustra a figura acima como, a região central é normalmente usada para exibir a área para manipulação direta, as vistas auxiliares, as propriedades (cenário, câmera e objetos), a área de linguagem de comandos e a lista de objetos. Estes elementos seguem o estilo WYSIWYG, ou seja, geram alterações no cenário de acordo com a interação do usuário.

A maioria dos aplicativos comerciais apresenta interfaces complexas, que dispõem de muitos recursos de interação. A Figura 26 apresenta a interface do Blender, com identificação dos principais recursos de interatividade. É importante lembrar, que esses aplicativos comerciais permitem a configuração de grande parte da sua interface (exibindo ou não cada recurso de interação). Este fator é determinante para deixar a interface mais limpa ou mais poluída e voltada para a necessidade do desenvolvedor.

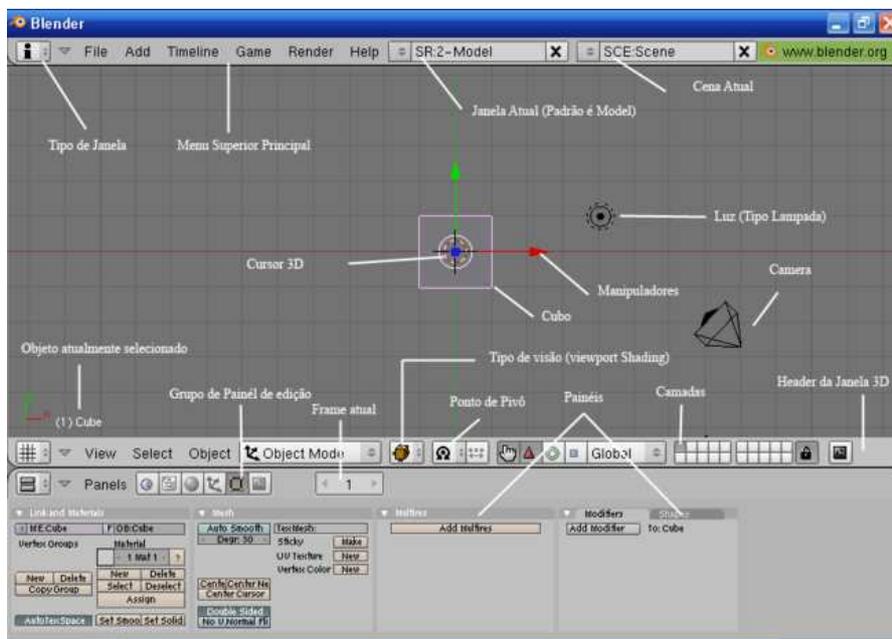


Figura 26 - Interface do Blender

Durante o desenvolvimento deste trabalho, observou-se um ponto que ajuda a conhecer um pouco mais o grau de entendimento do usuário em relação ao software. Quanto mais experientes os usuários, maior o grau de customização efetuado na interface do software. Em contrapartida, usuários iniciantes tendem a utilizar as configurações *default* do software. A Figura 27 ilustra a disposição espacial *default* utilizada na FMI3D.

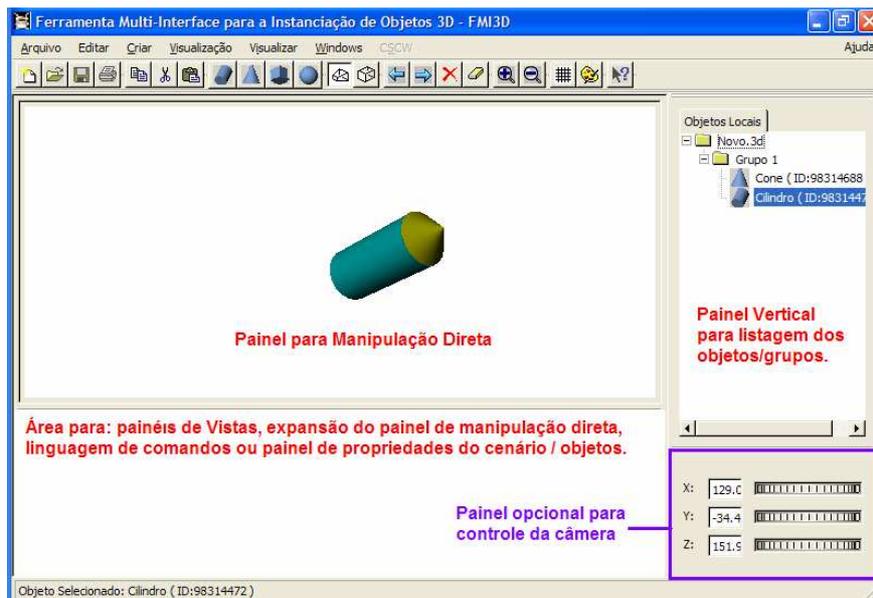


Figura 27 - Distribuição dos elementos de interface na FMI3D

4.5.3 Visualização do Cenário

O módulo Visão é responsável pela visualização do cenário, pelos painéis (janelas) de vistas e por como o cenário reage a interações do usuário. As funcionalidades de interação correspondem, em sua grande maioria, à manipulação do cenário e sua conseqüente visualização.

A exibição de objetos em um cenário 3D é realizada por algoritmos e técnicas bem conhecidas em Computação Gráfica. As maiores dificuldades na implementação do módulo Visão se prendem à correta e pronta visualização das alterações introduzidas durante o processo de interação. Neste contexto, conforme observações e entrevistas realizadas na pesquisa sobre desenvolvimento de cenários (vide seção 6.1), as seguintes funcionalidades mereceram particular cuidado:

- **Instanciação:** ao invés de definir o local a ser inserido o objeto através das coordenadas específicas, o usuário pode instanciar um objeto por meio do acionamento do mouse num ponto qualquer do cenário ou através do uso de um cursor 3D. Durante a pesquisa, vários usuários tiveram dificuldades em instanciar o objeto, através de manipulação direta, no local desejado. Esta dificuldade foi aliviada parcialmente, no caso do uso de um cursor 3D através da exibição, no rodapé, da posição do mesmo, fornecendo assim um ponto de referência da localização atual. Outra possibilidade é permitir que o usuário fixe um dos eixos durante o processo de

instanciação, esta atitude facilita a interação com a área de manipulação direta, que fica por algum tempo com liberdade somente em dois eixos;

- **Grade:** é um elemento não passível de seleção ou manipulação pelo usuário;
- **Câmera:** os usuários menos experientes no desenvolvimento de cenário 3D têm maior dificuldade em manipular a câmera e funcionalidades derivadas. Conforme levantamento, esta dificuldade se dá na manipulação das propriedades da câmera, principalmente o vetor direção, quando o usuário interage de forma a distanciar ou aproximar a câmera dos demais objetos ou mesmo mudar a sua direção para um ponto totalmente distante dos objetos do cenário. Este problema está ligado à pouca noção espacial desenvolvida pelo usuário para estas aplicações. Esta inconsistência ocorre porque o usuário ainda não se acostumou ou desconhece a utilidade de ter outras janelas com pontos de vistas diferentes da área principal de manipulação direta. Um recurso muito utilizado em jogos e aceito pelos participantes dos experimentos como um ponto importante de apoio, é a possibilidade de uma janela com o cenário em miniatura e com a câmera em destaque (desenhada no cenário, inclusive com o vetor direção). Esta miniatura pode ajudar na localização da câmera dentro do cenário, enquanto o usuário não domina com precisão o ambiente 3D;
- **Agrupar e Desagrupar:** em ambientes 2D é comum utilizar um retângulo definido com o arraste do mouse para selecionar objetos em um grupo. Em um ambiente 3D os objetos agrupados estão em três dimensões e não em duas, o que de certa forma torna esta técnica menos atraente. Apesar de ser eficiente no momento inicial da seleção, a maioria dos usuários que participaram da pesquisa questionaram sobre quais os objetos foram agrupados quando o agrupamento foi feito. Uma solução é agrupá-los a partir da lista de objetos, mas é pouco operacional (os usuários estão acostumados a selecionar os membros do grupo por manipulação direta);
- **Seleção:** a seleção de um objeto pode ser feita pela lista de objetos, desde que o usuário tenha associado um nome para cada objeto ou lembre a ordem de instanciação dos objetos no cenário, mas a forma mais usual é através de manipulação direta. O retorno visual da seleção de um objeto ou grupo deve ser sempre imediato (WYSIWYG), o que traz à tona os mesmos problemas de visualização das funcionalidades de agrupamento e tipos de visualização. Quando se seleciona um objeto é possível associar a ele uma âncora, um paralelepípedo

envolvente ou uma silueta, demonstrando assim que o objeto está selecionado, mas independente desta forma de ressaltar o objeto selecionado ou das anteriores, o processo de seleção e indicação do objeto selecionado num ambiente 3D é sempre complexo. Durante a execução da pesquisa, várias vezes os usuários menos experientes, optaram por selecionar um objeto através da lista de objetos, devido à facilidade do processo e pelas tentativas frustradas de seleção via manipulação direta.

4.5.4 Manipuladores

Embora manipuladores não tenham sido implementados na versão atual da FMI3D, são recursos bastante comuns em aplicações de instanciação 3D e deverão ser objeto de estudo futuro. Um manipulador é um *widget* 3D, presente na cena e associado à visualização de um objeto. Este elemento sofre interações que resultam em alterações nas propriedades do objeto selecionado (FONSECA, 1997). O usuário utiliza normalmente o mouse para interagir com o manipulador, que reage a eventos de botão pressionado / arrastado / solto, indicando, respectivamente, o início de uma interação, a interação propriamente dita e o fim da interação (CONNER, 1992).

Funções de retorno (*callbacks*) são definidas no manipulador para que ele se comunique com a visualização durante uma interação: uma *callback* de início invocada quando ocorrem eventos de botão pressionado; uma *callback* de movimento, invocada quando ocorrem eventos de botão arrastado; e uma *callback* de fim, invocada quando ocorrem eventos de botão solto (GRIMM, 1995).

Através dos manipuladores é possível explorar propriedades diferenciais de superfície de um objeto, indicar vetores normais, controlar a rotação e a escala, entre outras ações. A Figura 28 apresenta várias situações de uso dos manipuladores.

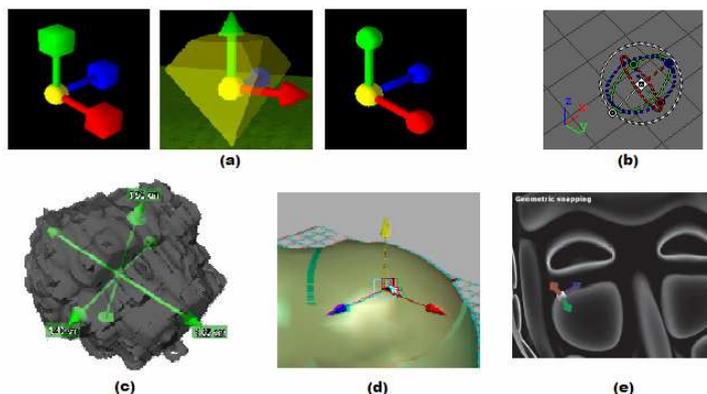


Figura 28 - Exemplos de Manipuladores

A Figura 28-a apresenta os manipuladores utilizados no software Unlimited Drop (VILLAGE GAMES, 2007) e permitem escala, translação e rotação, respectivamente. A Figura 28-b apresenta um manipulador com vários controles, do software ppModeler (PPMODELER, 2007). O cursor apresentado na Figura 28-c é utilizado para informar a dimensão de um tumor (PREIM, 2002). Já o cursor da Figura 28-d é utilizado no software Maya (AUTODESK, 2007) e por último o cursor da Figura 28-e permite a manipulação da superfície do objeto (BATAGELO, 2007).

Manipuladores são importantes porque servem para destacar o objeto alvo da manipulação corrente e facilitam algumas operações, principalmente em objetos com formatos irregulares. A quantidade de recursos associados a um manipulador é determinada pelos objetivos do software ou do contexto em que o manipulador está sendo utilizado.

Um outro tipo de manipulador que pode ser usado em aplicações para modelagem 3D é a sombra (HERNDON, 1992). Protótipos como o Squirrel (IGARASHI, 2005) utilizam a sombra projetada sobre um plano como manipulador, para auxiliar no posicionamento de objetos.

4.5.5 Armazenamento, Importação e Exportação

O armazenamento, a importação e a exportação de um cenário fazem parte do processo de persistência, indispensável em um software de modelagem. O armazenamento pode ou não seguir algum padrão específico e conhecido por outros aplicativos semelhantes, mas a exportação deve atender aos principais padrões disponíveis. Entre eles, podemos citar: 3dStudio Max (.3DS), Autodesk FBX (.FBX), Drawing eXchange Format (.DXF), DirectX (.X), Google Earth (.KML, .KMZ), LightWave (.LWO), LightWave Motion (.MOT), Quake 3 (.MAP), STL (.STL), VRML e VRML97 (.WRL), X3D Extensible 3D (.X3D), Motion Capture (.BVH). A implementação atual da FMI3D suporta a utilização dos padrões X3D.

Em geral, para a definição de um arquivo de armazenamento do cenário e sua sintaxe é importante levar em conta as seguintes considerações:

- **Completude:** todas as propriedades de todos os objetos do cenário devem ser persistidas;

- Opcionalmente, pode-se persistir configurações do próprio software, tais como geometria das vistas, preferências de interface, etc.;

Definição entre uma forma textual de armazenamento, por exemplo, o X3D ou de uma forma binária, mais rápida e menor. Esta definição depende muito da aplicabilidade do software.

Capítulo 5

Avaliação de Interação em Sistemas de Modelagem 3D

O desenvolvimento do presente trabalho consistiu em grande parte na condução de pesquisas com o objetivo de analisar determinados aspectos do processo de interação em aplicações de instanciação 3D, a saber: estilos de interação empregados em tarefas típicas de modelagem de cenários, o uso de cursores 3D e o uso de visões. A realização dessas pesquisas foi precedida por uma definição de métodos e procedimentos a serem empregados, que são descritos a seguir. Este capítulo também relata uma pesquisa piloto conduzida com o objetivo de delimitar o escopo das pesquisas subseqüentes e também de familiarizar o autor com práticas e instrumentos sugeridos na literatura da área de IHC.

5.1 Aspectos Metodológicos

Embora o escopo deste trabalho não permita o emprego rigoroso de metodologias comumente usadas em estudos de interfaces, para que os resultados obtidos gozassem de um mínimo de significância, buscou-se a aderência a alguns aspectos metodológicos citados na literatura, principalmente no que diz respeito a práticas para avaliação de usabilidade.

5.1.1 Método para Avaliação de Usabilidade

Diversos autores propuseram definições ligeiramente distintas de usabilidade: Shackel (1991), Nielsen (1994), Jordan (1998), entre outros. Este trabalho se baseou na definição de Nielsen, que considera a usabilidade como um entre os vários aspectos que podem influenciar a aceitabilidade de um produto. Isto é, ela faz parte de um conceito

mais amplo que envolve aspectos como custo, confiabilidade e até mesmo aceitabilidade social (Figura 29).

“A aceitabilidade de um sistema se refere à sua capacidade de satisfazer todas as necessidades e exigências dos usuários, que podem ser tanto os usuários finais quanto outras pessoas que estejam envolvidas de alguma forma com esse sistema.” (NIELSEN, 1994).

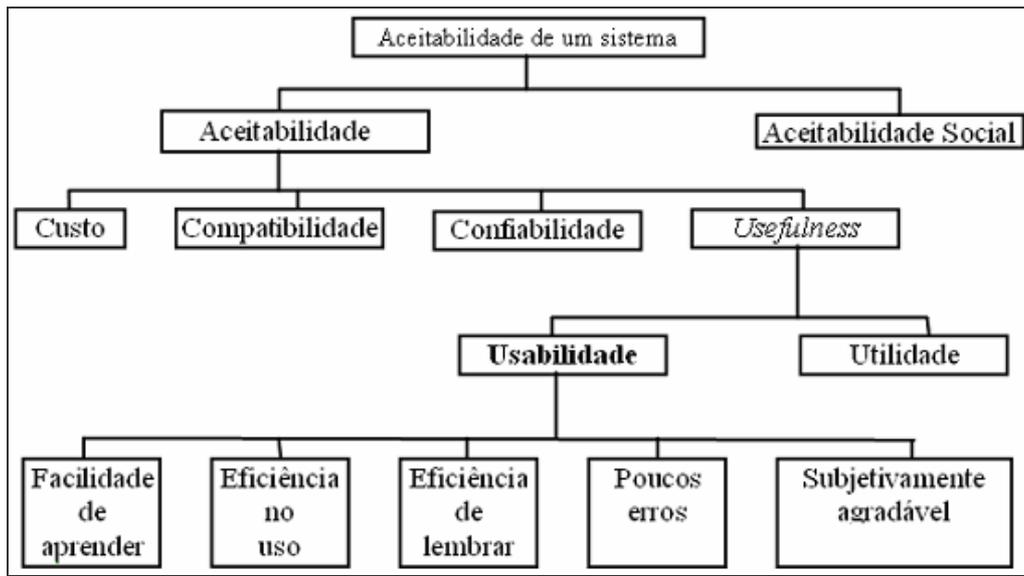


Figura 29 - Modelo de atributos de aceitabilidade de Nielsen (1994)

Na avaliação e na medida da usabilidade, Nielsen cita cinco atributos:

- **Aprendizagem:** o sistema deve ser de fácil aprendizado, para que o usuário possa começar a utilizá-lo rapidamente;
- **Eficiência:** o sistema deve ser eficiente no sentido de que, uma vez que o usuário aprenda a utilizá-lo, ele o faça com alta produtividade;
- **Memorização:** o sistema deve ser de fácil lembrança, ou seja, mesmo que o usuário passe um período sem usá-lo, não terá que aprender tudo novamente para reutilizá-lo;
- **Erros:** a taxa de erros deve ser baixa. Erros de extrema gravidade não devem ocorrer. Ao cometer algum erro, o usuário deve ter a possibilidade de recuperar o estado imediatamente anterior do sistema;
- **Satisfação:** os usuários devem gostar do sistema, o que está diretamente associado às funcionalidades providas. Ele deve ser agradável de ser utilizado para que as pessoas se sintam satisfeitas com o seu uso.

A pesquisa em questão considerou esses atributos como medida de avaliação. Após a definição dos atributos, foi necessário fazer a escolha de um dentre os métodos de avaliação de usabilidade comumente utilizados (JUNIOR, 2003):

- **Avaliação Heurística:** é aplicada sem a participação do usuário. Os avaliadores se baseiam nas dez heurísticas de Nielsen (2006) para realizar a avaliação. Ela não é adequada ao presente trabalho pelo fato de avaliar o software e não como (ou por quê) o usuário faz uso do mesmo (objetivo desta pesquisa);
- **Percurso Cognitivo:** também não conta com a participação do usuário (LEWIS, 1997). Refere-se ao processo de aprendizagem do software e não a forma como os usuários mais experientes fazem uso do mesmo. Por este motivo, e também pelo mesmo motivo do método anterior, não é recomendado para estas pesquisas;
- **Teste de Usabilidade:** realizado através da observação dos usuários, enquanto eles testam e avaliam o software. A realização do teste é baseada nas métricas de usabilidade escolhidas. O registro de informações pode ser feito através de vídeo, áudio e anotações. De posse destas informações, é possível obter medidas qualitativas (comportamento do usuário) e quantitativas (tempo de execução, etc.). Este método se mostra mais adequado ao escopo das pesquisas e por isso foi escolhido para ser implementado.

Definido o método da avaliação a ser utilizado, o Teste de Usabilidade, partiu-se então para a definição das métricas de usabilidade que deveriam ser medidas para contribuir de forma efetiva às pesquisas. Posteriormente, definiram-se as atividades a serem executadas para coletar os dados.

5.1.1.1 Métricas de Usabilidade

Para a definição das métricas de usabilidade, utilizou-se o Modelo de Medida de Usabilidade de (NIELSEN, 1994), que segue os seguintes passos: identifica claramente qual o objetivo a ser atingido, define e quantifica os componentes, delibera um método para medir o desempenho do usuário e, por último, determina quais serão as atividades a serem executadas para coletar os dados. A Figura 30 ilustra um exemplo de aplicação deste modelo.

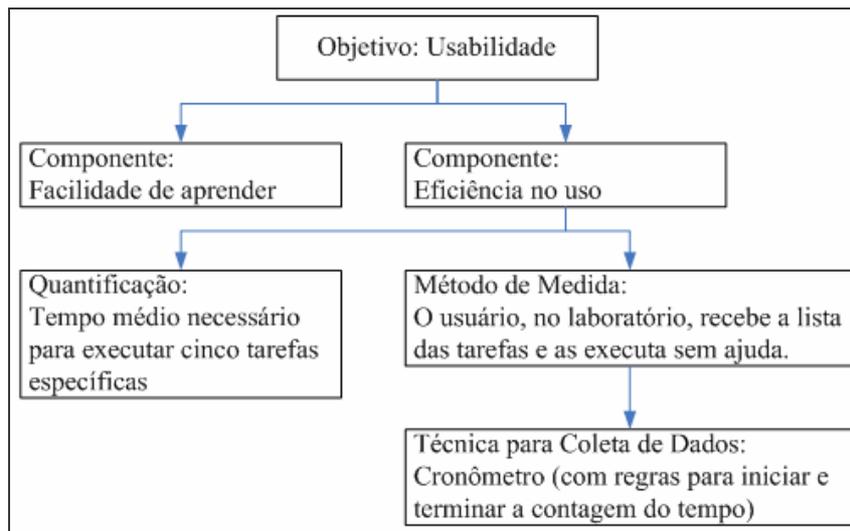


Figura 30 - Exemplo do Modelo de Usabilidade (NIELSEN, 1994)

5.1.2 Grupo de Usuários

Os usuários que participaram das diversas pesquisas apresentadas neste trabalho foram todos voluntários, sendo que no início de cada pesquisa eram apresentados os objetivos da mesma, o tipo de informação que seria obtida e como ela seria utilizada. Sempre deixando bem claro o objetivo geral do trabalho que estava sendo desenvolvido e que seus nomes não seriam relacionados com nenhuma análise ocorrida durante ou após a pesquisa. Também era permitido ao voluntário desistir de participar da pesquisa após a apresentação da mesma. Embora tenham colaborado com a pesquisa alunos de instituições nas quais o autor desempenhava funções docentes, este não tinha nenhuma relação mestre/aluno com nenhum dos participantes. Um outro aspecto ético importante observado durante a condução das pesquisas foi que em nenhum momento os voluntários seriam avaliados sob qualquer ponto-de-vista. Ademais, embora não se tenha instado nenhum participante a assinar um formulário de consentimento, foi exigido de todos um consentimento verbal. Os voluntários podem ser assim divididos:

- Alunos da Associação Educacional Dom Bosco – Resende/RJ: alunos do curso de graduação que não cursavam nenhuma disciplina lecionada pelo pesquisador, ou seja, não havia a relação participação na pesquisa com algum grau na disciplina;
- Alunos do LCG/PESC/COPPE/UFRJ: a pesquisa piloto contou com a participação voluntária de alguns alunos de Mestrado do Laboratório de Computação Gráfica, mas por motivo de disponibilidade, eles não participaram das demais pesquisas;

- Profissionais de CAD, Animação e Design: o pesquisador contou também com a colaboração de vários profissionais da região Sul Fluminense com experiência em aplicativos para Modelagem 3D.

5.1.3 Coleta de Dados

Em todas as pesquisas realizadas com usuários, a coleta de dados foi planejada de modo a fornecer informações que contemplassem o modelo de medida de usabilidade de Nielsen. A cada pesquisa foram coletados dados através de questionários, conversas com o grupo de participantes e observação dos experimentos, sobre:

- **Aprendizagem:** quais tipos de dificuldades o usuário encontrou, como localização da funcionalidade, visualização do resultado, entendimento das terminologias utilizadas na interface, etc.;
- **Memorização:** que dificuldades que o usuário encontrou no processo de memorização da interface;
- **Erros:** o que provavelmente levou o usuário a cometer os erros;
- **Satisfação:** reações físicas e emotivas do usuário em relação às suas atividades.

