

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Ricardo Melo Casseb do Carmo

MVC-RA: Múltiplas Visões Coordenadas em Ambientes
de Realidade Aumentada

Belém – Pará
20/08/2007



UFPA

*UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO*

MVC-RA: Múltiplas Visões Coordenadas em Ambientes
de Realidade Aumentada

Ricardo Melo Casseb do Carmo

Belém – Pará
20/08/2007

*UNI VERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO*

MVC-RA: Múltiplas Visões Coordenadas em Ambientes
de Realidade Aumentada

Trabalho apresentado no dia 20 de Agosto de 2007, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, cuja banca examinadora foi composta pelos seguintes membros:

Prof. Bianchi Serique Meiguins, Dr. (UFPA)
Orientador

Prof. Romero Tori, Dr. (USP)
Membro Externo

Prof. Manoel Ribeiro Filho, Dr. (UFPA)
Membro Interno

Prof. Eloi Luiz Fávero, Dr. (UFPA)
Membro Interno

Visto:

Prof. Eloi Luiz Fávero, Dr. (UFPA)

Coordenador do PPGCC – UFPA

Universidade Federal do Pará
Instituto de Ciências Exatas e Naturais
Programa de Pós-Graduação em
Ciência da Computação

Ricardo Melo Casseb do Carmo

MVC-RA: Múltiplas Visões Coordenadas em Ambientes
de Realidade Aumentada

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARÁ

Belém
20/08/2007

"Todo homem, por natureza, deseja o conhecimento".

Aristóteles (384-322 A.C.)

Dedico este trabalho aos meus pais Elzaman Casseb do Carmo e Marilda Melo Casseb do Carmo, e meus irmãos Alexandre e Sara Melo Casseb do Carmo, minha maior fonte de inspiração, estão sempre presentes ajudando a trilhar tantos caminhos e a tomar grandes decisões.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos irmãos da espiritualidade pela saúde, por me iluminarem, guiarem e por todo o apoio sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

Agradeço a minha família, meus pais Elzaman e Marilda Melo Casseb do Carmo, e aos meus irmãos Alexandre e Sara Melo Casseb do Carmo, pelo apoio, incentivo, torcendo, sempre presentes em todas as etapas da minha vida e principalmente nesta, amo muito todos vocês.

Agradecimento especial a um novo amigo, professor, e orientador Bianchi Serique Meiguins, por todo o apoio, ajuda, dedicação, puxões de orelha, pelas risadas, por todos momentos de descontração, pelos conselhos, e principalmente por confiar e acreditar em mim.

Aos grandes amigos César Siqueira, Reinaldo Brasil “Butchetcha” e Vagner de Brito “Pillot” companheiros de copo, festa, poker, dadinho, cartola_fc, faculdade, viagem, congresso, estágio, whisky, trabalho e companheiros de mestrado.

Agradeço o apoio dos amigos Sérgio Pinheiro (participação mais que especial no desenvolvimento deste trabalho, esse é “o cara”), Aruanda Simões (amiga, chefe e “teacher”), Paulo Igor (amigão “pigor”, o cara das idéias, da mente brilhante), Marcelo de Brito (o “JavaMan”, esse é “safo”), Leandro Almeida, Leonardo Almeida (Leo e Leonardo, os irmãos gêmeos exemplos de bom caráter) e Alexandre Ichihara (o remista com alma bicolor), grandes amigos, de todas as horas, com muitas histórias pra contar.