As informações referentes à aprendizagem e memorização foram coletadas através do log da FMI3D, das anotações do observador e nas entrevistas ao final de cada pesquisa.

Além da anotação, os usuários preencheram um questionário após a realização da pesquisa. O questionário foi elaborado da seguinte forma:

- **Dados pessoais:** nome, idade, grau de instrução, área de formação, grau de conhecimento neste tipo de software;
- **Problemas encontrados:** descrição dos problemas encontrados;
- **Avaliação da forma de interação:** pontos positivos e negativos;
- **Satisfação:** baseado no questionário de satisfação da SUS (*System Usability Scale*) (BROOKE, 1986).

Ao final de cada pesquisa ou etapa da pesquisa foi realizada uma entrevista com o grupo de voluntários para discutir as atividades realizadas, ouvir as suas opiniões e sanar algumas dúvidas oriundas das anotações durante o processo de observação. O

entrevistador buscou, principalmente através de perguntas que visavam à comparação entre as formas de interação, obter dados qualitativos que pudessem expressar a opinião do grupo(DENZIN, 2005).

5.1.4 Relevância da Opinião dos Usuários

A coleta de dados nos permite obter informações sobre um usuário ou grupo, mas estes dados *in natura* trazem algumas inconsistências e distorções, devido à desigualdade em termos de experiência e habilidade entre os usuários. Neste contexto, a variação das respostas coletadas pode influenciar nos resultados da pesquisa. Para minimizar as distorções e relevar as respostas dos usuários com um perfil mais adequado a uma pesquisa, um recurso bastante empregado é Teste de Relevância (CAZELLA, 2005).

Para realizar o Teste de Relevância seguiu-se o modelo utilizado por Cazella e Álvares (2005), que define os critérios de inclusão e de exclusão dos usuários da pesquisa, além de atribuir a cada usuário um valor de relevância dos seus dados coletados, conforme regras estabelecidas pelo pesquisador. Esta métrica de relevância é chamada de *Ranking* de Recomendação (RR) e mostra a experiência do usuário dentro do grupo no qual ele foi incluído. O RR varia numa escala de 0 a 10.

A Figura 31 ilustra as equações utilizadas para calcular o RR de cada usuário. Vários atributos são utilizados para compor o RR, como o tempo de experiência na área que o enquadra como membro do grupo (mínimo seis meses (minA) e máxima de 36 meses (maxA)), por exemplo. O peso atribuído(p_i) a cada atributo é definido pelo pesquisador com base na distribuição de importância que o pesquisador associa a cada item e que denota o quanto aquele atributo é importante para a pesquisa.

$$\begin{array}{cc}
 \boxed{
 \begin{array}{l}
 an = \frac{a - \text{min}A}{\text{max}A - \text{min}A} \times (10 - 0) + 0 \\
 \text{(a)}
 \end{array}
 } &
 \boxed{
 \begin{array}{l}
 RR = \frac{\sum_{i=1}^n an_i p_i}{\sum_{j=1}^n p_j} \\
 \text{(b)}
 \end{array}
 }
 \end{array}$$

Figura 31 - Equações para Cálculo da Normalização do Atributo (a) e do RR (b)

O usuário que recebe um RR igual a zero é desqualificado da pesquisa e os demais têm o valor do atributo respectivo multiplicado pelo seu índice de relevância,

visando assim dar um maior peso para os mais “qualificados”. Os valores mínimo (minA) e máximo (maxA) e o peso (p) são definidos de forma empírica. No contexto deste trabalho, foram utilizados os dados coletados pelo questionário aplicado no início da pesquisa para compor o RR de cada usuário.

5.2 Pesquisa Piloto sobre aplicativos de instanciãõ 3D

Antes da realização das pesquisas, que iriam gerar dados para atingir o objetivo principal deste trabalho, foi efetuada uma pesquisa piloto visando aplicar as técnicas de avaliação de usabilidade em aplicativos para modelagem 3D, buscando obter o conhecimento necessário para desenvolver as pesquisas seguintes com maior eficiência.

A pesquisa piloto objetivou conhecer o processo de instanciãõ 3D nos aplicativos para modelagem 3D e compreender as diversas interfaces utilizadas. Desta forma, essa pesquisa piloto além de fornecer experiência sobre avaliação de usabilidade em aplicativos desta natureza permitiu também, através dos seus resultados, um melhor entendimento sobre o processo de interação durante a construção de um cenário 3D. A pesquisa foi dividida em duas etapas:

- A primeira etapa tem como objetivos vivenciar a realização de uma experiência de avaliação de interface em vários aspectos: elaboração de formulário, aplicação, “controle sobre o andamento da pesquisa” e análise de resultados. Procurou também verificar quais os principais aspectos dos aplicativos gráficos a serem avaliados e quais poderiam trazer maior contribuição para o resultado da avaliação;
- A segunda etapa utilizaria as conclusões obtidas na primeira etapa, para gerar uma avaliação com escopo mais bem definido, validando ou não estas conclusões e serviria como base e fonte para o desenvolvimento do trabalho.

Para cumprir estas etapas foram delimitados cinco elementos:

- **Metodologia:** Apesar da primeira etapa ter sido informal, pois tinha como objetivo avaliar o próprio método de pesquisa, se achou interessante fazê-la de forma mais próxima à experiência em manipulação de interfaces das pessoas envolvidas no trabalho;
- **Aplicativos avaliados:** definiu-se como base o uso de um software bem conhecido para os usuários de recursos gráficos, o 3D Studio Max e um outro software não tão

conhecido e que, principalmente, apresentasse uma interface bem diferente das convencionais para este tipo de software, o Blender. A idéia era comparar um software com interface padrão Windows e outro com interface bem diferenciada no que diz respeito a funcionalidades comuns a ambos;

- **Grupo de usuários:** distinto para as duas etapas, por problemas de conciliação de atividades. O primeiro era formado por alunos da disciplina de Tópicos Especiais em Computação Gráfica do PESC/COPPE e por estudantes voluntários do curso de Sistemas de Informação da Associação Educacional Dom Bosco, totalizando oito voluntários. O segundo grupo foi formado somente por alunos do curso de Sistemas de Informação da Associação Educacional Dom Bosco, totalizando dez voluntários;
- **O que seria avaliado:** Em ambas as etapas da pesquisa foi utilizado um tutorial básico para modelagem de objetos que contempla a criação de um modelo conhecido com boneco de biscoito. O motivo para a utilização do mesmo cenário nas duas etapas da pesquisa foi evitar que características implícitas dos objetos influenciassem o formulário e, por consequência, as avaliações finais de cada etapa, mascarando assim os resultados comparativos entre as duas;
- **Definição/elaboração do formulário:** Em ambas as etapas, o formulário foi elaborado com perguntas de múltipla escolha e com perguntas discursivas, que deveriam ser respondidas antes e depois da realização da atividade. Na primeira etapa foi utilizado um formulário que continha várias perguntas discursivas e poucas perguntas de múltipla escolha. Já o formulário da segunda etapa continha várias perguntas de múltipla escolha e poucas perguntas discursivas, pois se verificou que conteúdos abordados por perguntas discursivas poderiam ser melhor avaliados durante a entrevista, onde possíveis problemas de interpretação da pergunta ou dificuldade de entendimento da resposta podem ser contornados por meio de diálogo.

Os dois grupos utilizaram a interface em busca de algumas características básicas apresentadas a eles durante a apresentação da pesquisa (Avaliação Heurística (NIELSEN, 1994)), sendo importante ressaltar que o segundo grupo era formado por alunos voluntários que não participaram da primeira avaliação. Todos os participantes eram usuários frequentes de computador, sendo que parte do grupo tinha bons conhecimentos em aplicativos gráficos e outra parte nunca tinha utilizado um software desta natureza.

5.2.1 Aplicação e Resultados da Primeira Etapa

Esta etapa da pesquisa tinha as seguintes características:

- Atividade realizada: construção do boneco de biscoito em sete passos distintos utilizando o Blender e o 3DStudio. A construção do cenário era dividida em sete passos distintos;
- Tempo de duração: na média, cada usuário levou aproximadamente quatro horas para realizar a atividade proposta;
- Grupo de usuários: oito participantes, sendo três sem experiência com software para modelagem 3D, dois com pouca experiência e três que alegaram fazer uso frequente deste tipo de software.

Os usuários da primeira etapa formaram dois subgrupos distintos, por aspectos geográficos e de escolaridade. Foram realizadas duas atividades temporalmente independentes. A primeira teve seu início com o grupo de usuários de uma disciplina do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE e teve como ponto de partida uma apresentação sobre a área de IHC e sobre os principais tópicos de usabilidade. A apresentação transcorreu tranquilamente e com boa participação.

Durante as aulas, o professor e também orientador deste trabalho discutia o andamento das pesquisas e demais aspectos relevantes aos aplicativos. Apesar do incentivo do professor, apenas um dos alunos concluiu a primeira atividade (Blender) e respondeu ao formulário da pesquisa, mas não realizou a segunda parte da atividade.

Logo após o início da atividade com o primeiro subgrupo, foi iniciado o trabalho com o subgrupo de alunos do curso de Sistemas de Informação. Para estes alunos, foi feita a mesma apresentação sobre a área de IHC e sobre os principais tópicos de usabilidade, embora esta apresentação tenha se caracterizado mais como uma aula formal ao invés de seminário, pois esse grupo tinha um perfil menos técnico do que o outro.

As atividades desse segundo subgrupo foram acompanhadas em laboratório, onde foi feita a condução da atividade sem entrar nos aspectos a serem avaliados, ou seja, questões gerais sobre modelagem de objetos e aplicativos gráficos eram discutidas pelo grupo e cada usuário continuava sua atividade de forma independente dos demais.

Como estavam realizando a pesquisa num local pré-definido, o que não aconteceu com o primeiro grupo, foi possível fazer algumas observações sobre as reações dos usuários ao se confrontarem com alguns aspectos da interface, o que permitiu extrair conclusões mais significativas. Foi possível realizar a atividade por completo e fazer a comparação entre os dois aplicativos nos pontos avaliados.

Na análise dos formulários de pesquisa, foi feito um resumo com todas as perguntas e respostas dos usuários participantes. Foram obtidas as seguintes conclusões sobre a utilização do Blender:

- O fato de o software ser desconhecido dos usuários gerou a possibilidade dos mesmos interagirem com uma interface com padrão diferente de aplicações às quais estes estão habituados;
- O tempo médio gasto pelos participantes para executar o tutorial foi de quatro horas e o nível de dificuldade encontrado foi de médio para difícil;
- A maioria dos usuários estava acostumada com a interface padrão Windows, o que é um problema inicialmente;
- A interface do Blender é pouco intuitiva aos novos usuários;
- A falta de uma linguagem de comandos e de *scripts* nativa do programa foi percebida por usuários mais avançados;
- Os recursos do tipo *undo* e *redo* foram considerados essenciais para os usuários, pois a maioria se ressentia da impossibilidade de fazer testes e desfazê-los. Estas funcionalidades foram incorporadas a versões posteriores à 2.41 do Blender, utilizada nesta pesquisa, após ter sido reiteradamente apontada como uma das principais deficiências do software em fóruns de usuários;
- A limitação de itens dos menus (como faixa de valores e verificação de limites) foi considerada um item auxiliar importante;
- A idéia de ação-reação (WYSIWYG) foi bem vista pelos usuários uma vez que propicia a verificação de sucesso na etapa realizada;
- A renderização requer configuração de parâmetros julgados demasiadamente “técnicos”, o que dificulta o seu uso por usuários mais leigos;

- A falta de *help* de contexto, entre outros, é um fator que dificultou os usuários que gostam de “explorar” o software;
- A interface pesou de forma negativa na avaliação das funcionalidades do software e na sua facilidade de uso, pois todos os usuários acharam boas as funcionalidades do software.

Após a realização do mesmo tutorial no 3D Studio Max, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- Os usuários já estavam mais familiarizados com o software em questão, o que pode influenciar nas respostas;
- O tempo médio de execução da atividade caiu de quatro horas para uma hora e 50 minutos;
- O nível de dificuldade caiu de médio-difícil para médio-fácil. Valendo lembrar que a realização do mesmo cenário, também foi um fator facilitador;
- O padrão de interface Windows influencia a expectativa do usuário a respeito do que é interface e o que ela deve oferecer;
- A disponibilização de teclas de atalho, até mesmo configuráveis, é um importante recurso;
- O *help* de contexto é uma ferramenta importante para o usuário, conforme verificado através de observações durante a pesquisa.

5.2.2 Aplicação e Resultados da Segunda Etapa

Nesta etapa, além da mudança do formulário, houve também a mudança de postura no acompanhamento das atividades. O grupo se reuniu num laboratório para a apresentação do tema em questão. Na segunda parte, foi feita a apresentação de alguns casos clássicos de problemas de interface para que os integrantes do grupo pudessem emitir suas opiniões e conseqüentemente ampliar sua visão sobre o assunto. Este trabalho prévio teve como objetivo aumentar o senso crítico dos alunos em relação à atividade a ser realizada.

Outro ponto modificado foi a discussão do formulário antes da realização da pesquisa, ou seja, foram sanadas algumas dúvidas iniciais e o grupo passou a vislumbrar o que deveria ser observado durante a realização da atividade.

As conclusões obtidas nesta etapa da pesquisa foram bem parecidas com as conseguidas na etapa anterior e se destacam:

- A discussão dos objetivos de cada etapa da avaliação com os participantes facilitou o andamento dos trabalhos, permitindo que o grupo terminasse cada etapa com diferença de tempo que nunca ultrapassou 50% entre o mais lento e o mais rápido usuário;
- Os itens organização da interface, modelagem, visualização, animação e documentação puderam ser melhor avaliados quando colocados na forma de itens e não de forma discursiva, pois o grupo teve que opinar sobre cada um. Neste sentido, foi possível obter mais informações, mas alguns pontos como dificuldade em entender o item avaliado e falta de tempo para melhor avaliar o item prejudicaram o resultado final.

5.2.3 Resultados Gerais da Pesquisa Piloto

Inicialmente, a pesquisa seria realizada em somente uma etapa, mas ao aplicá-la verificou-se a necessidade de fazer uma segunda (complementar à primeira) para definir e entender melhor o processo de avaliação. Os Anexos II e III apresentam os resumos das duas etapas da pesquisa.

Na primeira etapa o resultado não foi o esperado, pois o compromisso com a atividade acabou sendo pouco para levar alguns participantes à conclusão do trabalho. Por isso, foi feito um acompanhamento mais rigoroso e participativo com o segundo grupo, obtendo resultados mais bem definidos e um melhor andamento do processo.

No formulário da primeira etapa, as perguntas não foram suficientes para obter conclusões maiores sobre os principais itens de interface necessários num software desta natureza, mas ajudou a perceber que este tipo de formulário enseja respostas pouco objetivas. Já no segundo formulário, se verificou que as perguntas com resposta direta tendem a gerar uma massa de dados mais fácil de ser manipulada.

A elaboração do formulário permitiu concluir que é necessário fazer atividades experimentais com o grupo antes de aplicar a avaliação em si, contribuindo assim para o

processo de preenchimento do formulário durante a pesquisa. Vários itens merecem ser melhor detalhados e devem ser estudados com maior afinco para colaborar de forma mais significativa com uma pesquisa desta natureza.

O tutorial utilizado para a aplicação da primeira etapa da pesquisa também foi pouco eficiente, pois conduziu os usuários a experiências que nem sempre eram relevantes para a pesquisa. Com uma melhor apresentação do tutorial para os participantes da segunda etapa foi possível observar um número menor de dúvidas. Esta situação salientou a necessidade de se elaborar tutoriais específicos para uma pesquisa de interface com este tipo de software.

Mesmo com todas as dificuldades encontradas, mas já esperadas, a pesquisa cumpriu seu principal objetivo, que era proporcionar uma maior familiaridade do autor com pesquisas sobre interface de aplicativos para modelagem de objetos 3D e o que pode ser abordado nelas. Algumas considerações relevantes depreendidas desse aprendizado foram:

- O uso de um tutorial a ser utilizado pelo usuário para construir um cenário 3D é positivo, mas ele deve ser elaborado para atingir os objetivos específicos da pesquisa e não se deve utilizar um tutorial já disponível na Internet, pois estes tendem a conduzir o usuário a atividades não relevantes à pesquisa em questão;
- A utilização de um questionário com perguntas fechadas e de fácil tabulação é importante para se obter dados mais precisos;
- O uso de entrevistas gravadas é uma forma importante de se obter informações qualitativas contextualizadas, pois as questões abertas em questionários podem levar a interpretações erradas e, conseqüentemente, respostas confusas.

5.3 Observação dos Usuários

Para melhor entender o processo de instanciação de objetos 3D durante a construção de um cenário, as atividades dos usuários durante a conclusão dos experimentos foram observadas e anotadas. Este procedimento tinha como objetivo tentar identificar como os usuários realizavam as tarefas associadas ao processo de instanciação. Conforme o usuário interagiu com o sistema e construía o cenário, eram anotados todos os passos realizados pelo mesmo em cada etapa do processo de instanciação. Estas anotações foram confrontadas com as anotações relativas a outros

usuários para se tentar detectar similaridades e verificar discrepâncias, caso existissem. Quando o usuário fazia algo não compreendido pelo pesquisador, este era questionado, ao final do experimento.

Na primeira etapa da pesquisa, as ações dos usuários foram anotadas sem um nome ou descrição específica, mas conforme os procedimentos dos primeiros usuários eram analisados começou a se detectar alguns padrões, que deram origem ao fluxograma descrito a seguir e que serviu de base para as outras anotações nos experimentos seguintes. Foi interessante verificar que as discrepâncias de atitude entre os usuários não eram grandes, o que caracteriza uma uniformidade nas ações, mudando basicamente o tipo de interação preferida pelo usuário para a realização da ação.

Com base na observação dos usuários e análise de tutoriais disponíveis pelos fabricantes ou elaborados pelas comunidades de usuários, se definiu um fluxo de ações que representasse o processo de instanciação. A Figura 32 apresenta uma modelagem esquemática para o fluxo de ações realizadas pelos usuários durante o processo de instanciação. É importante destacar que neste modelo estão contempladas as duas formas de instanciação, ação-seleção e seleção-ação, mas normalmente o aplicativo é implementado somente com uma das formas.

Vale ressaltar ainda que este fluxo contempla todas as atividades do usuário desde o início da instanciação até o momento que o usuário deixa, pela primeira vez, de manipular o objeto que foi instanciado para interagir com outro recurso do software.

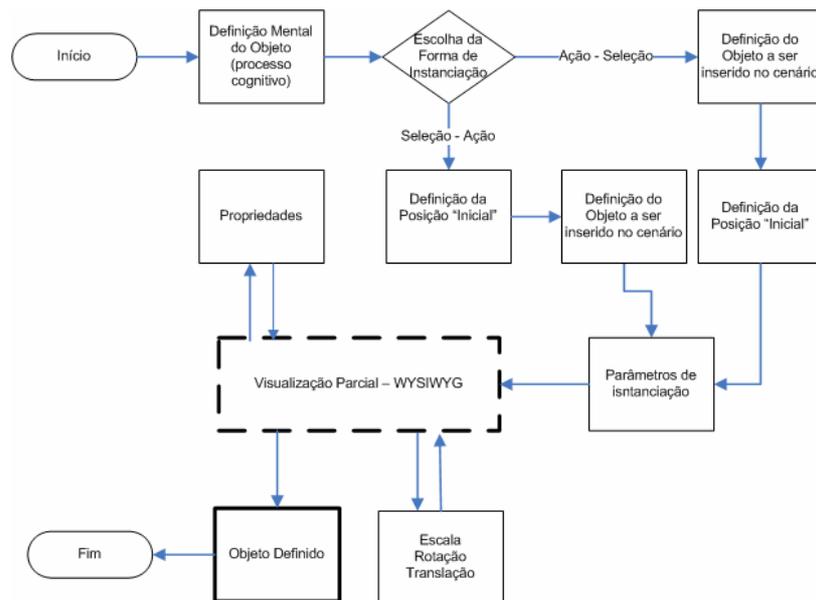


Figura 32 - Fluxo de Ações durante o Processo de Instanciação

O processo de instanciação é iniciado pela definição mental feita pelo usuário, sobre o objeto que ele pretende instanciar. Após esta definição, o usuário opta pela forma de interação que utilizará para instanciar o objeto.

Neste momento, a maioria dos aplicativos insere um objeto no cenário com propriedades pré-definidas. Somente quando a inserção é feita através de formulários, estas propriedades podem ser modificadas previamente à exibição inicial.

Após a inserção inicial do objeto, o mesmo fica selecionado e pode ter suas propriedades modificadas para mudar o seu posicionamento, forma ou escala. A partir do momento que outro elemento do cenário ou da interface é selecionado, o objeto pode ser considerado como inicialmente definido.

No capítulo a seguir são apresentadas as pesquisas realizadas e que utilizaram como base os aspectos metodológicos apresentados aqui e as experiências adquiridas com a pesquisa piloto.

Capítulo 6

Pesquisas Realizadas

Neste capítulo são apresentadas três pesquisas que buscam analisar aspectos do processo de interação durante o processo de criação de um cenário 3D:

- **Modelagem de cenários:** teve como objetivo analisar a interação, através da observação de usuários e análise de logs, no processo de construção de cenários 3D, buscando entender como cada forma de interação colabora no processo de elaboração de um cenário 3D. Esta pesquisa foi subdividida em duas etapas. A primeira é referente à modelagem de objetos isolados e a segunda é baseada na modelagem de cenários com vários objetos;
- **Cursor 3D:** analisou os impactos referentes ao uso de um cursor 3D durante o processo de instanciação e os possíveis formatos de cursores que podem ser utilizados. O princípio desta pesquisa foi o de utilizar um elemento que permita a instanciação direta de um objeto 3D, como um elemento facilitador do processo;
- **Visões:** esta pesquisa, realizada via questionário on-line sobre a utilização de visões durante o processo de instanciação, visava obter informações sobre como o usuário prefere utilizar os recursos de visões nos aplicativos para modelagem 3D.

6.1 Pesquisa sobre Modelagem de Cenários

Baseado no modelo de usabilidade estabelecido por Nielsen foi preenchida a Tabela 3, que representa os componentes avaliados na pesquisa sobre o processo de instanciação 3D. Como a pesquisa não tinha como foco a participação de usuários sem nenhuma experiência com este tipo de software, os componentes “Eficiência de uso” e “Erros” são também incluídos na pesquisa.

Tabela 3 - Modelo de Usabilidade Aplicado

| | |
|---------------------------|--|
| Objetivo: | Verificar o que leva o usuário a utilizar um tipo de interação em detrimento de outros. |
| Método de Medida: | O método de medida utilizado foi único e aplicado a todos os componentes de uma única vez. Ele consiste na apresentação do cenário a ser construído pelo usuário (através de uma lista de objetos a serem instanciados e de uma imagem do cenário já pronto). Foram apresentados, na primeira etapa, cinco cenários diferentes (este número é justificado posteriormente). |
| Componente: | Aprendizagem |
| Quantificação: | Tempo para realizar o primeiro passo da primeira etapa (instanciação do primeiro objeto no seu local, com as propriedades de cor e tamanho adequadas). |
| Técnica de Coleta: | Cronômetro (<i>log</i>), anotações do avaliador e questionário preenchido após a realização da atividade. |
| Componente: | Eficiência de uso |
| Quantificação: | Tempo para executar a construção de cada cenário. |
| Técnica de Coleta: | Cronômetro (<i>log</i>), anotações do avaliador e questionário preenchido após a realização da atividade. |
| Componente: | Memorização |
| Quantificação: | Número de vezes que o usuário executou os passos subsequentes ao primeiro de cada etapa, interagindo com a interface sem indecisão na escolha de uma forma de interação ou quando sua localização na interface. |
| Técnica de Coleta: | Anotações (registro) e questionário preenchido após a realização da atividade. |
| Componente: | Erros |
| Quantificação: | Quantos e quais erros o usuário cometeu na execução de cada tarefa para a construção do cenário. |
| Técnica de Coleta: | Anotações (<i>log</i>) e questionário preenchido após a realização da atividade. |
| Componente: | Satisfação |
| Quantificação: | Qual a satisfação do usuário em utilizar cada tipo de interação. |
| Técnica de Coleta: | Anotações do avaliador e questionário preenchido após a realização da atividade. |

A pesquisa foi realizada em duas etapas (BARRÉRE, 2007b). A primeira etapa consistiu da construção de cinco cenários, cada um com um tipo de interação distinta: menu, manipulação direta, botões, comandos e, por último, com todos os tipos de interações disponíveis de forma simultânea (interação livre). A segunda etapa teve como objetivo analisar, qualitativamente, a construção de dois cenários mais complexos (cenários seis e sete) somente com interação livre, focando a construção do cenário em si, as dificuldades e facilidades geradas pelas diversas formas de interação durante este processo.

Na coleta de dados da primeira etapa foi definido que tipo de anotação deveria ou poderia ser feita em relação a cada componente do modelo: aprendizagem, eficiência de uso, memorização, erros e satisfação. Já na segunda etapa, as anotações serviram

como assunto para as entrevistas, onde foram obtidas as informações qualitativas através de perguntas de cunho comparativo entre as formas de interação.

Para a aplicação da pesquisa, alguns aspectos importantes foram definidos inicialmente para obtenção de resultados capazes de validar a pesquisa. São eles:

- **Ambiente de aplicação:** sala isolada (sem pessoas estranhas ou barulho) com computador, cadeira para o usuário e para o avaliador. Foi utilizado um laboratório de informática em horários sem movimento de alunos;
- **Grupo de usuários:** a pesquisa contou com dez voluntários de diversas áreas de formação, sendo que todos usuários, uso profissional ou pessoal, de alguma ferramenta gráfica com capacidade para instanciação de objetos 2D ou 3D. Este pré-requisito visou evitar que dificuldades com os periféricos e com funcionalidades básicas de um software desta natureza prejudicassem a análise pretendida;
- **Horário de aplicação:** foi agendado um horário de aplicação com cada usuário. Este foi um ponto importante, pois como o usuário construiu sete cenários, foram reservados entre 90 e 120 minutos para a aplicação da pesquisa.

Na realização do recrutamento dos voluntários foi feita uma apresentação sobre o trabalho em desenvolvimento e qual o objetivo da pesquisa. Para a aplicação da mesma foi seguido um roteiro proposto por Nielsen (2005):

- **Apresentação:** apresentar ao usuário os procedimentos da pesquisa e funcionamento do software (funcionalidades);
- **Treinamento do usuário:** criação de um cenário exemplo (contando com todas as formas de interação) com a condução do avaliador;
- **Execução das etapas:** apresentação do cenário, realização das etapas de construção do cenário;
- **Questionário:** aplicado após a execução de cada etapa da pesquisa;
- **Debriefing:** após o término da aplicação da pesquisa foi realizada uma conversa informal com o usuário a fim de se obter comentários gerais e de esclarecer possíveis dúvidas sobre seu desempenho durante a mesma.

A seguir são descritas as duas etapas da pesquisa de modelagem de cenários.

6.1.1 Modelagem de Cenários – Primeira Etapa

A primeira etapa desta pesquisa se destinou à montagem de cenários compostos de um único objeto (no sentido coloquial da palavra), estabelecendo assim um foco claro para a modelagem. Uma vez que cada cenário possui um elemento nitidamente central, este pode permitir ao usuário ter um ponto de referência para instanciar os demais elementos no cenário. Cada fase desta etapa teve como atividade a construção de um cenário pré-estabelecido e elaborado para tal finalidade.

A escolha dos cenários a serem modelados em cada fase visou à obtenção de tarefas aproximadamente equivalentes. Para tanto, foram empregadas as seguintes regras:

- Cada cenário era composto por quantidades aproximadas de objetos¹, no máximo dois a mais ou a menos do que a média da quantidade de objetos num cenário;
- Todos os objetos do cenário deveriam ter sua cor alterada;
- Todos os objetos do cenário deveriam sofrer transformação de escala e translação;
- As complexidades no posicionamento dos objetos eram aproximadamente iguais.

Como a complexidade nos cenários era semelhante, foi possível distribuí-los com as formas de interação sem a necessidade de um critério para atribuição de um cenário para uma determinada forma de interação.

Neste ponto é importante lembrar que a FMI3D permite que seus elementos de interface sejam habilitados ou desabilitados, permitindo que para cada fase fosse habilitado somente o tipo de interação permitido.

A única consideração na relação entre o tipo de interação e a ordem das atividades foi deixar a interação livre por último, permitindo assim ao usuário a escolha dos estilos que julgasse mais adequado apenas após ter sido exposto a todas as possibilidades.

Pode-se argumentar que um arranjo ideal seria ter um grupo de usuários grande o suficiente para que todos os cinco cenários pudessem ser elaborados com todas as quatro formas de interação em todas combinações possíveis, mas isto inviabilizaria a pesquisa dentro do tempo e recursos disponíveis. O principal desvio gerado pela adoção

¹ A partir deste ponto a palavra objeto volta a ser utilizada para conotar um elemento gráfico.

deste critério foi a indução da manipulação direta como sendo a forma de interação mais “adequada”, dado o fato dela ter sido a última a ser utilizada antes da interação livre.

Com base nessas considerações, foram elaborados os cenários ilustrados na Figura 33. O primeiro cenário é composto por oito objetos, consistindo de três bolas colocadas sobre uma mesa, vide Figura 33-a. Foi utilizado na aplicação da primeira fase e modelado usando somente interação através de menus. As principais complexidades residem na disposição espacial dos objetos e nas mudanças de escala requeridas.

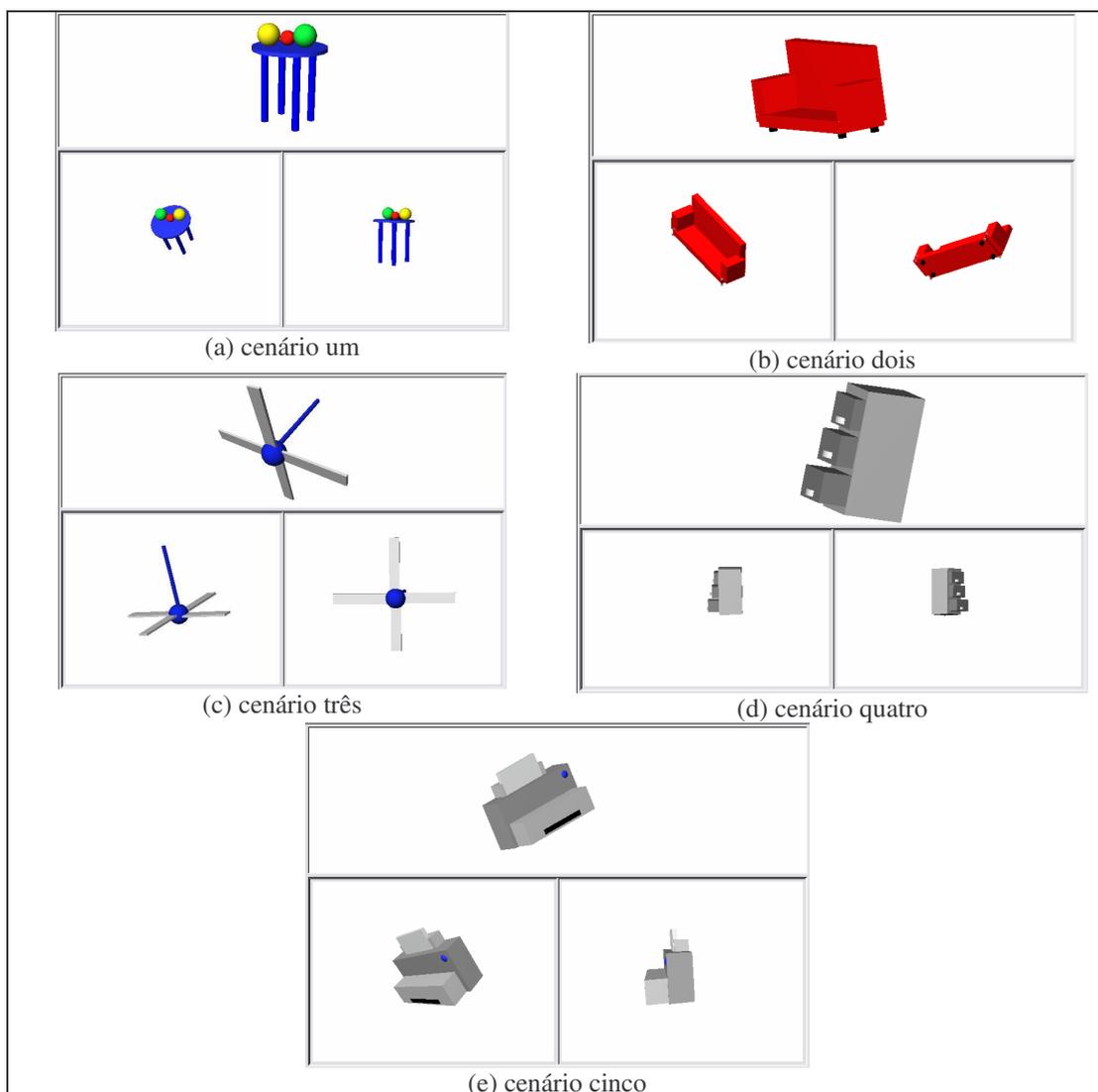


Figura 33 – Cenários modelados

O segundo cenário é composto por oito objetos, consistindo de um sofá (Figura 33-b). Ele foi usado na aplicação da segunda fase e modelado utilizando somente a interação através de botões. Observa-se que o aspecto de maior complexidade na modelagem deste cenário reside no posicionamento espacial dos “pés” do sofá, pois além da conexão com a base, eles deviam estar equidistantes. Para este cenário, foram

disponibilizados, na interface do software, todos os botões existentes, forçando o usuário a localizar a funcionalidade dentre uma gama de opções, como ocorre nos aplicativos comerciais.

O terceiro cenário é composto por seis objetos, consistindo de um ventilador (Figura 33-c). Ele foi utilizado na aplicação da terceira fase e modelado somente com a interação através de comandos. Neste cenário a esfera central propicia uma organização inicial e serve de apoio para a disposição dos demais objetos. Esta situação é vantajosa quando todos os passos são realizados via linha de comando, pois gera um ponto de referência para a elaboração do cenário.

O quarto cenário é composto por sete objetos, consistindo de um “arquivo” (Figura 33-d). Ele foi utilizado na aplicação da quarta fase e modelado através de manipulação direta. A maior complexidade estava no posicionamento espacial das gavetas dentro do armário, mas proporcionalmente fora do mesmo, e dos puxadores.

O quinto cenário é composto por seis objetos, consistindo de uma impressora (Figura 33-e). Ele foi utilizado na aplicação da quinta fase e modelado por meio da interação livre. Dentre todos os cenários utilizados é o que necessita de maior atenção no posicionamento dos objetos na cena. O objetivo principal deste cenário é aferir as preferências do usuário quanto à forma de interação empregada para cada operação.

6.1.2 Modelagem de Cenários – Segunda Etapa

A segunda etapa teve como foco central o desenvolvimento de cenários com maior grau de complexidade na relação espacial entre grupos de objetos. O objetivo era analisar como o usuário se comportava para manipular grupos de objetos e se as ações realizadas durante a elaboração de cenários simples se modificavam nesses casos.

Enquanto na primeira etapa da pesquisa se obteve resultados quantitativos e qualitativos, na segunda, somente dados qualitativos foram obtidos. Isto porque os cenários desta etapa tinham maior complexidade e maior número de objetos. Portanto, por serem cenários elaborados para finalidades distintas, optou-se por não realizar uma comparação entre os dados quantitativos adquiridos em cada etapa.

A metodologia utilizada nesta etapa foi a mesma aplicada na primeira. Isso se deveu a dois motivos: o primeiro é que a metodologia se mostrou eficiente quando aplicada à primeira etapa e, segundo porque, para obter resultados passíveis de

comparação com os obtidos anteriormente, foi importante manter os mesmos parâmetros e condições de obtenção dos dados.

Durante esta etapa, foram modelados dois cenários. O primeiro ilustra um castelo medieval (Figura 34). Ele foi utilizado na aplicação da primeira fase e modelado através de interação livre. Este cenário apresenta dificuldades de modelagem semelhantes às do cenário cinco, aliadas àquelas relacionadas com as operações sobre grupos, tais como copiar, colar e transladar grupos. Com efeito, foram observados usuários fazendo uso de seqüências de interações significativamente distintas visando o mesmo resultado.

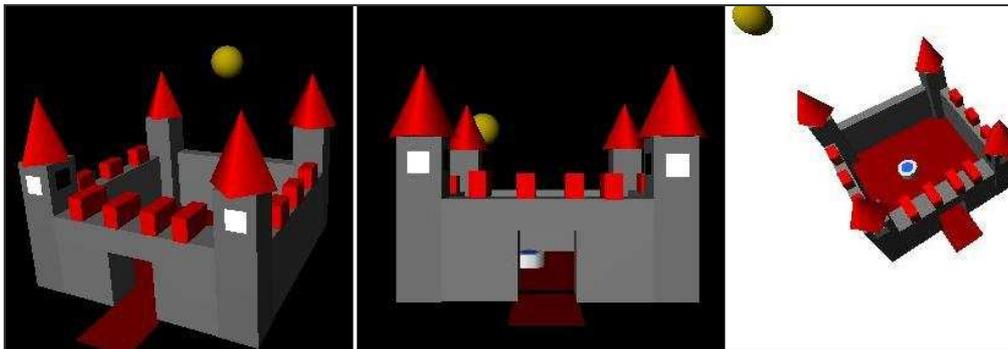


Figura 34 - Cenário Seis: Castelo

O segundo cenário ilustra uma sala (Figura 35). Ele foi utilizado na aplicação da segunda fase e modelado por meio de interação livre. Este, apesar de aguçar vários modelos utilizados na primeira etapa da pesquisa, é o cenário mais complexo do experimento, pois além de posicionamento dos objetos em relação a um objeto principal, cada objeto modelado (lustre, sofá, etc.) tem que estar corretamente posicionado em relação aos outros, assim como ocorre em cenários “reais”.

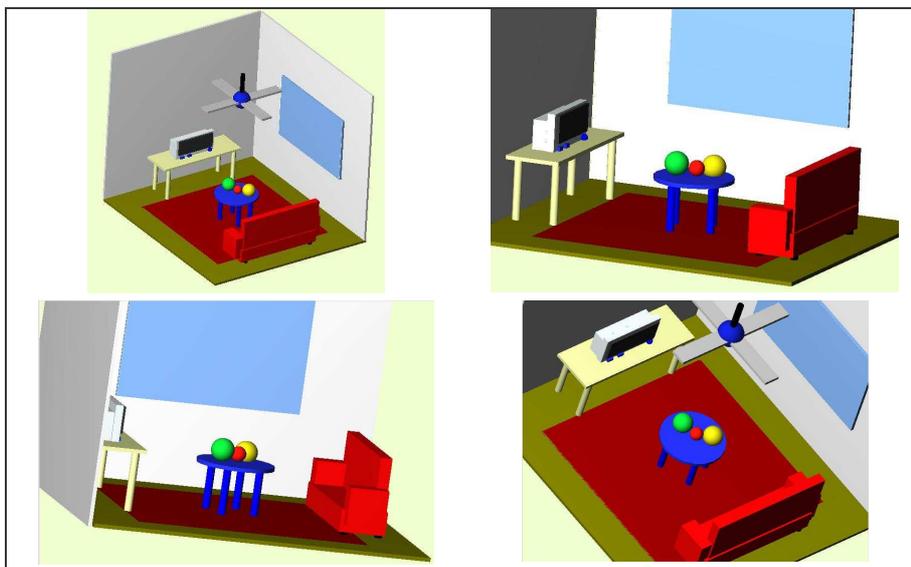


Figura 35 - Cenário Sete: Sala

6.1.3 Usuários

Participaram desta pesquisa dez usuários. A Figura 36 apresenta quatro gráficos que caracterizam o perfil do usuário que participou desta pesquisa.

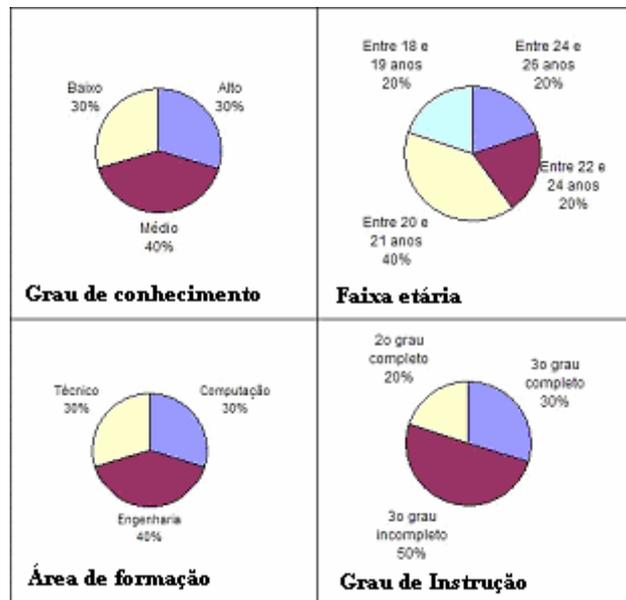


Figura 36 - Perfil do Usuário que participou da Pesquisa

Pode-se observar, por exemplo, que todos os voluntários são da área de exatas, sendo que metade tinha curso superior incompleto. Através de um questionário, aplicado antes do início da pesquisa, foi definida a relevância de cada usuário. Os atributos que compõem o RR do usuário participante desta pesquisa são:

- **Área de formação:** mínimo zero (minA), caso o participante não pertencesse a nenhuma das áreas a seguir. Um para nível técnico, dois para engenheiro e três (MaxA) caso o usuário fosse da área de computação;
- **Nível de conhecimento:** mínimo zero (minA), caso o participante não tivesse nenhum conhecimento da área de modelagem 3D. Um, caso ele tenha informado (via formulário inicial) que o seu conhecimento era baixo. Dois, caso informasse nível de conhecimento médio e três (maxA), caso informasse que o seu nível de conhecimento em aplicações desta natureza era grande;
- **Tempo de experiência:** mínimo zero (minA), caso o participante não tivesse experiência nenhuma neste tipo de software. Um, caso tivesse até um ano de experiência. Dois, caso tivesse até dois anos. Três, caso tivesse até três anos de experiência. Para os que tivessem mais do que três anos de experiência, o grau atribuído seria quatro (maxA).

Os pesos atribuídos para cada atributo foram definidos, de forma empírica, de acordo com a importância dele para a pesquisa conforme percebido pelo autor. Desta forma, os pesos foram assim distribuídos: 0,3 para os atributos formação e conhecimento e 0,4 para o atributo tempo de experiência. A Tabela 4 apresenta os valores calculados para os dez participantes.

Tabela 4 - Cálculos para definição do RR dos participantes

| | Formação | Conhecimento | Tempo | RR |
|-------------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------|
| Usuário 1 | 3,3 | 6,7 | 2,5 | 4,0 |
| Usuário 2 | 3,3 | 6,7 | 5,0 | 5,0 |
| Usuário 3 | 10,0 | 6,7 | 7,5 | 8,0 |
| Usuário 4 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| Usuário 5 | 10,0 | 6,7 | 5,0 | 7,0 |
| Usuário 6 | 10,0 | 3,3 | 2,5 | 5,0 |
| Usuário 7 | 6,7 | 10,0 | 10,0 | 9,0 |
| Usuário 8 | 6,7 | 6,7 | 5,0 | 6,0 |
| Usuário 9 | 6,7 | 3,3 | 2,5 | 4,0 |
| Usuário 10 | 6,7 | 3,3 | 2,5 | 4,0 |

Em média, cada usuário demorou 40 minutos para realizar suas atividades na primeira etapa e 90 minutos na segunda. De forma geral, todos compreenderam os objetivos da pesquisa e aprenderam algo com as dificuldades encontradas durante as atividades.

6.1.4 Aprendizagem

Em relação ao processo de aprendizagem, três aspectos foram claramente detectados durante a realização da pesquisa:

- **Localização da Funcionalidade:** era esperado que fosse encontrada dificuldade para relacionar o local e forma de acionamento. Ela ocorreu em maior quantidade nos cenários dois (botões) e quatro (manipulação direta). Na interação através de botões, a grande quantidade de ícones presentes na interface tende a confundir o usuário. Na interação através de manipulação direta, esta dificuldade está ligada ao fato de que a funcionalidade pode ser acessada através de uma das combinações do mouse ou do menu associado ao botão direito do mouse;
- **Terminologia utilizada na interface:** Algumas funcionalidades são apresentadas na interface sob rótulos "técnicos", prejudicando o processo de aprendizado por parte de usuários com menor grau de familiaridade com esses termos. O uso de funcionalidades técnicas acaba levando ao uso de nomes técnicos para o acionamento

das funcionalidades técnicas, o que dificulta o aprendizado por usuário “menos especializados” em qualquer tipo de software. Esta situação ocorreu principalmente nos cenários um (menu) e três (linguagem de comandos). No primeiro, se justifica principalmente por ter sido o primeiro cenário apresentado ao usuário. Já no terceiro, a terminologia técnica está associada também aos comandos que devem ser utilizados para ativar cada funcionalidade. Apesar dos usuários já terem tido contato anterior com aplicativos desta natureza, verificou-se que grande parte deles faz uso das funcionalidades mais complexas associando o ícone com a funcionalidade ou decorando como fazer para ativá-las, sem associar o que está sendo feito com o termo técnico;

- **Visualização do resultado:** Esta dificuldade esteve presente no cenário três em que a área de visualização da cena, por vezes assumia um papel secundário na interação frente ao painel para digitação de comandos.

Vale ressaltar que nos cenários cinco, seis e sete (interação livre) o processo de aprendizagem não foi avaliado. De forma geral, podemos destacar o problema da terminologia utilizada e da localização das funcionalidades como problemas comuns ao processo de aprendizagem.

6.1.5 Memorização

O processo de memorização foi avaliado através dos logs (quantidade de erros), anotações e entrevistas com os usuários. Foi observado que, em geral, uma ou duas interações incorretas são suficientes para que o usuário memorize os elementos corretos de interface associados a uma dada operação. Para cada tipo de cenário, um ponto de maior dificuldade se destacou no processo de memorização:

- **Cenário Um:** quase todos os usuários, oito em dez, tiveram dificuldade para associar o menu e/ou submenu em que se encontra cada funcionalidade. Esta dificuldade foi sanada a partir do momento no qual o usuário assimila a estrutura de organização dos menus;
- **Cenário Dois:** dificuldade em memorizar o posicionamento dos botões. A grande “poluição” de ícones dificultou a localização visual rápida da funcionalidade mas, como nos demais cenários, assim que o usuário compreendeu o posicionamento dos

elementos de interação, ele passou a acessar com maior rapidez e precisão as funcionalidades;

- **Cenário Três:** o maior problema apresentado foi a assimilação da sintaxe. O uso de comandos padronizados e com estruturação de parâmetros semelhantes facilitou bastante o processo de memorização e apresentou bons resultados na execução de novos comandos, através da lógica apresentada em comandos utilizados anteriormente. Cinco usuários conseguiram instanciar novos objetos ou propriedades através da proximidade da sintaxe do comando com a sintaxe que eles imaginavam;
- **Cenário Quatro:** como as funcionalidades estão associadas à ação do mouse (botão direito, dois botões, clicar e arrastar, etc.) a dificuldade de memorização foi grande, pois os usuários buscavam as mesmas funcionalidades dos aplicativos mais utilizados por eles e nem sempre estes usam as mesmas convenções empregadas na FMI3D. A abstração da interação foi um fator determinante na dificuldade de memorização, mas com poucas repetições o usuário se adaptou ao uso da interação;
- **Cenários Cinco, Seis e Sete:** apresentaram dificuldades insignificantes de memorização, pois o usuário estava utilizando as técnicas já vistas anteriormente. Contudo, os obstáculos inicialmente associados pelo pesquisador à questão da memorização, estavam ligados à indecisão do usuário em escolher a “melhor” forma de interação. Este fator não foi facilmente percebido, pois a princípio teve-se a impressão de que o usuário não tinha memorizado apropriadamente a interface, mas na maioria dos casos as entrevistas revelaram que a indecisão ocorreu na escolha de qual forma ele julgava mais eficiente e não por esquecimento de como ativar a funcionalidade.

6.1.6 Eficiência de Uso

Em relação à eficiência de uso do software, o aspecto da dificuldade de manipulação dos objetos ocorreu principalmente nos cenários um e dois, devido à dificuldade natural do usuário em se adaptar ao software.

A dificuldade de posicionamento dos objetos na cena ocorreu principalmente no cenário três, já que o uso de uma linguagem de comandos requer grande capacidade de abstração espacial. O posicionamento dos objetos e a manipulação das propriedades de transformação impedem bastante a eficiência de uso desta forma de interação. Esta

dificuldade apareceu também nos cenários um e dois, mas foi bem assimilada devido ao foco do usuário estar na área de visualização, o que não ocorreu no cenário quatro.

Já no cenário quatro, o grande inibidor da eficiência foi a falta de precisão em algumas operações, ora por inabilidade do usuário em manipular o mouse, ora por problemas de precisão do próprio software na relação entre ação do periférico e reação do sistema.

A maior eficiência ocorreu, como já era previsto, no cenário cinco, onde o usuário podia utilizar a forma de interação que achava mais adequada a cada tipo de funcionalidade. De forma geral, os usuários preferiram a interação através de menu ou botão para a instanciação dos objetos e manipulação direta para seleção e posicionamento dos objetos na cena. Nenhum dos usuários utilizou a linguagem de comandos durante a execução desta etapa, o que já era previsível e foi confirmado pelos mesmos, pois este tipo de interação tende a ser empregado predominantemente por usuários mais experientes e com formação básica de programação mais aguçada.

Assim como o cenário cinco, o cenário seis visa avaliar a facilidade do usuário em utilizar uma forma de interação ou outra. O posicionamento dos grupos de objetos (torres) foi o ponto a ser observado na construção deste cenário. Naquele momento, os usuários demonstraram necessidade de agrupar objetos e realizar as operações de posicionamento e cópia tendo com referência o grupo e não o objeto isolado. Ao serem questionados a respeito desta postura, mesmo os menos experientes alegaram que o uso desta técnica já é usual em diversos tipos de aplicativos, e portanto fazem essa atividade sem se preocupar com a natureza do software, pois consideram que ela esteja presente em todos os aplicativos de edição.

No cenário sete o aspecto de maior dificuldade esteve associado ao posicionamento dos objetos compostos (lustre, sofá, etc.) em relação aos demais, o que ficou facilitado com o recurso de agrupamento, oferecido pela FMI3D. Durante a realização desta etapa, se comprovou que o processo de aprendizagem e escolha do tipo de interação ocorrido ao longo das etapas anteriores possibilitou um maior desempenho e menor quantidade de erros em relação aos cenários cinco e seis.

Um ponto importante na eficiência de uso do software durante a elaboração de todos os cenários diz respeito às funcionalidades de manipulação da câmera (vistas dos cenários, *zoom* e manipulação livre da câmera). O *zoom* foi utilizado sempre que o

usuário necessitou ampliar o cenário para ver maiores detalhes ou reduzi-lo para ter maior noção da cena como um todo. Já a manipulação livre da câmera serviu para visualizar a cena ou algum objeto de outro ângulo. O *zoom* é facilmente acionado por menu, botão ou manipulação direta, mas gera um grau de dificuldade maior na interação por linguagem de comandos. O principal problema é a funcionalidade de manipulação livre da câmera, que somente proporcionou bons resultados na manipulação direta da câmera no cenário, sendo que nos outros casos sempre se perdeu algum tempo tentando colocar a câmera na posição desejada.

6.1.7 Análise de *Logs*

Através da análise dos *logs*, foram coletados os seguintes indicadores: tempo para realizar a primeira instância de objeto no cenário, tempo total para elaboração do cenário e quantidade de erros cometidos pelo usuário durante o processo de criação. É importante ressaltar que a falta de precisão no posicionamento de um objeto não é considerada um erro, mas sim algo inerente ao processo.

Nas tabelas a seguir são apresentadas a Média Direta, a Média RR (utilizando o *Ranking* de Recomendação), a Média sem Extremos (despreza o maior e menor valor), a Diferença 1 (Média Direta menos a Média RR) e a Diferença 2 (Média sem Extremos menos a Média RR). Estes elementos permitem diminuir a distorção dos dados obtidos (extremos) e realizar uma comparação com a técnica de *Ranking* de Relevância.

A Tabela 5 apresenta o tempo despendido por cada usuário levou para instanciar o primeiro objeto no cenário. Esta situação é de interesse pois revela a dificuldade na realização de uma tarefa elementar com uma dada forma de interação, tornando possível verificar a aprendizagem durante o processo de instanciação.

Pode-se verificar que manipulação direta e interação livre estão associadas aos menores tempos para instanciar o primeiro objeto. Em contrapartida, a instanciação via comandos levou o maior tempo. A instanciação através de menu ou botões apresentaram valores semelhantes, ficando na faixa intermediária. Pode-se também observar que o efeito da aplicação do RR neste indicador produz um desvio relativamente modesto (em torno de 5%) conforme apontado pelas linhas Diferença 1 e Diferença 2.

Tabela 5 - Tempo gasto com a instanciação do primeiro objeto do cenário

| | Cenário 1 (s) menu | Cenário 2 (s) botão | Cenário 3 (s) l. comandos. | Cenário 4 (s) m. direta | Cenário 5 (s) livre |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Usuário 1 | 95 | 92 | 129 | 80 | 78 |
| Usuário 2 | 78 | 77 | 119 | 75 | 74 |
| Usuário 3 | 74 | 74 | 111 | 62 | 60 |
| Usuário 4 | 62 | 59 | 83 | 50 | 50 |
| Usuário 5 | 75 | 74 | 102 | 73 | 72 |
| Usuário 6 | 92 | 93 | 118 | 84 | 82 |
| Usuário 7 | 64 | 62 | 94 | 51 | 52 |
| Usuário 8 | 77 | 78 | 112 | 71 | 69 |
| Usuário 9 | 96 | 98 | 140 | 82 | 81 |
| Usuário 10 | 93 | 95 | 143 | 79 | 79 |
| Média Direta | 80,6 | 80,2 | 115,1 | 70,7 | 69,7 |
| Média RR | 76,8 | 76,1 | 109,4 | 67 | 66,1 |
| Média sem Extremos | 81,0 | 80,6 | 115,6 | 71,6 | 70,6 |
| Diferença 1 | 3,8 | 4,1 | 5,7 | 3,7 | 3,6 |
| Diferença 2 | 4,2 | 4,5 | 6,2 | 4,6 | 4,5 |

Os tempos médios para as demais instanciações necessárias para completar a construção de cada cenário foram aproximadamente 15% abaixo dos tempos para a primeira instanciação, com pequenas diferenças que foram justificadas pelos usuários como dificuldade em dimensionar e posicionar determinados objetos no cenário, como por exemplo, “Às vezes a gente pensa que o objeto deve ter um formato, mas depois de visualizar melhor o cenário a gente percebe que o tamanho ou o local é outro”.

A Tabela 6 apresenta os valores correspondentes ao tempo total levado para a construção dos cenários.

Tabela 6 - Tempo total para montar o cenário

| | Cenário 1 (s) menu | Cenário 2 (s) botão | Cenário 3 (s) l. comandos. | Cenário 4 (s) m. direta | Cenário 5 (s) livre |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Usuário 1 | 760 | 736 | 774 | 550 | 468 |
| Usuário 2 | 624 | 616 | 714 | 510 | 444 |
| Usuário 3 | 592 | 592 | 666 | 423 | 360 |
| Usuário 4 | 496 | 472 | 498 | 310 | 300 |
| Usuário 5 | 600 | 592 | 612 | 509 | 432 |
| Usuário 6 | 736 | 744 | 708 | 554 | 492 |
| Usuário 7 | 512 | 496 | 564 | 340 | 312 |
| Usuário 8 | 616 | 624 | 672 | 465 | 414 |
| Usuário 9 | 768 | 784 | 840 | 539 | 486 |
| Usuário 10 | 744 | 760 | 858 | 512 | 474 |
| Média Direta | 644,8 | 641,6 | 690,6 | 471,2 | 418,2 |
| Média RR | 614,3 | 608,5 | 656,4 | 445,5 | 396,6 |
| Média sem Extremos | 649,0 | 645,0 | 693,8 | 481,0 | 424,5 |
| Diferença 1 | 30,5 | 33,1 | 34,2 | 25,7 | 21,6 |
| Diferença 2 | 34,7 | 36,5 | 37,3 | 35,5 | 27,9 |

Os valores foram obtidos através da marcação do tempo inicial e do tempo final de manipulação da FMI3D. Assim como na tabela anterior, as diferenças entre as médias diretas e a calculada através do RR ficaram em torno de 5% para todos os cenários.

Seguindo a tendência apresentada durante a instanciação do primeiro objeto de cada cenário, os cenários quatro e cinco foram construídos mais rapidamente do que os demais. O cenário três foi o que levou mais tempo. Estes valores ajudam a justificar os aspectos observados através das métricas de usabilidade.

É útil registrar que todos os usuários conseguiram construir os cenários propostos, com pequenas diferenças na cor ou tamanho dos objetos, diferenças essas que não podem ser classificadas como erro, já que a precisão na construção do cenário não foi exigida, mas sim analisar o processo de interação.

Durante as entrevistas os usuários também atribuíram maior eficiência à interação através da manipulação direta, enfatizando a relação entre o que é feito, onde é feito e o seu retorno visual imediato. Num depoimento, por exemplo, um voluntário relata: “É mais fácil criar os objetos no próprio cenário e modificá-los também! Mas nem tudo está disponível através da manipulação direta, o que força a gente usar os botões ou os menus”.

A Tabela 7 apresenta a quantidade de erros cometidos pelos usuários durante a construção de cada cenário. Estes erros referem-se à escolha equivocada do método de interação (opção do menu, botão, comando ou seleção de objeto errado), ou seja, somente erros de interação foram computados.

Este atributo foi o que apresentou a maior diferença entre a média aritmética e a média ajustada considerando o RR. A diferença variou de 52% (cenário dois) a 86% (cenário cinco), demonstrando que o *Ranking* de Relevância corrigiu variações geradas pela falta de experiência de alguns usuários com ferramentas de modelagem 3D.

Em termos de valores, eles seguiram a tendência e cometeram muitos erros no cenário três (quase o dobro dos demais cenários) e poucos erros no cinco. A maioria dos erros ocorridos durante a construção do cenário três refere-se à dificuldade com a sintaxe dos comandos, como apontado pela análise das métricas de usabilidade.

Tabela 7 - Quantidade de erros cometidos pelo usuário

| | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 | Cenário 5 | Total de Erros | Média por Cenário | Média RR por Cenário |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|----------------------|
| Usuário 1 | 6 | 6 | 14 | 7 | 5 | 38 | 7,6 | 3 |
| Usuário 2 | 5 | 4 | 7 | 3 | 3 | 22 | 4,4 | 2,2 |
| Usuário 3 | 4 | 4 | 8 | 3 | 2 | 21 | 4,2 | 3,4 |
| Usuário 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 12 | 2,4 | 2,4 |
| Usuário 5 | 5 | 5 | 6 | 4 | 5 | 25 | 5 | 3,5 |
| Usuário 6 | 8 | 7 | 13 | 8 | 4 | 40 | 8 | 4 |
| Usuário 7 | 4 | 3 | 5 | 2 | 1 | 15 | 3 | 2,7 |
| Usuário 8 | 5 | 5 | 7 | 5 | 4 | 26 | 5,2 | 3,1 |
| Usuário 9 | 6 | 5 | 20 | 8 | 6 | 45 | 9 | 3,6 |
| Usuário 10 | 5 | 4 | 18 | 9 | 5 | 41 | 8,2 | 3,3 |
| Média Direta | 5,1 | 4,5 | 10,2 | 5,1 | 3,6 | 28,5 | 5,7 | ---- |
| Média RR | 4,8 | 4,2 | 8,7 | 4,4 | 3,1 | ---- | ---- | 3,1 |
| Média sem Extremos | 5,0 | 4,5 | 9,8 | 5,0 | 3,6 | ---- | ---- | ---- |
| Diferença 1 | 0,3 | 0,3 | 1,5 | 0,7 | 0,5 | ---- | ---- | ---- |
| Diferença 2 | 0,2 | 0,3 | 1,1 | 0,6 | 0,5 | ---- | ---- | ---- |

O cenário com menor quantidade de erros cometidos foi o cinco, seguido do quatro. Isto pode ser atribuído à liberdade para uso de qualquer tipo de interação, o que proporcionou ao usuário unir a manipulação direta, com outro tipo de interação (normalmente a instanciação por botão) de acordo com a sua necessidade e adaptabilidade. Esta percepção foi ratificada por usuários em entrevistas.

No lado oposto ficou o cenário três, no qual todos os usuários apresentaram uma maior dificuldade, o que confirma a sua baixa aceitabilidade nos dias atuais por usuários menos experientes. De forma geral, os cenários um e dois ficaram na média, entre os extremos, e o quatro bem abaixo da média, próximo ao cinco.

6.1.8 Avaliação sumária dos estilos de interação

A Tabela 8 apresenta algumas impressões resumidas coletadas em cada etapa da pesquisa. Estas informações são fruto de uma avaliação qualitativa dos dados obtidos durante as fases de observação e entrevistas. Após a construção de cada cenário foi solicitado ao grupo de usuários, durante a entrevista, que destacassem os pontos positivos e negativos do tipo de interação.

Além de ratificar algumas conclusões já obtidas em outros trabalhos foi possível identificar a importância da interação livre (cenário cinco), ou seja, o fato do software fornecer várias formas de se realizar a mesma operação. Neste cenário e nos

subseqüentes, os usuários realizaram aproximadamente 80% das atividades através de manipulação direta e as demais através de menus ou botões.

Tabela 8 – Destaques da Interação

| Forma de Interação | Pontos “Positivos” | Pontos “Negativos” |
|------------------------------|--|---|
| Menu | Organização das funcionalidades | Mudança de foco |
| Botão | Representação gráfica Organização através de grupos | Poluição da interface Ocupação da área do software |
| Linguagem de Comando | Bem aceita por usuários “experientes” | Sintaxe dos comandos Terminologia técnica |
| Manipulação Direta | Manutenção do foco na área de visualização | Manipulação de objetos sobrepostos Falta de precisão na manipulação do mouse |
| Livre (cenário cinco) | Liberdade de escolha da forma de interação | Indecisão da forma de interação mais adequada |
| Livre (cenário seis) | Processo de aprendizagem | Dificuldade em agrupar os elementos |
| Livre (cenário sete) | Processo de aprendizagem | Insistência num tipo de interação |

Os botões, com aproximadamente 15% das interações, foram utilizados basicamente para a mudança de visão ou para escolher um novo objeto a ser instanciado e o menu foi utilizado sempre que o usuário queria ativar uma funcionalidade e não lembrava como esta era ativada por manipulação direta ou tinha dúvida sobre seu nome e/ou aplicação.

Nesta pesquisa e durante a construção dos três últimos cenários, os usuários optaram por não fazer uso da linguagem de comandos. Indagados sobre esse fato, eles na maioria das vezes alegaram que não se sentiam muito à vontade com esse recurso. Por exemplo, a seguinte frase foi proferida por um dos voluntários: “é difícil decorar e usar os comandos com tão pouco tempo de uso do software”.

6.1.9 Problemas

De forma geral, os principais problemas encontrados pelos usuários e verificados durante a fase de observação e entrevista foram o posicionamento dos objetos na cena, a manipulação da câmera e a aplicação das transformações nos objetos. No cenário três os problemas com a sintaxe dos comandos já eram esperados, pois poucos usuários nos dias atuais estão acostumados com interfaces textuais.

A manipulação direta apresentou uma quantidade pequena de problemas de posicionamento, mas não garantiu a diminuição dos problemas referentes à aplicação das transformações de rotação. Esta habilidade aparentemente requer experiência com o software e não está diretamente associada ao tipo de interação utilizado. A falta de precisão nas funcionalidades de manipulação dos objetos pode eventualmente ser

resolvida com o auxílio de outro tipo de interação para realizar o ajuste fino do posicionamento ou transformação.

6.1.10 Satisfação

A satisfação do usuário foi medida através das entrevistas, onde o usuário expunha sua satisfação em realizar aquela(s) atividade(s). No cenário um se destacou a satisfação do usuário com a organização dos menus e a facilidade de encontrar as funcionalidades, a partir do momento em que ele entendeu esta organização e se familiarizou com a terminologia utilizada no software.

Na interação através de botões, a relação visual, através de ícones, permitiu uma maior facilidade no processo de busca de funcionalidades “desconhecidas”, propiciando assim uma sensação de domínio do usuário sobre a interface. O congestionamento da interface com muitos botões, entretanto, provocou insatisfação em quatro usuários.

Já o processo de interação através de linguagem de comando apresentou um alto grau de insatisfação dos usuários com as falhas de execuções dos comandos, principalmente por problemas de sintaxe, o que desvia a atenção dos usuários menos especializados neste tipo de interação. Este fato foi observado quando os usuários eram forçados a desviar a atenção para a folha com os comandos e respectivas descrições.

A interação que ensejou um maior grau de satisfação foi a manipulação direta, pois propiciou uma maior concentração dos usuários no cenário e uma melhor relação entre ação e resultado. O processo de aprendizagem teve eficiência variável conforme o tipo de usuário. Independente da velocidade do aprendizado, os usuários se sentiam satisfeitos por estarem dominando o processo de construção do cenário.

6.2 Pesquisa sobre Cursores 3D

A introdução do uso de cursores 3D para instanciar primitivas geométricas em cenários é um fator que propiciou a eliminação do "modo instanciação" de interação. Em outras palavras, o cursor, como elemento permanente da interface fornece a posição inicial para a primitiva, parâmetro fundamental da instanciação. A operação pode então ser realizada por um simples clique num botão ou item de menu. Por outro lado, a visualização de um elemento estranho no espaço do cenário pode ter efeito deletério durante as demais interações. Visando avaliar o impacto que o uso de cursores 3D

provoca no processo de instanciação, foram realizados experimentos onde voluntários são insitados a construir cenários simples ora usando ora não usando este recurso. Parte desta pesquisa foi relatada em (Barrére, 2007a).

O primeiro cenário consistia numa sala com um sofá, uma mesa, uma janela e uma porta (cenário sete da pesquisa anterior - vide Figura 35) e o segundo cenário o clássico exemplo da área de modelagem 3D, o boneco de biscoito. Enquanto o primeiro tem características mais técnicas e precisas, o segundo tem um aspecto mais artístico.

Os dois cenários deveriam ser construídos nas duas etapas, sendo que os participantes da primeira deveriam construir o cenário um utilizando um cursor 3D e o cenário dois sem utilizar o cursor. Já os participantes da segunda etapa fariam as tarefas de forma inversa, o primeiro cenário sem o uso do cursor 3D e o segundo utilizando-o. A divisão em duas etapas confrontou as dificuldades encontradas na construção dos dois cenários e em que situações o uso do cursor 3D facilitou ou dificultou alguma atividade.

Durante a realização destas duas etapas, os dados foram coletados por meio de anotações do avaliador, *log* do software e questionário preenchido pelos participantes.

6.2.1 Aplicação

Para participar da pesquisa, foram convidadas pessoas que tivessem experiência em CAD (projetistas da área automobilística e engenharia civil), *designers* de publicidade, desenvolvedores de animação, desenvolvedores de jogos e “hobistas” (usuário que utilizam os sistemas desta natureza para pequenas atividades pessoais e profissionais). Ao todo, participaram da pesquisa 40 voluntários.

Os voluntários formavam cinco categorias (CAD, Designer, Animação, Jogos e Hobby) com oito pessoas cada uma, sendo que quatro indivíduos de cada categoria participaram de uma etapa da pesquisa, ou seja, cada etapa contou com a participação de 20 voluntários (4 indivíduos x 5 categorias).

Durante o processo de instanciação dos objetos no cenário, a FMI3D permitiu ao usuário, conforme configuração estipulada para cada etapa da pesquisa, instanciar um objeto das seguintes formas:

- **Menu:** Selecionando um dos objetos pré-definidos no menu Criar, a FMI3D instancia o objeto na posição clicada subseqüentemente na visão principal (área de

manipulação direta). É importante frisar que, assim como na maioria dos aplicativos para esta finalidade, o valor da coordenada de profundidade é fixa;

- **Botão:** Assim como na instanciação via menu, o usuário aciona um botão e logo em seguida escolhe uma posição na área de visualização da visão principal;
- **Cursor 3D:** Após ativar o cursor 3D, acionando o botão do cursor e clicando na posição desejada (através de cliques sucessivos na área de manipulação direta), o usuário escolhe (via botão direito do mouse) qual o tipo de objeto que deseja instanciar no cenário. O cursor utilizado foi do tipo alvo, devido à semelhança com os cursores 3D utilizados nos principais aplicativos para modelagem 3D.

A instanciação através da ativação de um formulário com a possibilidade de modificar as propriedades *default* do objeto não foi utilizada por não ser padrão nos aplicativos mais utilizados do mercado (3D Studio Max, Blender e Maya).

Após a aplicação da pesquisa foram analisados os resultados obtidos, oriundos de três fontes diferentes: anotações do observador, entrevista em grupo e análise dos *logs* da FMI 3D.

Os atributos que compõem o RR do usuário participante desta pesquisa são: tempo de experiência na área que o enquadra como membro da categoria (mínimo seis meses (minA) e máxima de 36 meses (maxA)) e tempo de uso com aplicações para modelagem 3D (mínimo três meses (minA) e máximo de 36 meses (maxA)). O peso atribuído(p_i) a cada atributo é 6.0 para o tempo de experiência na área e 4.0 para o tempo de uso.

Os RRs calculados foram os seguintes: categoria CAD RR=7,94, categoria Designer RR=7,58, categoria Animação RR=7,23, categoria Jogos RR=7,67 e categoria Hobby RR=7,03. O RR médio foi de 7,49, o que demonstra uma certa homogeneidade entre as categorias.

6.2.2 Análise de *Logs*

O indicador principal usado na pesquisa refere-se à eficiência em tarefas de instanciação. Para tanto, os logs de interação foram analisados para aferir tanto tempo despendido quanto número de cliques e arrastes de mouse requeridos para a consecução das tarefas. A seguir, são descritos os dados referentes ao *log* do software nas seguintes

situações: somente analisando a manipulação do cursor 3D, somente analisando o posicionamento inicial do objeto e por último o processo de instanciação como um todo.

6.2.3 Cursor 3D

Para analisar o impacto do cursor 3D durante o processo de instanciação foi importante computar o uso do próprio cursor de forma isolada, pois quando o usuário realiza a instanciação propriamente dita, o cursor já cumpriu seu papel na ação, ou seja, definiu a posição mais próxima possível da ideal.

A Tabela 9 apresenta a quantidade média de arrastes e cliques usados para posicionar o cursor antes de instanciar o objeto. Observa-se que no mínimo um clique é necessário para ativar o cursor no cenário e que em vários aplicativos o posicionamento do cursor é feito somente com cliques e não com arrastes (translações), por isso os valores perto de 1 indicam que o usuário teve boa margem de certeza durante o posicionamento do cursor. É importante lembrar que o posicionamento inicial do objeto recém instanciado é normalmente uma mera estimativa de sua posição final após concluído o cenário.

Tabela 9 - Quantidade média de arrastes e cliques com o cursor 3D

| Categoria | Quantidade de Arrastes e Cliques | | Média |
|---------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| | Sala | Boneco | |
| CAD | 1,4 | 1,6 | 1,5 |
| Designer | 2,1 | 1,4 | 1,8 |
| Animação | 2,4 | 1,5 | 2,0 |
| Jogos | 2,6 | 2,4 | 2,5 |
| Hobby | 4,2 | 3,8 | 4,0 |
| Média Direta | 2,5 | 2,1 | 2,3 |
| Média sem Extremos | 2,3 | 2,0 | 2,15 |

De acordo com a tabela, os usuários do grupo CAD fizeram pouco uso de reposicionamento do cursor 3D (novo clique). Em contrapartida, os usuários da categoria Hobby utilizaram quase o dobro de cliques em relação à média de todos os voluntários. O grupo Jogos ficou bem próximo à média e os grupos Designer e Animação um pouco abaixo da média devido a sua maior facilidade de abstração 3D (conforme verificado em conversa posterior com os participantes destes grupos).

A média de arrastes sem considerar os valores extremos de cada grupo apresentou um pequeno desvio da média direta devido à dificuldade de um dos participantes da categoria Hobby ter sido elevada.

Na Tabela 10, são apresentados os tempos médios de posicionamento do cursor 3D durante o processo de instanciação de cada objeto. O principal ponto de destaque desta tabela foi o fato do tempo de posicionamento do cursor 3D representar em média 12% do tempo total de instanciação de cada objeto (7 segundos). Este valor se justifica devido aos usuários utilizarem boa parte do tempo visualizando o objeto inserido no cenário em busca de uma posição considerada ideal. Esta conclusão foi obtida por observação e durante o debate.

Tabela 10 - Tempo médio gasto com o posicionamento do Cursor 3D

| Categoria | Posicionamento do Cursor (s) | | Média |
|--|------------------------------|--------|-------|
| | Sala | Boneco | |
| CAD | 2 | 2 | 2 |
| Designer | 6 | 5 | 5,5 |
| Animação | 7 | 5 | 6 |
| Jogos | 9 | 7 | 8 |
| Hobby | 15 | 12 | 13,5 |
| Média Direta | 7,8 | 6,2 | 7 |
| Média sem valores extremos | 7,7 | 6,2 | 6,9 |
| % média em relação ao tempo total da Instanciação | 13% | 11% | 12% |

A média expurgada de valores extremos não apresentou um valor que a diferenciase de forma significativa da média direta, o que representa que não houve pontos destoantes em cada grupo.

Nesta tabela, também se observa que as categorias CAD, Designer e Animação levaram menos tempo, em relação ao tempo médio, para o posicionamento do cursor 3D, enquanto que as categorias Jogos e Hobby levaram mais tempo do que a média de todos os grupos. Mais uma vez o destaque fica para os grupos CAD (o mais rápido) e Hobby (o mais lento), que se justificam pela maior abstração 3D da primeira categoria e a menor capacidade de abstração 3D da categoria Hobby.

6.2.3.1 Posição Inicial do Objeto

Após o posicionamento do cursor 3D, a próxima etapa da pesquisa consistiu em aferir o posicionamento inicial do objeto no cenário, ou seja, o processo de interação do usuário que envolve a escolha do objeto e a sua translação inicial.

Este processo e, conseqüentemente, o processo de instanciação foi considerado finalizado quando o usuário realizou uma interação diferente da translação do objeto alvo, seja escolhendo a manipulação das propriedades do mesmo, selecionando um

novo objeto ou qualquer outra atividade de interação com o sistema. A Tabela 11 apresenta a média de modificações no posicionamento de cada objeto pertencente ao cenário.

Tabela 11 - Média de modificações no posicionamento dos objetos

| Categoria | Sala | | | Boneco | | | Diferença Média (%) |
|--------------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------------|
| | com cursor 3D | Sem cursor 3D | Dif. (%) | com cursor 3D | sem cursor 3D | Dif. (%) | |
| CAD | 2 | 4 | 100% | 2 | 4 | 100% | 100% |
| Designer | 3 | 6 | 100% | 3 | 5 | 67% | 83% |
| Animação | 4 | 7 | 75% | 3 | 6 | 100% | 88% |
| Jogos | 4 | 8 | 100% | 3 | 6 | 100% | 100% |
| Hobby | 5 | 10 | 100% | 4 | 10 | 150% | 125% |
| Média | 3,6 | 7 | 95% | 3 | 6,2 | 103% | 99% |

Baseado nestes dados e na posterior discussão com os participantes da pesquisa, chegou-se às seguintes conclusões:

- O uso do cursor 3D auxilia no posicionamento o mais próximo possível do considerado correto para o cenário em desenvolvimento. Foi observada uma redução na média aproximada de três correções de posicionamento (3,3 modificações ou 99%), o que corresponde a 20 segundos a menos em média;
- Os usuários que utilizam a instanciação para trabalhos de precisão (CAD), apesar de conseguirem um bom percentual (100%) de economia com o uso do cursor 3D, não obtêm muita vantagem em relação à quantidade de modificações na posição do cursor, pois apresentam uma capacidade de abstração e precisão matemática que os possibilita obter uma maior precisão no posicionamento dos objetos na cena;
- Usuários da categoria Hobby obtiveram um ganho percentual alto (125%).

Outro indicador obtido através dos *logs* foi o tempo para o posicionamento do objeto, desde a sua escolha até a definição do local considerado “ideal” para o mesmo. É importante ressaltar que foram consideradas como tentativa de posicionamento do objeto todas as mudanças realizadas, desde a escolha do tipo do objeto até a seleção de outro objeto ou funcionalidade.

A Tabela 12 apresenta a média de tempo gasto por cada categoria para posicionar um objeto no cenário. Observa-se que na categoria CAD o ganho gerado pelo cursor 3D foi proporcionalmente baixo (10 %) enquanto para a categoria Hobby, o ganho gerado foi alto (101 %). Isto se evidencia quando se compara o resultado da

Tabela 13 com a Tabela 12, ou seja, a vantagem do cursor 3D se torna maior na medida que o usuário tem menor afinidade com abstrações de cenários 3D.

Tabela 12 - Tempo médio gasto para o posicionamento de um objeto

| Categoria | Sala | | | Boneco | | | Diferença Média (%) |
|--------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|-------------------|----------|---------------------|
| | com cursor 3D (s) | sem cursor 3D (s) | Dif. (%) | com cursor 3D (s) | sem cursor 3D (s) | Dif. (%) | |
| CAD | 32 | 35 | 9% | 30 | 33 | 10% | 10% |
| Designer | 43 | 57 | 33% | 41 | 54 | 32% | 32% |
| Animação | 54 | 75 | 39% | 50 | 63 | 26% | 32% |
| Jogos | 57 | 78 | 37% | 52 | 67 | 29% | 33% |
| Hobby | 79 | 156 | 97% | 75 | 153 | 104% | 101% |
| Média | 53 | 80,2 | 43% | 49,6 | 74 | 40% | 42% |

6.2.3.2 Processo de Instanciação

Após a análise isolada do cursor 3D e do posicionamento dos objetos, foi analisado o processo de instanciação como um todo, de forma a avaliar o impacto gerado pelo uso do cursor 3D durante este experimento.

A Tabela 13 apresenta a média de interações realizadas para a instanciação de cada objeto. Podemos observar uma diferença global média de 17% entre o processo de instanciação com e sem cursor 3D.

Tabela 13 - Média de interações para a instanciação de cada objeto

| Categoria | Sala | | | Boneco | | | Diferença Média (%) |
|--------------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------------|
| | com cursor 3D | sem cursor 3D | Dif. (%) | com cursor 3D | sem cursor 3D | Dif. (%) | |
| CAD | 3,4 | 4 | 18% | 3,6 | 4 | 11% | 14% |
| Designer | 5,1 | 6 | 18% | 4,4 | 5 | 14% | 16% |
| Animação | 6,4 | 7 | 9% | 4,5 | 6 | 33% | 21% |
| Jogos | 6,6 | 8 | 21% | 5,4 | 6 | 11% | 16% |
| Hobby | 9,2 | 10 | 9% | 7,8 | 10 | 28% | 18% |
| Média | 6,14 | 7 | 15% | 5,14 | 6,2 | 19% | 17% |

Destacam-se na tabela acima os seguintes dados:

- Apesar da diferença média da quantidade de interações para os usuários da categoria Animação ser a mais alta (21%), quantitativamente esta diferença é baixa se comparada com a da categoria Hobby ou mesmo da média das categorias;
- As categorias Jogos e Hobby ficaram acima da média de interações, sendo que a categoria Hobby ficou bem acima da média, com um total de 37 interações enquanto a soma das médias foi de 24,5 interações;

- Como as diferenças entre as atividades realizadas com e sem cursor foram computadas por categoria, não podem ser usadas para comparação entre categorias.

Tabela 14 - Tempo médio gasto para a instanciação de cada objeto

| Grupo | Sala | | | Boneco | | | Diferença Média (%) |
|--------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|-------------------|----------|---------------------|
| | com cursor 3D (s) | Sem cursor 3D (s) | Dif. (%) | com cursor 3D (s) | sem cursor 3D (s) | Dif. (%) | |
| CAD | 34 | 35 | 3% | 32 | 33 | 3% | 3% |
| Designer | 49 | 57 | 16% | 46 | 54 | 17% | 17% |
| Animação | 61 | 75 | 23% | 55 | 63 | 15% | 19% |
| Jogos | 66 | 78 | 18% | 59 | 67 | 14% | 16% |
| Hobby | 94 | 156 | 66% | 87 | 153 | 76% | 71% |
| Média | 60,8 | 80,2 | 25% | 55,8 | 74 | 25% | 25% |

A Tabela 14 contém os tempos médios para todo o processo de instanciação de um objeto, isto é, compreendendo o posicionamento inicial do objeto (com ou sem uso de cursor 3D) e sua translação até a posição final. Este indicador pode ser considerado como o mais representativo do processo de instanciação. Pode-se observar a economia de tempo média é de 25% para os cenários construídos com o cursor 3D. A categoria Hobby obtém o maior ganho percentual (71%) com o uso do cursor 3D, enquanto a categoria CAD apresenta o menor ganho (3%). As demais categorias obtiveram, em média, um ganho de performance em torno de 18% de ganho de performance.

A Tabela 15 apresenta tempos totais médios para modelagem dos cenários. Esta tabela agrupa os cenários conforme a forma de instanciação proposta. Isto é possível devido à similaridade entre os grupos que participaram de cada etapa da pesquisa.

Tabela 15 - Tempo médio gasto para a instanciação de todos os objetos

| Categoria | Com Cursor 3D | | | Sem Cursor 3D | | | Diferença (%) |
|--------------|---------------|------------|-------------------|---------------|------------|-------------------|---------------|
| | Sala (s) | Boneco (s) | Tempo Total (min) | Sala (s) | Boneco (s) | Tempo Total (min) | |
| CAD | 1360 | 576 | 32 | 1400 | 594 | 33 | 3% |
| Designer | 1960 | 828 | 46 | 2280 | 972 | 54 | 14% |
| Animação | 2440 | 990 | 57 | 3000 | 1134 | 69 | 17% |
| Jogos | 2640 | 1062 | 62 | 3120 | 1206 | 72 | 14% |
| Hobby | 3760 | 1566 | 89 | 6240 | 2754 | 150 | 41% |
| Média | 2432 | 1004 | 57 | 3208 | 1332 | 76 | 24% |

Esta tabela destaca o baixo impacto (3 %) gerado pelo cursor 3D para os usuários da categoria CAD e o alto impacto (41 %) para os usuários da categoria Hobby. As demais categorias obtiveram um ganho próximo a 15%.

As categorias Animação, Jogos e Hobby estão acima da média para a instanciação com cursor 3D, enquanto que para a instanciação sem cursor 3D, somente a categoria Hobby está acima da média. Esta situação caracteriza o forte impacto que o

cursor 3D traz para essa categoria, já que as outras duas ficaram bem próximas da média, mas abaixo dela, caracterizando um ganho menor de desempenho.

6.2.3.3 Anotações

Nas anotações do observador foram registradas as seguintes observações:

- Os usuários da categoria CAD apresentavam uma grande desenvoltura no que diz respeito à precisão no posicionamento dos objetos, em consequência, um certo incômodo em utilizar o cursor 3D;
- Por outro lado, os usuários da categoria hobby tiraram grande proveito do cursor 3D, pois aparentaram ter dificuldade com o posicionamento espacial dos objetos no cenário;
- Quanto mais objetos dispostos no cenário, ou quanto mais próximo está dos demais o novo objeto a ser inserido, mais se percebia dificuldade dos usuários em selecionar, visualizar e manipular o cursor 3D. Este relato se justifica pelo fato do cursor ser mais um elemento no cenário e, como tal, poder ocasionar problemas de sobreposição espacial e de cor com os demais elementos;
- A dimensão do cursor 3D merece ser salientada. Para os objetos de maior dimensão, o cursor aparenta ter dimensão ideal, mas para situações em que os objetos envolvidos são pequenos, o cursor com tamanho *default* dificulta a instanciação;
- As categorias que envolviam os profissionais de design e animadores, por terem uma natureza mais artística, não se preocuparam muito com a precisão inicial no posicionamento do objeto, mas sim com outras propriedades como dimensão e cor. Neste sentido, o cursor auxilia no posicionamento do objeto mais próximo da posição definitiva.

6.2.3.4 Debate

Após a aplicação das atividades, os usuários de cada categoria foram reunidos para comentarem o que acharam da atividade e, mais especificamente, do uso do cursor 3D.

Os usuários da categoria CAD consideraram interessante o uso do cursor 3D no início do processo de criação do cenário ou quando começaram a elaborar uma parte do

cenário distinta das demais. Já os usuários da categoria Hobby destacaram a facilidade que o cursor 3D proporciona ao indicar a posição de instanciação do objeto.

Os usuários das outras categorias, de forma geral, comentaram que, por estarem mais concentrados no cenário como um todo do que em coordenadas espaciais, o cursor 3D é um importante apoio para determinar o posicionamento correto ou aproximado do novo objeto a ser instanciado, permitindo assim que eles se concentrassem na construção “artística” do cenário e não na construção “matemática” do mesmo.

6.2.3.5 Análise do Impacto

De forma geral, o uso de cursores 3D se mostrou um bom mecanismo de interação durante o processo de instanciação (veja Figura 37), mas é também perceptível que o impacto positivo foi maior quanto menos experiente e/ou mais artístico fosse o trabalho.

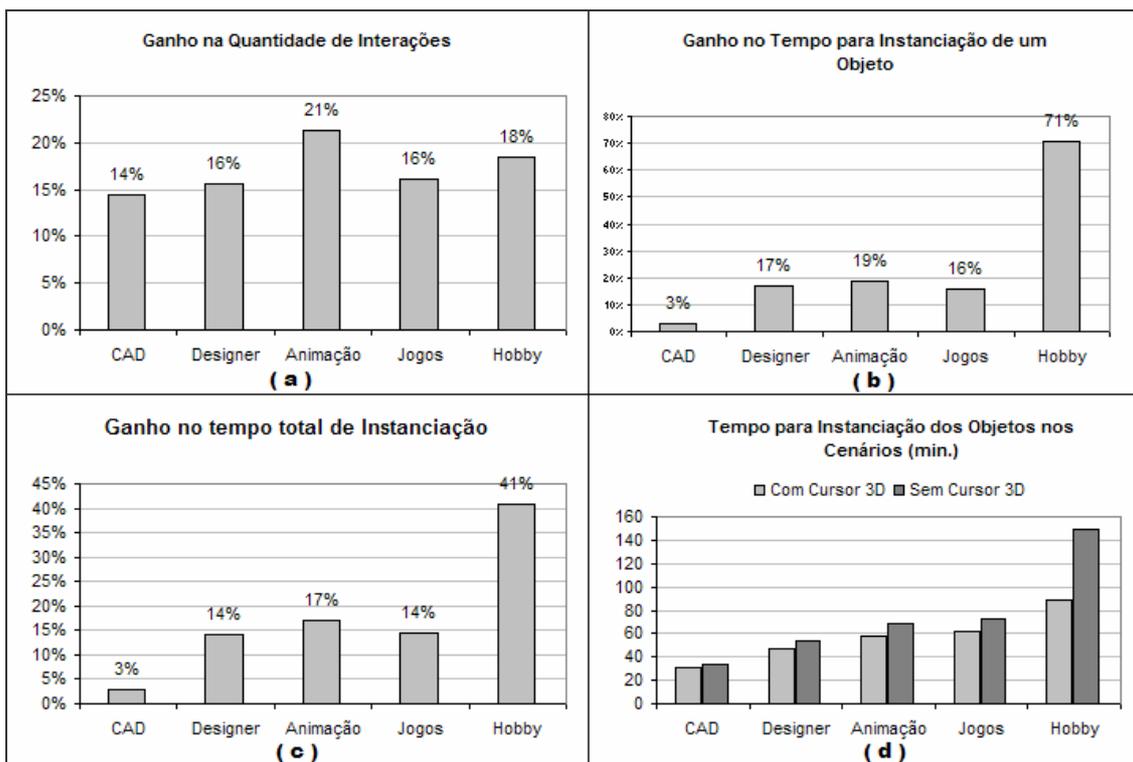


Figura 37 - Gráficos Comparativos do Impacto no uso do Cursor 3D

É possível verificar que a relação quantitativa entre o número de interações necessárias para se instanciar um objeto (Figura 37-a) apresenta um indicativo dos benefícios do uso de um cursor 3D, mas não representa seu ganho real, pois a capacidade de abstração 3D dos usuários influencia no ganho real (tempo economizado

e facilidade) deste tipo de interação. Já os gráficos mostrados nas figuras 32-b e 32-c apresentam representações mais padronizadas, pois ambos tratam o ganho de desempenho no tempo de instanciação de um objeto (Figura 37-b) e de todos os objetos do cenário (Figura 37-c).

Por último, o gráfico “d” apresenta o ganho, em termos de tempo do uso do cursor 3D, ficando claro que para a categoria CAD o ganho foi pequeno, para a categoria Hobby o ganho foi altamente significativo e, para as demais categorias, o ganho representa aproximadamente um quarto do tempo total de instanciação dos objetos no cenário.

Como medida auxiliar controlou-se o tempo total para a criação do cenário. Para os cenários utilizados nesta pesquisa, o tempo de instanciação dos objetos correspondeu a aproximadamente 80% do tempo total para a construção do cenário. É importante ressaltar que para cada tipo de cenário, o processo de instanciação dos objetos contribui de forma diferente no tempo total de elaboração do mesmo, pois elementos como luz, câmeras e texturas requerem uma parcela significativa do tempo total gasto com a manipulação dos objetos e do cenário.

Relacionamos abaixo algumas conclusões sobre o impacto gerado pelo uso do cursor 3D durante o processo de instanciação de objetos 3D:

- Usuários que manipulam cenários que necessitam de maior precisão (peças, edificações e equipamentos em geral) não obtêm vantagem significativa ao utilizar um cursor 3D, já que são dotados de grande capacidade de abstração espacial adquirida com o tempo de experiência profissional e uso dos sistemas desta natureza;
- Para os usuários que fazem uso doméstico desses sistemas, o cursor 3D propicia um ganho significativo de desempenho na modelagem do cenário, uma vez que propicia uma melhor localização espacial dos objetos e ajuda a melhor delimitar os espaços no ambiente 3D;
- Quando o uso envolve a criação artística de cenários, com foco em *design* e animação, o cursor 3D auxilia bastante o desempenho dos usuários, pois a atenção destes profissionais está mais centrada na cena como um todo em detrimento da precisão do posicionamento e dimensões de cada objeto ou grupo de objetos;

- Para os desenvolvedores de jogos, o cursor 3D tem um impacto semelhante ao apresentado aos demais usuários que têm finalidade artística no uso dos sistemas. A diferença é no nível de simplicidade dos objetos já que, conforme mencionado pelos usuários desta categoria, durante a discussão sobre a pesquisa, na maioria dos jogos os cenários apresentam menor riqueza de detalhes do que os cenários para animação e propaganda. Neste sentido, a atenção com a precisão dos objetos na cena é ainda menor, ensejando um maior benefício no uso de cursores;
- Em relação às propriedades dos cursores, observou-se durante a realização da pesquisa que a sua dimensão é importante e interfere no processo de instanciação de objetos conforme a dimensão do objeto a ser instanciado. O tamanho do cursor interfere quando os objetos (já instanciados ou em fase de instanciação) são muito menores ou maiores do que o cursor. As cores utilizadas no cursor, assim como no caso de seleção de objetos num ambiente 3D (TITTLE, 1995)(TORY, 2004)(PETERS, 2000), nem sempre propiciam um melhor destaque deste em relação a outros objetos que estão atrás do cursor, confundindo-o com os demais objetos. Este problema especificamente não tem solução definitiva e ainda é foco de estudos. Por último, o formato do cursor pode interferir na interação em algumas circunstâncias, dependendo do estilo/cor/complexidade do mesmo em relação a características visuais de objetos próximos.

6.2.4 Formato do cursor 3D

Nas principais aplicações para modelagem, cursores 3D são apresentados sob a forma de um alvo que o usuário posiciona no cenário através do clique do mouse na área de manipulação direta. A partir deste momento um objeto pode ser instanciado na cena na posição corrente do alvo. Algumas questões de interesse sobre esta forma de uso do cursor 3D. São:

- Apesar de indicar posições 3D, o cursor é um elemento 2D, tipicamente o desenho de uma cruz e um círculo. Qual o impacto de se utilizar um cursor que tenha a forma de um objeto 3D?
- O cursor não é passível de arrasto, ou seja, para modificar a sua posição, o usuário deve clicar num novo local. A movimentação do cursor pode tornar a sua utilização mais eficiente?

- Qual o impacto gerado por interações entre o cursor 3D e objetos a sua volta, por exemplo, o registro de distância ao centro do objeto mais próximo, a visualização de sombras sobre este, etc?

Todas estas questões são merecedoras de investigações. Nesta seção é apresentada uma pesquisa que tem o propósito de investigar o primeiro item acima, isto é, a diferença entre usar o cursor como um objeto 2D ou 3D.

6.2.4.1 Delimitação

A pesquisa consistiu na construção de um cenário composto por uma mesa de jantar com quatro cadeiras. Este cenário foi modelado por dois grupos de usuários. O primeiro utilizando o cursor no formato 2D (alvo) e o segundo grupo utilizando cursor no formato 3D (Figura 16).

A coleta de dados foi realizada por meio de anotações do avaliador, *log* do software e questionário preenchido pelos participantes. A coleta de dados também seguiu o mesmo padrão adotado nas pesquisas anteriores.

6.2.4.2 Aplicação

Os usuários que participaram da pesquisa formaram dois grupos com dez voluntários cada. Estes grupos foram divididos de forma a incluir usuários com experiências equivalentes, ou seja, em cada grupo havia dois usuários que trabalham com CAD, três com *design* e cinco que utilizam os sistemas desta natureza para pequenas atividades pessoais e profissionais.

Visando confrontar e/ou corroborar a pesquisa anterior, foram mantidos os aspectos referentes ao ambiente de aplicação, grupo de usuários, horário de aplicação e definição dos cenários, e os usuários receberam as mesmas orientações utilizadas anteriormente (apresentação, treinamento do usuário, execução das etapas e debate).

Durante o processo de instanciação dos objetos no cenário, a FMI3D permitiu ao usuário instanciar um objeto utilizando somente o cursor 3D, sendo que para um grupo foi definido o alvo (2D) como cursor e para o outro grupo foi definido o cubo (3D), vide Figura 16, cursores 2 e 3 respectivamente. Já o ajuste do objeto poderia ser realizado através de manipulação direta ou via formulário de propriedades.

6.2.4.3 Análise dos Resultados

Foram obtidos resultados provenientes de três fontes diferentes: anotações do observador, debate e análise dos *logs* da FMI 3D. Por ser uma pesquisa mais pontual que a anterior, os resultados estão computados de forma conjunta e não separados por grupos de usuários, como os da pesquisa anterior.

Através da análise dos *logs*, se verificou qual o impacto do cursor 3D ter um formato 2D ou 3D. Isto é, a idéia foi obter resultados que demonstrassem qual o formato mais adequado para um cursor de posicionamento 3D e o quanto um cursor com formato 3D poderia interferir durante o processo de instanciação de um objeto.

A Tabela 16 apresenta os dados obtidos neste experimento. Eles foram organizados conforme o formato do cursor utilizado pelo usuário. Foram computados os números médios de mudanças de posicionamento do cursor antes da inserção do objeto no cenário, o número médio de ajustes de posicionamento (translações) realizados pelo usuário antes de considerar a posição inicial do objeto como correta e o tempo gasto durante todo o processo de instanciação. Como dados de apoio, foram geradas as médias de cada item, assim como a variação ocorrida entre o cursor 2D e o cursor 3D, tendo como referência o primeiro.

Tabela 16 - Valores referentes ao log da FMI3D

| | Nro. médio de cliques de posicionamento do cursor por objeto | Nro. médio de ajustes do objeto | Tempo médio para a instanciação de um objeto (seg) |
|------------------|--|---------------------------------|--|
| Formato 2D | 2,6 | 1,8 | 45 s |
| Formato 3D | 4,1 | 2,2 | 55 s |
| Média | 3,4 | 2,0 | 50 s |
| Variação (3D/2D) | 57,7% | 22,2% | 22,2% |

O número médio de posicionamentos do cursor 3D foi aproximadamente 57% maior para os usuários que utilizaram o cursor com formato 3D. Os usuários informaram que este formato do cursor se tornou um elemento de interferência visual, quando o objeto a ser inserido deveria estar próximo de outros objetos. Em outras palavras, o elemento 3D do cursor interfere visualmente com a manipulação dos outros elementos, apesar de ser um objeto desenhado apenas em aramado, isto é, sem texturas ou faces com cores. Estas ponderações também foram registradas nas anotações do observador.

Esta informação pode ser confirmada pelo aumento significativo no número de posicionamentos do cursor, à medida que o cenário se tornava mais complexo (mais

objetos próximos). Para os primeiros elementos de uma determinada região (visualmente distante dos demais objetos), a quantidade de posicionamentos do cursor era praticamente a mesma para os dois tipos de cursores. Este valor foi aumentando conforme a quantidade de elementos próximos também aumentava.

Seguindo o mesmo raciocínio, o tempo gasto para se instanciar um objeto mostrou em média 22,2% maior para o cursor com formato 3D. Com efeito, análise prévia mostrou que se considerados somente os primeiros objetos de uma região do espaço 3D, o tempo médio de instanciação foi praticamente igual para os dois formatos de cursores, aproximadamente 2,3% de diferença, o que, dadas as diferenças individuais dos usuários que formavam cada grupo, pode ser desprezado.

Neste contexto, esta pesquisa confirmou a principal vantagem em utilizar o cursor com formato 2D, que é a pouca interferência visual gerada no cenário. O formato clássico de um alvo ajuda a informar ao usuário qual é o ponto em que o objeto será inserido. Em contrapartida, o formato 3D oculta referências visuais do usuário em relação aos objetos próximos, diminuindo os benefícios do uso do cursor 3D.

6.3 Pesquisa sobre Visões

Dois pontos que chamaram a atenção durante as pesquisas anteriores sobre o processo de instanciação 3D foram: qual o impacto da quantidade de vistas disponíveis e qual o impacto da forma de visualização dos objetos no cenário (arestas, sólido ou renderizado). Visando obter resposta a estes questionamentos, foi elaborado um breve questionário submetido aos participantes das pesquisas realizadas e também disponibilizado na Internet, para os membros de comunidades sobre aplicativos de modelagem 3D. O perfil do usuário foi definido levando em conta:

- **Formação:** computação, engenharia, técnico na área de informática ou outras áreas;
- **Nível de conhecimento em aplicações para modelagem 3D:** baixo, médio ou alto;
- **Tempo de experiência com estas aplicações:** até um ano, entre um e dois anos, entre dois e três anos ou acima de três anos;
- **Ter acesso a algum periférico 3D (luva, óculos, etc.):** não ou sim;
- **Achar útil o uso de periféricos 3D para modelagem 3D:** não ou sim;

- **Familiaridade com Aplicativos para modelagem 3D:** Blender, Maya, 3DS ou outro. Sendo o conhecimento mensurado como profundo, médio, superficial ou nenhum, e a forma de uso como exclusivo, freqüente, esporádico ou não utiliza.

A formulação do questionário buscou um preenchimento rápido e direto, mas sem desprezar o perfil do usuário, que foi levado em consideração no cálculo de seu RR (idêntico ao calculado nas demais pesquisas). A Tabela 17 apresenta os dados tabulados após a aplicação do questionário em um grupo de 40 participantes.

Tabela 17 - Questionário sobre Tipos e Quantidade de Visões.

| Questão | Porcentagem Aritmética | Porcentagem RR |
|--|------------------------|----------------|
| 1) Quantas visões simultâneas você costuma utilizar durante a modelagem de um cenário 3D? | | |
| Uma visão (câmera) | 8,00% | 3,88% |
| Duas visões (câmera + lateral) | 20,00% | 13,13% |
| Três visões (câmera + 2 visões laterais) | 42,00% | 45,97% |
| Quatro visões (câmera + 3 visões laterais) | 30,00% | 37,01% |
| Mais de quatro visões | 0,00% | 0,00% |
| 2) Com quantas visões (janelas) distintas você interage durante o processo de modelagem 3D? | | |
| Interação somente com a visão principal. As demais são somente para apoio visual | 22,00% | 14,03% |
| Manipulação direta somente da visão principal e manipulação de câmera nas demais visões | 44,00% | 42,39% |
| Manipulação direta e da câmera nas diversas visões | 34,00% | 43,58% |
| 3) Quais formas de exibição do cenário você utiliza respectivamente durante o processo construtivo? | | |
| Somente aramado | 4,00% | 1,79% |
| Somente sólido (sem iluminação) | 4,00% | 2,09% |
| Somente renderizado (sólido com iluminação) | 0,00% | 0,00% |
| Aramado e sólido | 54,00% | 58,51% |
| Aramado e renderizado | 0,00% | 0,00% |
| Sólido e renderizado | 0,00% | 0,00% |
| Todas as formas | 38,00% | 37,61% |
| 4) Qual a exibição preferida por você para a visão principal do software de modelagem 3D? | | |
| Aramado | 46,00% | 54,93% |
| Sólido | 34,00% | 25,97% |
| Renderizado | 0,00% | 0,00% |
| Sem preferência | 20,00% | 19,10% |
| 5) Customiza a visão default do software de modelagem 3D ou utiliza a configuração pré-definida? | | |
| Customizo | 32,00% | 43,34% |
| Utilizo a configuração <i>default</i> | 68,00% | 56,66% |
| 6) Como costuma utilizar as visões no software de modelagem 3D? | | |
| Janelas livres e sobrepostas | 4,00% | 3,88% |
| Ocupação total da visão em utilização e demais visões na forma de janelas sobrepostas | 48,00% | 42,69% |
| Divisão da área de interação do software de forma igualitária entre todas as visões | 30,00% | 28,96% |
| Maior destaque para a visão que está sendo utilizada e divisão do espaço restante entre as demais visões | 18,00% | 24,48% |

A questão (1) visa quantificar o número de visões simultâneas que o usuário tem como hábito utilizar durante o uso de um software para modelagem 3D. Considerando o resultado com aplicação do RR, a maioria absoluta dos usuários utiliza três ou quatro visões simultâneas (aproximadamente 83%) para facilitar o processo de visualização do cenário. Em contra-partida, cerca de 17% utiliza apenas uma ou duas visões, seguindo a configuração *default* do software.

A questão (2) abordou a forma como os participantes interagem com cada visão, ou seja, se as visões são utilizadas para a manipulação dos objetos e propriedades do cenário, para manipulação da câmera ou somente como apoio visual sem a necessidade de alguma interação. A maioria dos usuários que interagem somente com a visão principal é formada por usuários menos experientes, fato demonstrado pela baixa relevância dos usuários que optam por esta alternativa. Já a grande maioria dos usuários interage com mais de uma visão durante o processo de modelagem de um cenário, aproximadamente 87% dos participantes. Este grupo se divide, de forma quase igual, entre os que utilizam as demais visões do cenário para manipulação de câmeras (ver detalhes, obter pontos de vista diferenciados) e os que interagem com os objetos nas diversas visões.

A questão (3) refere-se à forma como o cenário é visualizado pelo usuário. A maioria dos usuários utiliza a exibição por objetos sólidos ou aramados (58,51%) e 37,61% utilizam, além das duas formas anteriores, uma visão com o cenário renderizado. Vale salientar que aproximadamente 96% optam, quando utilizam mais de uma visão simultaneamente, por utilizar pelo menos uma visão com objetos aramados e/ou uma com objetos sólidos.

Quando uma entre as possíveis visões em utilização se apresenta em destaque, normalmente pela sua maior dimensão ou por ser a visão de manipulação direta, a maioria dos participantes da pesquisa utilizam a representação do cenário com objetos aramados (54,93%) e, se somados com os usuários que não têm preferência pelo tipo de representação, esses valores chegam a aproximadamente 74%.

A questão (5) focou a customização da visão principal pelo usuário. Apesar da maioria dos aplicativos permitirem esta customização, um pouco mais da metade dos usuários participantes desta pesquisa (56,66%) não fazem uso deste recurso, ou seja, utilizam a configuração *default* do software. Em contrapartida, cerca de 43,34% dos

usuários fazem alguma customização da visão principal (cor *default* do cenário, dimensão da área de manipulação direta, etc). É importante ressaltar que este equilíbrio nas respostas, quase 50% para cada grupo, só ocorreu após aplicarmos o RR, pois se desconsiderarmos este fator, a preferência dos usuários por utilizar a configuração *default* chega a dois terços.

Na questão (6) quantificou-se qual a forma preferida pelos usuários para dispor as visões ativadas no software de modelagem 3D. Nela, observou-se, através de conversas informais com os participantes, que a maioria deles acabaram se adaptando à distribuição de visões que o software em utilização considera como padrão ou à distribuição que eles aprenderam durante a realização de cursos de treinamento. Nesta pesquisa, verificou-se que quase metade do grupo participante (42,69%) utiliza uma visão principal como área de manipulação direta e habilita outras visões, na forma de janelas sobrepostas e livres, conforme a necessidade durante o processo de modelagem.

A divisão das visões de forma não sobreposta, na área de interação do software, é utilizada por aproximadamente 53% dos participantes, sendo que as visões podem ser distribuídas de forma igual pela área de interação ou a visão principal ocupando a maior parte da área de interação.

Uma observação comum a todas as questões foi a importância do uso do *Ranking* de Relevância, que diminuiu o impacto dos usuários menos experientes na distribuição das respostas. Um exemplo deste tipo de observação foi a primeira alternativa da questão dois “interação somente com a visão principal, as demais são somente para apoio visual” que, se fossem consideradas somente as respostas de forma quantitativa, representariam 22% do universo dos entrevistados. Com a aplicação do RR se verificou que este item foi escolhido principalmente por usuários com baixa experiência neste tipo de software, o que diminuiu a relevância da suas respostas a esta questão (14,03%).

Esta pesquisa constatou a importância da disponibilização de várias visões do cenário pelo software e da necessidade destas visões contemplarem formas diferentes de exibição dos cenários. Ela mostrou também que o uso deste recurso é mais frequente quanto mais alta é a especialização do usuário.

Capítulo 7

Contribuições e Trabalhos Futuros

O desenvolvimento de aplicações na área de computação gráfica envolve uma série de desafios no que diz respeito à construção de interfaces, principalmente quando consideramos o uso de um computador restrito a dispositivos padrões como teclado, mouse e monitor e conseqüentemente a apenas um ou dois graus de liberdade.

Dentro da gama de aplicações da área de computação gráfica, um recurso bastante comum é a instanciação de objetos 3D. Através desta constatação foi realizado o presente estudo de interação.

O desenvolvimento de um software específico, a FMI3D, para a realização de diversas investigações sobre interação no processo de instanciação permitiu um maior controle sobre as ações do usuário, através do *log* das ações e da ativação/desativação de funcionalidades, bem como o teste de novas técnicas de interação, que seriam difíceis de se avaliar usando num software comercial, mesmo que customizável.

A metodologia utilizada para a realização das pesquisas foi de fácil execução e se mostrou viável no que tange a obtenção de resultados. A adoção do *Ranking* de Relevância foi outro fator importante para detectar distorções e gerar resultados mais relevantes a partir de um conjunto de participantes heterogêneo. Outro fator metodológico importante foi a transparência dos meios de aquisição de informações e dos objetos das pesquisas com os voluntários, o que permitiu que eles colaborassem de forma significativa com o trabalho.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível constatar que o perfil do usuário de um software para modelagem 3D, em relação à configuração de interface, segue o mesmo perfil dos usuários do demais tipos de aplicativos (MACKAY, 1991), ou seja, apesar de fornecer uma série de facilidades, poucos usuários fazem uso desse recurso. Esses usuários costumam fazer uso intensivo de tutoriais para aprenderem

novas técnicas e recursos específicos, o que normalmente demanda o uso da interface *default* do software.

A pesquisa sobre tipos de interação constatou que os usuários apresentam um melhor desempenho quando utilizam a forma de interação livre (todas as formas de interação disponíveis), ficando a manipulação direta com um desempenho 2% abaixo e o uso de menu e botões com 25% e 23% abaixo, respectivamente.

Com um desempenho 100% abaixo da interação livre, a linguagem de comandos, também apresenta a maior média de erros, cerca de dez erros de interação durante o desenvolvimento do cenário. Esta discrepância se justifica pela relação direta deste recurso de interação com a experiência do usuário no uso da aplicação. Alguns recursos podem ser utilizados para melhorar o desempenho do usuário, como o uso de *help* de contexto e autocomplemento.

As pesquisas sobre uso de cursor 3D mostraram que o grau de benefício obtido está ligado ao perfil de usuário. Os usuários de CAD obtêm um pequeno ganho (3%), enquanto os usuários de ferramentas de *design*, jogos e animação obtêm um ganho aproximado de 15%. Já os que utilizam essas aplicações com finalidades “caseiras” obtêm um ganho de 41% no tempo total gasto durante a instanciação dos objetos no cenário. Estes valores se justificam pela maior capacidade de abstração espacial dos usuários do grupo CAD, que trabalham diariamente com este tipo de aplicação, enquanto que usuários domésticos têm em geral tal capacidade menos desenvolvida.

Outro ponto analisado foi o formato do cursor 3D. Quando é apresentado como um elemento 3D (cubo, esfera, etc.) agrega uma maior dificuldade de visualização do mesmo, gerando um desempenho 22% menor do que o cursor 3D tradicional, em formato de alvo (2D). O cursor também estendido com uma série de funcionalidades agregadas e pouco exploradas por aplicativos atuais, como informar a sua posição exata (X, Y, Z), ter liberdade de movimentação, ser redimensionado e apresentar informações adicionais.

Embora a manipulação direta seja a principal forma de interação em um software para modelagem 3D, ela não pode ser a única forma de interação disponível no software. Muitos pesquisadores e empresas buscam este tipo de interação como solução para todos os problemas de interação num software para esta finalidade. Algumas aplicações utilizam ao extremo o recurso da manipulação direta, conseguindo excelentes

resultados práticos, como o Teddy (IGARASHI, 1999) para a área de modelagem e animação 3D.

De forma resumida, este trabalho confirmou a hipótese de que os usuários de aplicativos para modelagem 3D preferem o uso de manipulação direta, mas constatou que apesar dos grandes avanços na disponibilidade desta forma de interação, atualmente nem todas as funcionalidades podem ser disponibilizadas através da manipulação direta, o que remete o usuário ao uso de menus e botões. Além disso, recursos como o acionamento dos tipos de visões e funcionalidades “desconhecidas”, conforme análise das entrevistas, são melhores acionadas via botões e menus, respectivamente.

7.1 Lições sobre o uso de cursores 3D

Durante a realização das pesquisas descritas no capítulo anterior tornou-se aparente que cursores 3D, recurso disponível na grande maioria dos aplicativos de modelagem 3D, merecem um estudo mais aprofundado. Em particular, causa estranheza o fato de que algumas extensões naturais desse recurso não são observadas em tais aplicativos, o que sugere dificuldade de implementação ou inutilidade. Neste capítulo discute-se algumas possíveis adaptações ao paradigma do cursor 3D, suas motivações à luz das pesquisas apresentadas e suas implicações.

7.1.1 Movimentação do Cursor 3D

Na grande maioria dos aplicativos comerciais, o cursor 3D somente é ativado através de um clique na área de manipulação direta. Naquele momento, o cursor ocupa a posição relativa a dois eixos de coordenadas (ex. X e Y), através do mouse, e recebe um valor de profundidade (terceiro eixo, ex. Z) definido implicitamente. Para mudar a posição do cursor, estes aplicativos exigem que o usuário repita o processo num outro ponto da área de manipulação direta.

Uma possibilidade analisada para minimizar este jogo de tentativa e erro foi permitir ao cursor 3D transformações de translação, ou seja, mudança de posição no cenário. Alguns testes foram realizados no sentido de permitir a movimentação do cursor 3D, com 1, 2 ou 3 DOF.

A Tabela 18 apresenta as combinações testadas, seus benefícios e implicações. Os testes realizados contaram com a colaboração de 10 usuários que comentaram as

vantagens e desvantagens percebidas. Vale observar que o uso de várias visões, normalmente de duas a três visões, é fundamental para auxiliar no posicionamento do cursor.

Tabela 18 - Movimentação do cursor 3D

| Movimentação | Benefícios | Implicações |
|--|---|---|
| 3 DOF, podendo ser movimentado como um objeto qualquer do cenário | Posiciona-se o cursor 3D no cenário com a mesma “facilidade” com que se posiciona um objeto. | Apesar de ser mais simples do que a maioria dos objetos, tratá-lo como um objeto normal agrega todas as dificuldades existentes na manipulação de um objeto. Problemas de oclusão, sobreposição e seleção passam a fazer parte da manipulação do cursor 3D. |
| Uso de tecla de atalho para fixar um eixo. Exemplo: <CTRL-X> para fixar o eixo X e somente permitir a translação nos demais eixos. | Facilita o ajuste do cursor 3D dentro do cenário, pois as ações do usuário, assim como o mouse, possuem 2 DOF. | As implicações citadas acima são aplicadas também nesta situação. A movimentação do cursor através de teclas específicas, por exemplo <+> e <-> poderiam minimizar estas implicações. |
| Uso de tecla de atalho para fixar dois eixos. Exemplo: <CTRL-W> para fixar os eixos Z e Y, e somente permitir a translação em X. | Permite um ajuste mais fino no posicionamento do cursor, principalmente quando utilizado em conjunto com as demais formas de movimentação do cursor 3D. | As implicações são as mesmas citadas acima. |

De forma geral, a movimentação é um recurso benéfico em cenário com um número moderado de objetos. O grande complicador da movimentação dos cursores 3D é que eles se tornam mais um objeto a ser manipulado, com todos os problemas de interação associados a esta situação. Como a liberdade de movimentação não interfere no papel real do cursor 3D, pode-se considerar como válida para os aplicativos que não adotam algo semelhante.

7.1.2 Propriedades do Cursor 3D

Na maioria das aplicações para modelagem 3D o cursor 3D é apresentado no formato de alvo (2D, vide Figura 19) ou Orientador de Eixo (vide Figura 28-a). Os desenvolvedores de novas aplicações tendem a adotar estes formatos clássicos para facilitar a adaptação do usuário ao novo software.

O autor deste trabalho realizou sessões de teste para analisar a manipulação de propriedades do cursor 3D. A Tabela 19 apresenta o tipo de modificação realizada no cursor, os benefícios e impactos observados.

Das possibilidades apresentadas abaixo, somente a mudança no formato causa maior impacto, conforme apresentado na pesquisa sobre cursores 3D. As demais podem ser agregadas a um cursor tradicional, podendo ser acionadas via teclas de atalho.

Tabela 19 – Mudança nas propriedades básicas do cursor 3D

| Mudança na Propriedade | Benefícios | Implicações |
|---|--|---|
| Adoção de outro formato 3D (cubo, esfera, etc.), exibindo somente as arestas deste “cursor”. | O formato 3D, semelhante a um objeto do cenário, ajuda o usuário a ter uma maior precisão de distância do local onde ele pretende instanciar o objeto em relação a outros objetos de referência. | Ao adotar um formato semelhante ao de outros possíveis objetos do cenário, o cursor se destaca menos e o formato 3D propicia uma maior confusão do cursor com os demais objetos ao seu redor. Quanto mais objetos próximos, maiores são estas dificuldades. |
| Mudança da cor do cursor. Exemplo: <CTRL-C> para trocar as cores do cursor (pode ter duas ou mais cores possíveis). | Permitir que o cursor se destaque dos demais objetos em sua volta. Facilitando sua visualização no cenário. | Ao ativar o cursor, se usada uma cor <i>default</i> , gera insatisfação no usuário ao ter que alterar sua cor novamente. Se o cursor é apresentado com a última cor usada, pode dificultar sua visualização, pois não apresenta o mesmo referencial de cor que o usuário tem. |
| Mudança na dimensão do cursor. Exemplo: <CTRL-I> para aumentar o cursor e <CTRL-O> para diminuir-lo. | Conforme o tamanho dos objetos numa área do cenário, ou mesmo o zoom aplicado, o cursor pode se tornar grande ou pequeno para a sua identificação visual pelo usuário ou se confundir com os demais objetos. | Assim como na linha acima, a opção de ter sempre o cursor com a dimensão inicial fixa ou deixá-la com a última dimensão utilizada, pode confundir o usuário. |

7.1.3 Informações Adicionais

Um cursor 3D é utilizado, na grande maioria das aplicações, para representar somente uma posição 3D. Outras informações adicionais podem ser apresentadas por este cursor e auxiliar o usuário no processo de instanciação. A Tabela 20 apresenta essas informações sugeridas e os possíveis benefícios e implicações da sua adoção. Estas informações podem ser disponibilizadas, por exemplo, na barra inferior da aplicação (rodapé) ou através de *tooltips* (dicas) acionadas via teclas de atalho.

Tabela 20 – Exibição de informações adicionais via cursor 3D

| Informação Adicional | Benefícios | Implicações |
|---|--|--|
| Posição no espaço 3D. Exibida no formato (X,Y,Z) | Conhecer a posição precisa do cursor. Este recurso já é utilizado por algumas aplicações de modelagem, mas não é largamente difundido. | Nenhuma. |
| Distância para um determinado objeto selecionado. | Após a seleção de um objeto, o usuário ativa o cursor 3D, que passa a fornecer a distância do centro do cursor a algum ponto de referência do objeto (centro, face mais próxima, etc.). Esta ação pode facilitar a escolha da posição “correta” do novo objeto a ser instanciado. | O usuário realiza duas atividades para ativar a funcionalidade, selecionar um objeto e ativar o cursor. A implementação pode se tornar complexa, dependendo da área de aplicação e o ponto de referência adotado para se obter a distância pode ser objeto de discordância entre usuários e empresa. |
| Distância para o último objeto instanciado. | Objetos que possuam alguma relação espacial entre eles e que estão sendo inseridos de forma sequencial geram a possibilidade do usuário se beneficiar desta informação. Após se inserir o segundo objeto a uma distância Q do anterior, os objetos seguintes podem ser inseridos a mesma distância Q do último inserido (espaçamentos iguais). | A implementação desta funcionalidade não é simples e, dependendo do tipo de aplicação, pode não agregar muito valor, devido à natureza das instancicações normalmente utilizadas para esse caso. A possibilidade de gerar ações automáticas (escolha induzida da próxima posição) é benéfica em alguns casos e ruim em outros. |

A apresentação da posição do cursor 3D é um recurso simples e que poderia ser adotada por todos os aplicativos. Já as demais funcionalidades devem ser analisadas com maior atenção, pois não geram benefícios para todas as aplicações de modelagem e são mais complexas de serem implementadas.

7.1.4 Pré-Instanciação

Após o posicionamento do cursor 3D, o mesmo pode servir como um ponto de pré-visualização, ou seja, uma exibição do objeto escolhido, mas ainda não instanciado. Esta funcionalidade pode ser implementada da seguinte forma:

- Primeiro o usuário posiciona o cursor 3D;
- Depois o usuário navega numa barra de rolagem com vários objetos (Ex. um conjunto de cadeiras pré-armazenados) e a cada item em destaque na barra de rolagem, o mesmo é visualizado na posição do cursor 3D. Depois de definido o item, o usuário ativa um comando especial (Ex. <Enter>) para confirmar o objeto a ser instanciado;
- Após a escolha do objeto, a mesma técnica pode ser utilizada com barras de rolagem para seleção de cor e dimensão.

Esta técnica é muito utilizada em aplicações gráficas para modelagem 2D, como as aplicações que permitem a um cliente de um salão de beleza optar por um tipo de corte de cabelo. Poucos recursos desta natureza são utilizados em software para modelagem 3D.

7.2 Trabalhos Futuros

Este foi um trabalho inovador no que se refere ao estudo de interface em softwares para modelagem 3D, sendo que o estudo se resumiu ao processo de instanciação e as demais atividades como modelagem, animação, iluminação e texturização não foram contempladas nesta pesquisa e podem ser perfeitamente exploradas em trabalhos futuros.

A linha de investigações iniciada neste trabalho pode incluir:

- Realização de uma pesquisa similar sobre o impacto das formas de interação, fazendo com que os voluntários não realizem as atividades sempre na mesma ordem, mas em ordem diversas. Neste sentido pode haver a comparação do resultado dos dois trabalhos;
- Implementação e estudo das funcionalidades aqui propostas sobre os cursores 3D;
- Análise dos recursos de interação durante a manipulação de um cenário 3D, com foco no uso dos manipuladores, suas funcionalidades, recursos associados e formas de acionamentos;
- Gerar customizações automáticas do software conforme o perfil do usuário, validando este recurso para um software da área de computação gráfica.

Como contribuição final, este trabalho tem como mérito promover um princípio de integração de duas subáreas da computação tão distintas embora complementares.

Referências Bibliográficas

- (ALIAKSEYEU, 2002) ALIAKSEYEU, D., SUBRAMANIAN, S., MARTENS, J. B., RAUTERBERG, M., 2002, “Interaction Techniques for Navigation through and Manipulation of 2D and 3D Data”. In: *Eigth Eurographics Workshop on Virtual Environments*, Barcelona, Espanha.
- (AOKI, 2000) AOKI, H., ITOH, K., 2000, “Analysis of cognitive attitudes to commercial films on basis of eye tracking data”. In: *Proceedings of the IEA2000/HFES2000 Congress*, San Diego, USA.
- (APPLE, 2003) APPLE Computer Inc., 2003, *Apple Human Interface Guidelines*. In: www.apple.com, visited in Jan/2007.
- (AUTODESK, 2007) Autodesk, *Autodesk Maya*, In: <http://www.autodesk.com/maya>, visited in May 2007.
- (AZEVEDO, 2003) AZEVEDO, E., CONCI, A., 2003, *Computação Gráfica: Teoria e Prática*, 1 ed., Brasil, Editora Campos.
- (BARRÉRE, 2007a) **BARRÉRE, E.**, ESPERANÇA, C., 2007, “Impacto do Uso de Cursores 3D durante o Processo de Instanciação de Objetos 3D”. In: Workshop on Perspectives, Challenges and Opportunities for Human-Computer Interaction in Latin America (CLIHC 2007): Innovation Inspired by Diversity, Rio de Janeiro.
- (BARRÉRE, 2007b) **BARRÉRE, E.**, DIAS, A. L., ESPERANÇA, C., 2007, “Viabilização da Análise de Interação em um Software Colaborativo para Modelagem de Objetos 3D”. In: CLIHC 2007, Rio de Janeiro.
- (BATAGELO, 2007) BATAGELO, H., SHIN-TING, W., 2007, Application-independent accurate mouse placements on surfaces of arbitrary geometry. In: *Proceedings of SIBGRAPI 2007*
- (BATTAIOLA, 2004) BATTAIOLA, A. L., 2004, *Apostila do Curso de Computação Gráfica*, Material da disciplina de Computação Gráfica, Grupo de Realidade Virtual, Departamento de Computação, UFSCar, Brasil.
- (BIER, 1990) Bier, E. A., 1990, “Snap-dragging in three dimensions”. In: *Proceedings of the 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics*.
- (BLENDER, 2006) BLENDER, 2006, Blender: Open Source 3D Graphics Creaton, in <http://www.blender.org>, visited in Jun/2006.
- (BROOKE, 1986) BROOKE, J., 1986, “SUS-A Quick and Dirty Usability Scale”, in Jordan, P., Thomas, B., Weerdmeester, B. (eds.). *Usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis, pp. 189-194.
- (CARDOSO, 2000) CARDOSO, J. C., 2000, *ILIB-Uma Proposta de Interface de Consulta Personalizável para Bibliotecas Digitais*, Dissertação de M.Sc., Faculdade de Informática, PUCRS, Porto Alegre, Brasil.
- (CAVALCANTI, 2000), CAVALCANTI, P. R., 2000, *Introdução à Computação Gráfica*, Notas do Curso de Computação Gráfica I, UFRJ-Brasil.

- (CAZELLA, 2005) CAZELLA, S. C., ALVARES, L. O. C., 2005, "Modeling user's opinion relevance to recommending research papers". In: UM 2005 User Modeling: The Proceedings of the Tenth International Conference, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag pp. 337-341.
- (CONNALLY,1995) CONNALLY, C. E.; TULLIS, T. S.,1995, "Evaluating the user interface: videotaping without a camera". In: *Human Factors perspectives on Human-Computer Interaction*, Santa Monica, USA.
- (CONSTANTINE, 1999) CONSTANTINE, L. L., LOCKWOOD, L. A. D., 1999, *Software for use*, ACM Press.
- (CONNER, 1992) CONNER, D. B., SNIBBE, S. S., HERNDON, K. P., ROBBINS, D. C., ZELEZNIK, R. C., VAN DAM, A., 1992, "Three-Dimensional Widgets", In: Proceedings of the 1992 Workshop on Interactive 3D Graphics, pp. 183-188.
- (DE SOUZA, 1999) DE SOUZA, C. S., LEITE, J. C. *et al.*, 1999, "Projeto de Interfaces de Usuário: perspectivas cognitivas e semióticas". In: *Jornada de Atualização em Informática (JAI) - Congresso da SBC*, Brasil.
- (DENZIN, 2005) DENZIN NK, LINCOLN YS., 2005, *Handbook of qualitative research*, 3a Edition, chapter 29, Sage Publications.
- (DIAPER, 1989) DIAPER, D., 1989, *Task observation for human-computer interaction*. In: Task analysis for humancomputer interaction, 1 ed., Jonh Wiley & Sons.
- (DIAS, 2005) DIAS, A. L., OLIVEIRA JUNIOR, G. C., **BARRÉRE**, E., 2005, "Interface para Aplicativos de Instanciação de Objetos 3D". In: *XI Simpósio Brasileiro de Multimídia e Web*, pp. 204-206, Poços de Caldas, Brasil, Dec.
- (DIEGUES, 1989) DIEGUES, J. P. P., 1989, *Modelagem Geométrica para Computação Gráfica*, 1 ed., Rio de Janeiro, Brasil, Editora Achiamé.
- (DINH, 2002) DINH, H. Q., 2002, *Implicit Shapes: Reconstruction and Explicit Transformation*. Tese Ph.D., College of Computing - Georgia Institute of Technology, EUA.
- (DIX, 1998) DIX, A., FINLAY, J. *et al.*, 1998, *Human Computer Interaction*, 2 ed., USA, Prentice-Hall.
- (FOLEY, 1997) FOLEY, JAMES D. *et al.*, 1997, *Computer Graphics*, 2 ed., USA, Addison-Wesley Publishing Company.
- (FOX, 2006) FOX, 2006, *FOX TOOLKIT*. In: <http://www.fox-toolkit.com>, visited in Dec 2006.
- (FXRUBY, 2006) FXRUBY, 2006, *FXRuby home page*. In: <http://www.fxruby.org>, visited in Dec 2006.
- (FONSECA, 1997) FONSECA, L. T. S., REIS, L. P., MARTHA, L. F., 1997, "Uma Arquitetura para Construção de Ferramentas de Manipulação para Visualização Interativa de Dados Volumétricos", In: *X Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens - SIBGRAPI'97*, Brasil
- (GATTASS, 2005) GATTASS, M., 2005, Apostila de Computação Gráfica. In: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/cg/cg.html>, visited in Jun 2007.

- (GRIMM, 1995) GRIMM, C., PUGMIRE, D., BLOOMENTHAL, M., HUGHES, J. , COHEN, E., 1995, “Visual Interfaces for Solid Modeling”, In: Proceedings of UIST '95, ACM Press.
- (HAND, 1997) HAND, C., 1997, “A Survey of 3D Interaction Techniques”. In: *Computer Graphics Forum*, pp 269–281, vol 16.
- (HERMIDA, 1994) HERMIDA, A., 1994, *Ray Tracing: Aventuras em Computação gráfica & Animação*, 1 ed., Rio de Janeiro, Brasil, Editora Berkeley.
- (HERNDON, 1992) HERNDON K. P., ZELEZNIK R. C., ROBBINS, D.C., CONNER, D. B. SNIBBE, S. S., VAN DAM A., 1992, "Interactive Shadows", In: Proceedings of UIST '92, pp. 1-6.
- (IGARASHI, 1999) IGARASHI, T., MATSUOKA, S., TANAKA, H., 1999, “Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design”. In: *SIGGRAPH'99*, Los Angeles, USA.
- (IGARASHI, 2005) IGARASHI, T., Moscovich, T., Hughes, J. F., 2005, "Spatial Keyframing for Performance-driven Animation", In: Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 107-115
- (JACOB, 2001) JACOB, L. J., NEDEL, L. P., FREITAS, C. M. S., 2001, “Avaliação de Técnicas de Interação em Ambientes Imersivos: Uma Proposta de Aplicação no Tratamento de Fobia de Altura”, In: *Proceedings of the 4 th SBC Symposium on Virtual Reality–SVR*, Brasil
- (JORDAN, 1998) JORDAN, P.W. , 1998, *An Introduction to Usability*. 1 ed., Taylor & Francis.
- (JUNIOR, 2003) JUNIOR, S. L., SILVA, J. C., 2003, “Processes of software reengineering planning supported by usability principles”. In: *Proceedings of the Latin American Conference on Human-Computer interaction - CLIHC '03*, vol. 46, pp. 223-226, ACM Press.
- (KRASNER, 1998) KRASNER, G. E., POPE, S. T., 1988, “A Cookbook for Using the Model-View Controller User Interface Paradigm in Smalltalk-80”. In: *Journal of Object-Oriented Programming*, pp. 26-49, volume 1, set.
- (LAUREL, 1990) LAUREL, B., 1990, *The Art of Human-Computer Interface Design*, 1 ed., USA, Addison-Welsley.
- (LEITE, 1999) LEITE, J. C.; DE SOUZA, C. S., 1999. “Uma Linguagem de Especificação para a Engenharia Semiótica de Interfaces de Usuário”. In: *II Workshop sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*, Campinas, Brasil, Oct.
- (LEITE, 2003) LEITE, Jair Cavalcanti, 2003, “Projeto de interfaces de usuário”. In: *notas de aula da disciplina Interação Humano-Computador e Projeto de Interfaces de Usuário*, Faculdade de Informática e Matemática Aplicada - UFRN.
- (LEWIS, 1994) LEWIS, C., RIEMAN, J., 1994, “Task-centered user interface design: a practical introduction”. In: [ftp://ftp.cs.colorado.edu/pub/ cs/distribs/clewis/HCI-Design-Book/](ftp://ftp.cs.colorado.edu/pub/cs/distribs/clewis/HCI-Design-Book/), University of Colorado, visited in jan, 2005.
- (LEWIS, 1997) LEWIS, C., WHARTON, C., 1997, “Cognitive walkthroughs”. In: M. Helander, T.K. Landauer, P. Prabhu (Eds.), *Handbook of human-computer interaction*, 2 ed., pp. 717-732, Elsevier Science.

- (MACKAY, 1991) MACKAY, W. E., 1991, "Triggers and Barriers to Customizing Software". In: *Conference on Human Factors in Computing Systems - SIGCHI'91*, pp. 153-160, USA.
- (MICROSOFT, 2005) MICROSOFT Corporation, 2005, *User Interface Design and Development*. In: <http://msdn.microsoft.com/library>, visited in Feb/2007.
- (NETO, 2000) NETO, S. M., MATIAS, M., SANTOS, N., 2000, "Uma ferramenta de apoio ao registro da interação humano-computador". In: *III Workshop sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais: Muitas Faces em Interfaces*, pp. 142-150, Gramado.
- (NIELSEN, 1994) NIELSEN, J., 1994, *Usability Engineering*, 1 ed., USA, Morgan Kaufmann.
- (NIELSEN, 2005) NIELSEN, J., 2005, *230 Tips and Tricks for a Better Usability Test*. In: <http://www.nngroup.com/reports/tips/usertest/testtipsforeword.html>, visited in May 2005.
- (NIELSEN, 2006) NIELSEN, J., 2006, *Ten usability heuristics*. In: http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html, visited in May, 2006.
- (OLIVEIRA JUNIOR, 2006) OLIVEIRA JUNIOR, E.R., 2006, *Ruby Conhecendo a Linguagem*, 1 ed., Rio de Janeiro, Brasil, Brasport.
- (OPENGL, 2006) OPENGL, 2006, *OPENGL: The Industry's Foundation for High Performance Graphics from games to virtual reality, mobile phones to supercomputers*. In: <http://www.opengl.org/>, visited in Dec 2006.
- (ORTH, 1993) ORTH, A. I., NUNES, D. J., 1993, "A Personalização das Interfaces Homem-Máquina uma Perspectiva Promissora". In: *SCIENTIA*, pp.75-84, Brasil.
- (PEIRCE, 1995) PEIRCE, C. S., 1995, *Collected Papers*, Cambridge: Harvard University Press, Tradução Brasileira: Semiótica, São Paulo, Perspectiva.
- (PETERS, 2000) Peters, G., 2000, "Theories of Three-Dimensional Object Perception - A Survey". In *Recent Research Developments in Pattern Recognition - Transworld Research Network*
- (PPMODELER, 2007) ppModeler, In: <http://www.ppmodeler.com>, visited in Jan 2007.
- (PRATES, 2007) PRATES, R. O., BARBOSA, S. D. J., 2007, "Introdução à Teoria e Prática da Interação Humano Computador fundamentada na Engenharia Semiótica". In: T. Kowaltowski e K. K. Breitman (Org.), *Jornada de Atualização em Informática do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*.
- (PREECE, 2002) PREECE, J., ROGERS, Y., SHARP, H., 2002, *Interaction Design*, London, John Wiley and Sons
- (PREIM, 2002) PREIM, B., TIETJEN, C., SPINDLER, W., PEITGEN, H., 2002, *Integration of Measurement Tools in Medical 3d Visualizations*. In *Proceedings of the conference on Visualization '02 (2002)*, pp 21-28.
- (PRESSMAN, 2006) PRESSMAN, R. S., 2006, *Engenharia de Software*, 1 ed., Brasil, McGraw-Hill Interame.
- (RASMUSSEN, 1986) RASMUSSEN, J., 1986, *Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering*, 1 ed., Elsevier Science Inc..

- (RIBEIRO, 1998) RIBEIRO, A. J., 1998, “Um estudo para a introdução de testes de usabilidade no desenvolvimento de sistemas de engenharia”. In: *SPG'98 - II Semana de Pós-Graduação em Ciência da Computação*, UFMG, Brasil.
- (ROCHA, 2003) ROCHA, H. V., BARANAUSKAS, M. C. C., 2003, *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*, 1 ed., NIED.
- (RUBY, 2006) RUBY, 2006, *Ruby home page*. In: <http://www.ruby.org>, visited in dec/2006.
- (SCAPIN, 1997) SCAPIN, D. L., BASTIEN, J. M. C., 1997, “Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems”. In: *Behaviour & Information Technology*, pp. 220-231, vol. 16, London.
- (SCHROEDER, 2001) SCHROEDER, W., MARTIN, K., 2001, *The VTK User's Guide*, Kitware Inc.
- (SHACKEL, 1991) SHACKEL, B., 1991, *Usability – context, framework, design and evaluation*, 1 ed., Cambridge University Press.
- (SHNEIDERMAN, 1998) SHNEIDERMAN, B., BYRD, D., CROFT W., 1998, “Sorting Out Searching: A User-Interface Framework for Text Searches”. In: *Communications of the ACM*, pp. 95-98.
- (SHNEIDERMAN, 2005) SHNEIDERMAN, B., 2005, *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 4 ed., Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company.
- (SUBRAMANIAN, 2000) SUBRAMANIAN, S., IJSSELSTEIJN, W.A., 2000, “A survey of spatial 3D object manipulation techniques”. In: *Proceedings of OZCHI 2000, Interfacing Reality in the New Millenium*, pp 330-337, França.
- (THOMAS, 2001) THOMAS, D., HUNT, A., 2001, *Programming Ruby: the pragmatic programmers guide*, 1 ed., USA, Addison-Wesley.
- (TITTLE, 1995) Tittle, J. S., Todd, J. T., 1995, “Perception of Three-Dimensional Structure”. In M. A. Arbib, editor, *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, MIT Press, pp 715–718
- (TORY, 2004) Tory, M., Moller, T., 2004, “Human Factors in Visualization Research”. In *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pp 72-84
- (VAN SOMEREN, 1994) VAN SOMEREN, M. W., BARNARD, Y. F., SANDBERG, J. A.C., 1994, *A practical guide to modelling cognitive processes*, Academic Press.
- (VELHO, 2002) VELHO, L., GOMES, J., FIGUEIREDO, L. H., 2002, *Implicit Objects in Computer Graphics.*, Springer Verlag, New York, USA.
- (VILLAGE GAMES, 2007) Village Games, Unlimited Drop, In: <http://www.moraldigames.com/developers.htm>, visited in May 2007.
- (WUTHRICH, 1999) WUTHRICH, C.A., 1999, "An Analysis and a Model of 3D Interaction Methods and Devices for Virtual Reality". In: *Proceedings of the Eurographics Workshop*, pp 18-29.

ANEXO I

Armazenamento de Cenários na FMI3D

Baseado no processo de *log* foi desenvolvido o formato para armazenamento e recuperação dos cenários. Os arquivos tem extensão “.3D” e são arquivos ASCII padrão. A abaixo ilustra o arquivo salvo que corresponde ao cenário da Sala, ilustrado na Figura 22.

```

1;[-0.183097, -0.16, 0.26];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.0196078, 0, 0, 1];30.0;*;0.02;0.01;20;20;
1;[-0.181146, -0.16, 0.35];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.0196078, 0, 0, 1];30.0;*;0.02;0.01;20;20;
1;[0.163173, -0.16, 0.35];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.0196078, 0, 0, 1];30.0;*;0.02;0.01;20;20;
1;[0.162478, -0.16, 0.26];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.0196078, 0, 0, 1];30.0;*;0.02;0.01;20;20;
1;[-0.16, -0.16, -0.4];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.972549, 1, 0.67451, 1];30.0;*;0.16;0.01;20;20;
1;[-0.16, -0.16, -0.3];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.972549, 1, 0.67451, 1];30.0;*;0.16;0.01;20;20;
1;[0.18973, -0.16, -0.3];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.972549, 1, 0.67451, 1];30.0;*;0.16;0.01;20;
3;[0.0101375, 0, -0.35];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.972549, 1, 0.67451, 1];30.0;*;0.01;0.41;0.14;#
1;[0.18, -0.16, -0.4];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.972549, 1, 0.67451, 1];30.0;*;0.16;0.01;20;20;
3;[0, -0.17, 0];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.615686, 0, 0, 1];30.0;*;0.01;0.6;0.6;#
3;[0, -0.17, -0.37];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.501961, 0.501961, 0, 1];30.0;*;0.01;0.81;0.14;#
3;[0, -0.17, 0.37];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.501961, 0.501961, 0, 1];30.0;*;0.01;0.81;0.14;#
3;[-0.35, -0.17, 0];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.501961, 0.501961, 0, 1];30.0;*;0.01;0.11;0.6;#
3;[0.35, -0.17, 0];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.501961, 0.501961, 0, 1];30.0;*;0.01;0.11;0.6;#
3;[0.4, 0.2, 0];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[1, 1, 1, 1];30.0;*;0.75;0.01;0.88;#
3;[0, 0.2, -0.45];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[1, 1, 1, 1];30.0;*;0.75;0.8;0.01;#
3;[0.39, 0.2, 0];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.545098, 0.741176, 1, 1];30.0;*;0.3;0.01;0.48;#
6;[0, 0, 0];[1, 1, 1, 1];[0, 0, 0, 1];[0.8, 0.8, 0.8, 1];30.0;*;[1, 1, 1];[0.945098, 1, 0.815686,

```

Para o armazenamento de um cenário a FMI3D utiliza a sintaxe exibida a seguir.

| Elemento | Valores e seus significados |
|----------|--|
| 1° | Tipo de informação armazenada: 1 (cilindro), 2 (esfera), 3 (cubo), 4 (cone) e 6 (cenário) |
| 2° | - vetor posição do objeto no cenário para Tipo 1, 2, 3 ou 4 - posição da câmera no cenário para Tipo 6 |
| 3° | - specular color |
| 4° | - emission color |
| 5° | - diffuse color |
| 6° | - shininess color |
| 7° | - separador “*” |
| 8° | - altura para Tipos 1 e 4 (cilindro e cone) - raio para Tipo 2 (esfera) - largura para Tipo 3 (cubo) - escala para Tipo 6 (cenário) |
| 9° | - raio para Tipos 1 e 4 - fatias para Tipo 2 - altura para Tipo 3 - cor de fundo para Tipo 6 |
| 10° | - fatias para Tipos 1 e 4 - pilhas para Tipo 2 - profundidade para Tipo 3 - orientação da câmera para Tipo 6 |
| 11° | - pilhas para Tipos 1 e 4 - zoom para Tipo 6 |
| 12° | - distância da câmera para Tipo 6 |
| 13° | - projeção para Tipo 6 |

Outra possibilidade para manipulação do cenário criado pela FMI3D é exportá-lo no formato XML. Esta opção foi desenvolvida após a elaboração da versão cooperativa da FMI3D e busca trazer maior portabilidade ao cenário gerado. Código abaixo ilustra o arquivo XML exportado de um cenário.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<FMI3D>
<IDENTIFICATION>
  <scene ID_SCENE="10" />
  <user ID_USER="1" />
</IDENTIFICATION>
<TYPE>list_objects_scene</TYPE>
<LISTING_OBJECTS_3D>
<LISTING_CUBES>
<CUBE>
  <identification ID_SCENE="10" ID_USER_ALTERS_OBJECT="1"
    ID_USER_CREATE_OBJECT="1" ID_OBJECT="127" />
  <information ID_TYPE_OBJECT="3" STATUS_OBJECT="free" DATE_ALTERS="2006-11-
    14" HOUR_ALTERS="12:57:33" DESCRIPTION="nil" />
  <position POSITION_X="-0.118059" POSITION_Y="0.113558" ROTATION="0.0"
    POSITION_Z="-0.0144735" />
  <fxmaterial EMISSION="[0, 0, 0, 1]" ID_FXMATERIAL="128" SPECULAR="[1, 1, 1,
    1]" DIFFUSE="[0, 1, 0, 1]" SHININESS="30.0" />
  <cube WIDTH_X="0.05" HEIGHT_Y="0.05" DEPTH_Z="0.05" />
</CUBE>
</LISTING_CUBES>
<LISTING_CYLINDERS>
<CYLINDER>
  <identification ID_SCENE="10" ID_USER_ALTERS_OBJECT="3"
    ID_USER_CREATE_OBJECT="1" ID_OBJECT="128" />
  <information ID_TYPE_OBJECT="1" STATUS_OBJECT="free" DATE_ALTERS="2006-11-
    14" HOUR_ALTERS="12:59:11" DESCRIPTION="nil" />
  <position POSITION_X="0.0467791" POSITION_Y="-0.0887003" ROTATION="0.0"
    POSITION_Z="0.00371389" />
  <fxmaterial EMISSION="[0, 0, 0, 1]" ID_FXMATERIAL="129" SPECULAR="[1, 1, 1,
    1]" DIFFUSE="[1, 0, 1, 1]" SHININESS="30.0" />
  <cylinder STACKS="20" RADIUS="0.05" HEIGHT="0.05" SLICES="20" LOOPS="4" />
</CYLINDER>
</LISTING_CYLINDERS>
</LISTING_OBJECTS_3D>
</FMI3D>

```

ANEXO II

Comparação Blender x 3DStudio – 1ª Etapa

Período de realização: dezembro de 2003

Quantidade de usuários: 8

Informações básicas:

Já havia utilizado o 3DS antes?

| | Não | Sim, já utilizei algumas vezes | Sim, faço uso freqüente | Sim, uso profissional |
|-----------|-----|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| usuário 1 | X | | | |
| usuário 2 | X | | | |
| usuário 3 | | X | | |
| usuário 4 | | | X | |
| usuário 5 | X | | | |
| usuário 6 | | | X | |
| usuário 7 | | | X | |
| usuário 8 | | | X | |

Quais são os aplicativos para modelagem e animação de objetos 3D que costuma utilizar? Anote o tempo que levou para executar cada passo da atividade e seu respectivo grau de dificuldade (fácil, médio, difícil). Exemplo: Passo1: 10 minutos, fácil

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|--|
| usuário 1 | Tempo total: 5 HORAS Dificuldade: MÉDIA-DIFÍCIL | Tempo total: 3 HORAS Dificuldade: MÉDIA |
| usuário 2 | Tempo total: 7 HORAS Dificuldade: DIFÍCIL | Tempo total: 4 HORAS Dificuldade: MÉDIA-DIFÍCIL |
| usuário 3 | Tempo total: 2 horas e 30 min. Dificuldade: MÉDIA | Tempo total: 1 HORA 20 min. Dificuldade: MÉDIA-FÁCIL |
| usuário 4 | Tempo total: 2 horas e 20 min. Dificuldade: MÉDIA-FÁCIL | Tempo total: 50 min. Dificuldade: FÁCIL |
| usuário 5 | Tempo total: 4 horas e 30 min. Dificuldade: DIFÍCIL | Tempo total: 3 horas e 30 min. Dificuldade: MÉDIA-DIFÍCIL |
| usuário 6 | Tempo total: 3 horas e 20 min. Dificuldade: MÉDIA | Tempo total: 35 min. Dificuldade: FÁCIL |
| usuário 7 | Tempo total: 2 horas e 20 min. Dificuldade: MÉDIA-FÁCIL | Tempo total: 50 min. Dificuldade: FÁCIL |
| usuário 8 | Tempo total: 2 horas e 15 min. Dificuldade: MÉDIA-FÁCIL | Tempo total: 1 HORA Dificuldade: FÁCIL |

Os itens seguintes deverão ser realizados após a conclusão da atividade

Descreva, de forma sucinta, sua avaliação de cada item da Organização da Interface Estilos de interação existentes (WYSIWYG, Linguagem de Comandos, Manipulação Direta, WIMP, Demonstracional, Icônico, Menus e Form fill-in)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|-----------------------------|---------------------|
| usuário 1 | Sem observações | Todos os conhecidos |
| usuário 2 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |
| usuário 3 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |
| usuário 4 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |
| usuário 5 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |
| usuário 6 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |
| usuário 7 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |
| usuário 8 | Falta Linguagem de Comandos | Todos os conhecidos |

Existência de customização de menus e ícones

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|------------|
| usuário 1 | Não verifiquei esta possibilidade | Sim |
| usuário 2 | Não tentei fazer nada deste gênero | Sim |
| usuário 3 | Pelo que eu li, existe a customização, mas não tentei fazer. | Sim |
| usuário 4 | Razoável. | Sim |
| usuário 5 | Li algo sobre isso, mas não tentei fazer | Sim |
| usuário 6 | Não pesquisei nada sobre isso. | Sim |
| usuário 7 | Pelo que eu li, tem alguma coisa. | Sim |
| usuário 8 | Não pesquisei ou tentei utilizar este item. | Sim |

Possibilidade de manipulação de Vistas (vistas simultâneas, limites de vistas possíveis, etc.)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|------------|
| usuário 1 | Como não conhecia outros aplicativos do gênero, achei legal. | Boa |
| usuário 2 | Muito legal | Boa |
| usuário 3 | Boa | Boa |
| usuário 4 | Eficiente. | Boa |
| usuário 5 | Muito boa. | Muito boa. |
| usuário 6 | Razoável. | Ótima |
| usuário 7 | Boa. | Muito Boa |
| usuário 8 | Boa. | Muito Boa |

Apresentação de inconsistências no diálogo

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|---|---------------------------------------|
| usuário 1 | Acho que está tudo OK. | OK |
| usuário 2 | Sempre consegui entender os diálogos (mesmo não entendendo tão bem as funcionalidades). | Tudo certo |
| usuário 3 | Não encontrei nenhuma inconsistência. | Não encontrei nenhuma inconsistência. |
| usuário 4 | Não encontrei este tipo de problema. | Não encontrei nada errado |
| usuário 5 | Acho que não | Bom |
| usuário 6 | Não encontrei nada. | Não encontrei nada. |
| usuário 7 | Sem inconsistência. | Sem inconsistência. |
| usuário 8 | Sem inconsistências. | Sem inconsistências. |

Possibilidade de recuperação de erros (undo, undo list,...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|------------|
| usuário 1 | Não | OK |
| usuário 2 | Não | Bom |
| usuário 3 | Não | Bom |
| usuário 4 | Não | Ótimo |
| usuário 5 | Não | Bom |
| usuário 6 | Não | Ótimo |
| usuário 7 | Tem como recuperar algo através do modo de edição, mas não consegui fazer. | Ótimo |
| usuário 8 | Não. Achei este item péssimo. | Ótimo |

Minimização da possibilidade de erros (menus de contexto, desabilitação de itens)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|----------------|------------|
| usuário 1 | Sim | Sim |
| usuário 2 | Sim | Sim |
| usuário 3 | Sim | Sim |
| usuário 4 | Sim | Sim |
| usuário 5 | Sim | Sim |
| usuário 6 | Sim | Sim |
| usuário 7 | Sim | Sim |
| usuário 8 | Sim | Sim |

Retroalimentação (as ações apresentam alterações visuais).

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|---|--|
| usuário 1 | Quase tudo que fiz obtive um retorno visual | OK |
| usuário 2 | Pelo que eu me lembro, sempre obtive resultados visuais do que era feito. | Sim |
| usuário 3 | Pelo que eu me lembro sim. | Sim |
| usuário 4 | Boa. | Sim e com bastante variedade de cores para destacar os tipos e ações |
| usuário 5 | Sim | Sim |
| usuário 6 | Boa | Sim |
| usuário 7 | Boa. | Sim |
| usuário 8 | Satisfatória. | Sim |

Minimização da necessidade de memorização (uso de menus e ícones ao invés de conjunto de teclas para acionar as funcionalidades)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|---|--|
| usuário 1 | Se não fosse o tutorial, ia ser difícil, pois as funcionalidades não estão tão claras. | Através dos menus posso realizar qualquer função |
| usuário 2 | Tem que decorar muita coisa! | Está tudo nos menus |
| usuário 3 | Usa muito o teclado para ativar as ações importantes. Para fazer sem o tutorial precisa guardar muitos comandos. | Normal |
| usuário 4 | Nas principais funcionalidades, faz muito uso de teclas de atalho, mas como estou acostumado a utilizar teclas de atalho no Flash, acho normal. | Facilita as operações através de teclas de atalho. |
| usuário 5 | Sem o tutorial eu não seria nada!! | Tudo através de menus |
| usuário 6 | Utiliza muito as teclas. | As teclas de atalho são somente um facilitador dos menus |
| usuário 7 | Usa teclas de atalhos para as principais funcionalidades. | Usa as teclas de atalho somente para facilitar os menus |
| usuário 8 | Assim como no Flash, utiliza bastante as teclas de atalho. Acho isso normal. | Agiliza as funções disponíveis em submenus |

Funções realizadas através de SELEÇÃO-AÇÃO ou AÇÃO-SELEÇÃO

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|----------------|--------------|
| usuário 1 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 2 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 3 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 4 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 5 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 6 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 7 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |
| usuário 8 | Seleção-Ação | Seleção-Ação |

Descreva, de forma sucinta, sua avaliação de cada item da Modelagem.**Facilidade na instanciação (criação) de sólidos e superfícies (existência de menus específicos, variedade de opções, ...)**

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|---|------------|
| usuário 1 | Seguindo o tutorial dá para fazer algo, mas não achei simples de encontrar como fazer os objetos. | Fácil |
| usuário 2 | Sem o tutorial eu não conseguiria fazer nada. | Simple |
| usuário 3 | Se não tivesse o tutorial, acho que estaria tentando até agora | Intuitivo |
| usuário 4 | Pouco interativo e intuitivo. | Simple |
| usuário 5 | Achei que seria mais fácil criar formas. | Normal |
| usuário 6 | Achei muito mais difícil que com o 3DS. | Fácil |
| usuário 7 | Muito menos intuitivo que no 3DS. | Fácil |
| usuário 8 | Bem menos intuitivo. | Intuitivo |

Agrupamento (recursos para o agrupamento e desagrupamento de objetos, alteração dos atributos de todos os objetos do conjunto,...).

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|----------------|------------|
| usuário 1 | Sim | Fácil |
| usuário 2 | Bom | Bom |
| usuário 3 | Achei bom | Fácil |
| usuário 4 | Bom. | Bom |
| usuário 5 | Fácil | Fácil |
| usuário 6 | Bom | Bom |
| usuário 7 | Bom. | Bom |
| usuário 8 | Bom. | Bom |

Transformações de rotação, translação, escala e cisalhamento (funções feitas através de menus e/ou manipulação direta do objeto, ...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|------------------|------------|
| usuário 1 | Sim | Bom |
| usuário 2 | Bom | Bom |
| usuário 3 | Também achei bom | Bom |
| usuário 4 | Bom. | Bom |
| usuário 5 | achei fácil. | Bom |
| usuário 6 | Bom | Bom |
| usuário 7 | Bom | Bom |
| usuário 8 | Bom. | Bom |

Atributos de material, cor, textura (alteração através de menus, atalhos do mouse,)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|------------|
| usuário 1 | Sim | Bom |
| usuário 2 | Bom | Bom |
| usuário 3 | achei interessante | Bom |
| usuário 4 | Menos recursos do que os outros aplicativos que conheço, mas são o suficiente para realizar um bom trabalho. | Muito bom |
| usuário 5 | Para o meu conhecimento está muito bom. | Bom |
| usuário 6 | Poderia Ter mais alguns recursos, mas está muito bom para uma ferramenta gratuita | Ótimo |
| usuário 7 | Não tenho muita experiência neste item, mas considero bons os recursos apresentados. | Bom |
| usuário 8 | Razoável. | Muito bom |

Descreva, de forma sucinta, sua avaliação de cada item sobre Visualização Manipulação de câmeras (inserção, alteração de posicionamento, vista da câmera, ...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|---------------------------------------|------------|
| usuário 1 | Aparentemente é bom | Bom |
| usuário 2 | Adorei utilizar este tipo de recurso. | Muito bom |
| usuário 3 | Muito bom | Bom |
| usuário 4 | Bom. | Bom |
| usuário 5 | Interessante | Bom |
| usuário 6 | Boa | Bom |
| usuário 7 | Boa. | Bom |
| usuário 8 | Boa. | Bom |

Parâmetros de renderização (renderização online, definição de atributos, ...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|---|
| usuário 1 | Meu conhecimento é pouco nesta área, mas parece bom. | Bom |
| usuário 2 | Como não tenho conhecimento sobre este tipo de software, achei muito legal | Parece ser mais completo que o do Blender |
| usuário 3 | Do pouco uso que já fiz deste tipo de recurso, achei interessante | Bom |
| usuário 4 | Bom. | Bom |
| usuário 5 | Achei meio complexo, mais utilizável | Quase igual ao do Blender |
| usuário 6 | Um pouco mais difícil que com o 3DS | Bom |
| usuário 7 | Mais difícil que no 3DS, mas mesmo assim tranquilo de se utilizar. | Completo |
| usuário 8 | Bom para quem conhece do assunto. | Com muitas opções |

Descreva, de forma sucinta, sua avaliação de cada item sobre Animação Manipulação da linha do tempo (visualização do controle temporal, controle de objetos e grupos para animação ou pré-apresentação, marcação de caminhos) Simulação da animação em tempo real (simulação através de arestas, de objetos renderizados,...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|-------------------------|
| usuário 1 | Pelo que eu vi em demonstrativos e verifiquei em outros tutoriais, o Blender apresenta bons recursos para animação. | Fácil como o do Blender |
| usuário 2 | Fica fácil fazer animação com estes recursos apresentados pelo software. | Também fácil |
| usuário 3 | Achei este recurso bem completo para o meu conhecimento. | Mais completo |
| usuário 4 | Não perde muito para outros aplicativos do gênero e apresenta as principais funcionalidades para a geração de animações. | Bom |
| usuário 5 | Bem fácil e intuitivo. | Fácil |
| usuário 6 | Fácil de fazer | Fácil |
| usuário 7 | Fácil de utilizar. | Muito bom |
| usuário 8 | Fácil de utilizar. | Fácil |

Descreva, de forma sucinta, sua avaliação de cada item sobre Documentação Documentação online: help contextual, manual, tutoriais (conteúdo suficiente para ajudar, erros de ortografia, ...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|--|--------------|
| usuário 1 | Se eu consegui entender, acredito que a maioria dos usuários também irá conseguir. | Muito bom |
| usuário 2 | Boa | Ótimo |
| usuário 3 | Boa | Bem completo |
| usuário 4 | Razoável. | Ótimo |
| usuário 5 | Razoável | Bom |
| usuário 6 | Ruim | Ótimo |
| usuário 7 | Fraca. | Muito bom |
| usuário 8 | Fraca | Bom |

Documentação offline: manual, tutoriais (conteúdo suficiente para ajudar, erros de ortografia, ...)

| | BLENDER | 3DS |
|-----------|---|------------|
| usuário 1 | Na internet tem muito coisa boa e o professor passou um material básico para nós. | Ótima |
| usuário 2 | Boa | Boa |
| usuário 3 | Boa | Boa |
| usuário 4 | Boa. | Ótima |
| usuário 5 | Boa. | Boa |
| usuário 6 | Boa | Ótima |
| usuário 7 | Boa. | Ótima |
| usuário 8 | Boa | Muito boa |

Questões conclusivas

| | BLENDER | | | 3DS | | |
|--------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| | Facilidade de uso | Comunicação visual | Funcionalidade geral | Facilidade de uso | Comunicação visual | Funcionalidade geral |
| usuário 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| usuário 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| usuário 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 |
| usuário 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| usuário 5 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| usuário 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| usuário 7 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| usuário 8 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Yalmar | 4 | 3 | 4 | | | |
| MÉDIA | 3,4 | 2,7 | 3,9 | 4,2 | 4,1 | 5,0 |

Observações gerais

| | |
|-----------|--|
| usuário 1 | Gostei de utilizar ambos os aplicativos. |
| usuário 2 | É importante vermos que existem formas diferentes de fazermos a mesma coisa. |
| usuário 3 | O 3DS é mais simples, mais o Blender é uma opção interessante. |
| usuário 4 | Fiquei surpreso com os recursos do Blender. |
| usuário 5 | O Blender é bem interessante Foi uma experiência gratificante, apesar das dificuldades encontradas. |
| usuário 6 | O 3DS é bem melhor de se utilizar. |
| usuário 7 | O 3DS é mais completo, mas o Blender é uma alternativa interessante. |
| usuário 8 | Apesar do 3DS ser mais completo, o Blender é uma boa opção e acho que conseguiria me adaptar bem ao seu uso. |

ANEXO III

Comparação Blender x 3DStudio - 2ª ETAPA

Período de realização: março de 2004

Quantidade de usuários: 10

| Já havia utilizado o software antes? | Blender | 3DS |
|--------------------------------------|---------|-----|
| Não | 10 | 02 |
| Sim, já utilizei algumas vezes | -- | 06 |
| Sim, faço uso freqüente | -- | 02 |
| Sim, uso profissional | -- | -- |

Quais são os aplicativos para modelagem e animação de objetos 3D que costuma utilizar?

| | | | |
|----------|----|-----------|----|
| 3DS | 08 | Flash | 08 |
| Maya | 02 | CorelDraw | 10 |
| Blender | 00 | Outros | 01 |
| Director | 04 | | |

Anote o tempo que levou para executar cada passo da atividade e seu respectivo grau de dificuldade (fácil, médio, difícil).

| BLENDER | | | | |
|--------------|--------------|----------------------|-----------|-----------|
| Passo | Tempo Médio | Nível de Dificuldade | | |
| | | Difícil | Médio | Fácil |
| Passo1 | 00:40 | 08 | 02 | 00 |
| Passo2 | 00:35 | 07 | 03 | 00 |
| Passo3 | 00:30 | 04 | 05 | 01 |
| Passo4 | 00:25 | 03 | 05 | 02 |
| Passo5 | 00:25 | 03 | 06 | 01 |
| Passo6 | 00:20 | 03 | 05 | 02 |
| Passo7 | 00:15 | 02 | 04 | 04 |
| TOTAL | 03:10 | -- | -- | -- |
| MÉDIA | 00:27 | 04 | 04 | 01 |
| 3DS | | | | |
| Passo | Tempo Médio | Nível de Dificuldade | | |
| | | Difícil | Médio | Fácil |
| Passo1 | 00:30 | 05 | 04 | 01 |
| Passo2 | 00:25 | 05 | 04 | 01 |
| Passo3 | 00:25 | 03 | 05 | 02 |
| Passo4 | 00:25 | 02 | 05 | 03 |
| Passo5 | 00:20 | 02 | 05 | 03 |
| Passo6 | 00:20 | 02 | 03 | 05 |
| Passo7 | 00:10 | 01 | 04 | 05 |
| TOTAL | 02:35 | -- | -- | -- |
| MÉDIA | 00:22 | 03 | 04 | 03 |

| VISUALIZAÇÃO | | |
|--|---------|-----|
| | Blender | 3DS |
| Manipulação de câmeras | | |
| Não verificado | 00 | 00 |
| Sim, somente inserção | 00 | 00 |
| Sim, alteração de posicionamento | 10 | 10 |
| Sim, vista da camera | 02 | 10 |
| Sim, configuração de parâmetros da câmera | 04 | 10 |
| Parâmetros de renderização | | |
| Não | 00 | 00 |
| Sim, renderização online | 10 | 10 |
| Sim, renderização dos objetos selecionados | 00 | 00 |
| Sim, definição de atributos | 10 | 10 |

| ORGANIZAÇÃO DA INTERFACE | | |
|---|----------------|------------|
| Estilos de interação existentes | Blender | 3DS |
| WYSIWYG | 08 | 08 |
| Linguagem de Comandos | 00 | 01 |
| Manipulação Direta | 10 | 10 |
| WIMP | 06 | 06 |
| Demonstracional | 00 | 05 |
| Icônico | 10 | 10 |
| Menus e Form fill-in | 10 | 10 |
| Outro | 00 | 00 |
| Existência de customização de menus e ícones | | |
| Não | 00 | 00 |
| Não verifiquei | 10 | 05 |
| Sim, de fácil utilização | 00 | 00 |
| Sim, mais é complicado utilização | 00 | 05 |
| Sim, mas não vejo utilidade nesse tipo de recurso | 00 | 00 |
| Possibilidade de manipulação de Vistas | | |
| Não | 00 | 00 |
| Sim, as vistas em exibição podem ser escolhidas pelo usuário | 05 | 10 |
| Sim, com vistas simultâneas | 10 | 10 |
| Sim, com limite de vistas possíveis | 00 | 05 |
| Apresentação de inconsistências no diálogo | | |
| Não detectado | 10 | 10 |
| Sim, na manipulação de funcionalidades do software | 00 | 00 |
| Sim, no help | 00 | 00 |
| Sim, nas mensagens de interação com o usuário | 00 | 00 |
| Possibilidade de recuperação de erros | | |
| Não verificado | 00 | 00 |
| Não disponível | 08 | 00 |
| Sim, mas somente da última ação | 02 | 00 |
| Sim, pode-se escolher dentre uma lista com as últimas ações | 00 | 10 |
| Minimização da possibilidade de erros | | |
| Não disponível | 00 | 00 |
| Sim, através de menus de contexto | 10 | 10 |
| Sim, através da desabilitação de itens de ícones | 08 | 10 |
| Sim, através da desabilitação de itens do menu | 08 | 10 |
| Sim, através de mensagens de bloqueio ao acesso ou de erro | 08 | 10 |
| Retroalimentação | | |
| Não | 00 | 00 |
| Somente as ações de modelagem | 08 | 01 |
| Sim | 02 | 09 |
| Mínimização da necessidade de memorização | | |
| Não | 00 | 00 |
| As principais funcionalidades dependem de memorização de teclas de atalho | 10 | 00 |
| Sim, através de teclas de atalho configuráveis | 00 | 02 |
| Sim, através de menus de contexto | 04 | 08 |
| Sim, através da desabilitação de itens de ícones | 04 | 08 |
| Funções realizadas através de SELEÇÃO-AÇÃO ou AÇÃO-SELEÇÃO | | |
| Seleção e Ação | 10 | 10 |
| Ação e Seleção | 00 | 00 |

| ANIMAÇÃO | | |
|--|----------------|------------|
| Manipulação da linha do tempo | Blender | 3DS |
| Marcação de Caminhos | 02 | 10 |
| Visualização do controle temporal | 08 | 10 |
| Controle de objetos e grupos para animação ou pré-apresentação | 00 | 02 |
| Simulação da animação em tempo real | | |
| Não existe simulação da animação | 00 | 00 |
| Simulação através de arestas | 00 | 02 |
| Simulação através de objetos renderizados | 00 | 00 |

| MODELAGEM | | |
|--|----------------|------------|
| Facilidade na instanciação (criação) de sólidos e superfícies | Blender | 3DS |
| Não verificado | 00 | 00 |
| Sim, através de menus de contexto | 02 | 10 |
| Sim, através de helps de contexto | 00 | |
| Sim, através de ícones apropriados | 08 | 10 |
| Sim, através de bibliotecas de objetos | 00 | 02 |
| Agrupamento | | |
| Não verificado | 00 | 00 |
| Não disponível | 00 | 00 |
| Sim, possibilita criar grupos | 10 | 10 |
| Sim, possibilita mudar atributos comuns aos membros do grupo | 01 | 10 |
| Transformações de rotação, translação, escala e cisalhamento | | |
| Não verificado | 00 | 00 |
| Sim, funcionalidades através de menus | 10 | 10 |
| Sim, funcionalidades através do mouse ou teclado | 10 | 10 |
| Sim, funcionalidades através de seleção do objeto | 04 | 10 |
| Atributos de material, cor, textura | | |
| Não | 00 | 00 |
| Sim, através de menus | 10 | 10 |
| Sim, através de atalhos do mouse | 00 | 10 |

| DOCUMENTAÇÃO | | |
|------------------------------|----------------|------------|
| | Blender | 3DS |
| Documentação online | | |
| Help contextual insuficiente | 08 | 03 |
| Help contextual suficiente | 02 | 07 |
| Manuais insuficientes | 02 | 00 |
| Manuais suficientes | 08 | 10 |
| Tutoriais insuficientes | 02 | 00 |
| Tutoriais suficientes | 08 | 10 |
| Documentação offline | | |
| Manuais insuficientes | 04 | 00 |
| Manuais suficientes | 06 | 10 |
| Tutoriais insuficientes | 06 | 02 |
| Tutoriais suficientes | 04 | 08 |

| QUESTÕES CONCLUSIVAS | | |
|------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | Blender | 3DS |
| Facilidade de uso | | |
| Difícil | 06 | 00 |
| Relativamente difícil | 03 | 01 |
| Média | 01 | 06 |
| Relativamente fácil | 00 | 03 |
| Fácil | 00 | 00 |
| VALOR MÉDIO | Difícil | Média |
| Comunicação visual | | |
| Obscura | 05 | 00 |
| Relativamente obscura | 04 | 00 |
| Boa | 01 | 02 |
| Relativamente clara | 00 | 03 |
| Clara | 00 | 05 |
| VALOR MÉDIO | Relativamente Obscura | Relativamente Clara |
| Funcionalidade geral | | |
| Não funcional | 00 | 00 |
| Pouco funcional | 08 | 00 |
| Funcional | 02 | 02 |
| Bem funcional | 00 | 04 |
| Altamente funcional | 00 | 04 |
| VALOR MÉDIO | Pouco Funcional | Bem Funcional |
| Acompanhamento da Atividade | | |
| Difícil | 09 | 00 |
| Normal | 01 | 02 |
| Fácil | 00 | 08 |
| VALOR MÉDIO | Difícil | Fácil |