Agradeço a Coordenação e ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação da Ufpa.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram em um momento qualquer da minha formação acadêmica, moral e profissional.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO..... | ix |
| ABSTRACT | xi |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1. ORGANIZAÇÃO | 13 |
| 2. VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO..... | 14 |
| 2.1. DEFINIÇÃO..... | 14 |
| 2.2. VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO E O USO DO COMPUTADOR..... | 15 |
| 2.3. CARACTERÍSTICAS DE UMA BOA FERRAMENTA DE VI..... | 18 |
| 2.3.1. TIPOS DE DADOS VERSUS TIPOS DE VISUALIZAÇÃO | 19 |
| 2.3.2. REGRAS PARA UM BOM GRÁFICO DE VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO | 20 |
| 2.4. MÚLTIPLAS VISÕES COORDENADAS..... | 21 |
| 3. REALIDADE AUMENTADA..... | 24 |
| 3.1. REALIDADE VIRTUAL | 24 |
| 3.2. REALIDADE MISTURADA..... | 25 |
| 3.2.1. REALIDADE MISTURADA, VIRTUALIDADE AUMENTADA E REALIDADE AUMENTADA | 25 |
| 3.3. SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA..... | 27 |
| 3.3.1. DISPOSITIVOS DE APRESENTAÇÃO (DISPLAY)..... | 27 |
| 3.3.1.1. RETINAL DISPLAYS | 28 |
| 3.3.1.2. HEAD-MOUNTED DISPLAYS..... | 29 |
| 3.3.1.3. HEAD-MOUNTED PROJECTORS..... | 29 |
| 3.3.1.4. HAND-HELD DISPLAYS..... | 30 |
| 3.3.2. DISPOSITIVOS DE RASTREAMENTO (TRACKING)..... | 30 |
| 3.3.2.1. TECNOLOGIA ELETROMAGNÉTICA | 31 |
| 3.3.2.2. TECNOLOGIA ÓPTICA..... | 31 |
| 3.3.2.3. TECNOLOGIA MECÂNICA..... | 31 |
| 3.3.2.4. TECNOLOGIA INERCIAL | 32 |
| 3.3.2.5. TECNOLOGIA ACÚSTICA | 32 |
| 3.3.2.6. TECNOLOGIAS POR SATÉLITE | 32 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.3.2.7. | TECNOLOGIA HÍBRIDA..... | 32 |
| 3.3.3. | SISTEMAS GRÁFICOS..... | 32 |
| 3.3.3.1. | OPENGL (OPEN GRAPHICS LIBRARY)..... | 33 |
| 3.3.3.2. | JAVA 3D..... | 33 |
| 3.3.3.3. | VRML (VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE) | 33 |
| 3.3.4. | SISTEMAS DE MISTURA DE MUNDOS..... | 34 |
| 3.3.4.1. | ARTOOLKIT (AUGMENTED REALITY TOOLKIT)..... | 34 |
| 4. | TRABALHOS RELACIONADOS | 37 |
| 4.1. | FERRAMENTAS COM MÚLTIPLAS VISÕES COORDENAÇÃO | 37 |
| 4.1.1. | FERRAMENTAS COM ESQUEMA DE COORDENAÇÃO FLEXÍVEL ... | 37 |
| 4.1.2. | FERRAMENTAS COM ESQUEMA DE COORDENAÇÃO NÃO FLEXÍVEL..... | 38 |
| 4.2. | FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE VI EM 3D..... | 39 |
| 4.2.1. | THEMESCAPE..... | 39 |
| 4.2.2. | NETVIZ..... | 40 |
| 4.2.3. | HISTOGRAMA 3D | 40 |
| 4.2.4. | ESPAÇO HIPERBÓLICO 3D..... | 41 |
| 4.2.5. | ÁRVORES DE CONES..... | 42 |
| 4.2.6. | PERSPECTIVE WALL..... | 42 |
| 4.3. | TÉCNICAS DE VI EM RA..... | 43 |
| 5. | MVC-RA | 46 |
| 5.1. | DESCRIÇÃO | 46 |
| 5.2. | OBJETIVOS..... | 48 |
| 5.3. | ARQUITETURA | 49 |
| 5.4. | DIAGRAMAS | 52 |
| 5.4.1. | DIAGRAMA DE CASO DE USO | 52 |
| 5.4.2. | DIAGRAMA DE PACOTE..... | 52 |
| 5.4.3. | DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA | 54 |
| 5.5. | INTERFACE AUMENTADA | 60 |
| 5.5.1. | VISÕES COORDENADAS..... | 63 |
| 5.5.1.1. | CARACTERÍSTICAS..... | 63 |
| 5.5.1.2. | GRUPOS DE AÇÕES | 64 |
| 5.5.2. | FILTROS | 64 |

| | | |
|----------|--|----|
| 5.5.2.1. | FILTRO DISCRETO | 65 |
| 5.5.2.2. | FILTRO CONTÍNUO | 66 |
| 5.5.3. | CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE | 67 |
| 5.5.4. | ZOOM SEMÂNTICO | 69 |
| 5.5.5. | GRÁFICOS AUXILIARES..... | 69 |
| 5.5.6. | DETALHES SOB DEMANDA..... | 71 |
| 5.5.7. | AJUDA..... | 72 |
| 5.6. | ENSAIOS DE USABILIDADE E EXEMPLOS DE USO..... | 72 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS | 75 |
| 6.1. | TRABALHOS FUTUROS | 77 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Exemplo de Visualização de Informação..... | 15 |
| Figura 2.2 – Exemplo de Visualização Científica..... | 15 |
| Figure 2.3 - Uso de VI no controle da epidemia de cólera (SPENCE, 2001) | 16 |
| Figure 2.4 - O mapa de Minard para marcha de Napoleão a Moscou (SPENCE, 2001) | 16 |
| Figura 2.5 - Usuário não participa da concepção da visualização da informação..... | 18 |
| Figura 2.6 - Usuário participa da concepção da visualização da informação | 18 |
| Figura 3.1 - Exemplo da Realidade Misturada Contínua de Milgram (HUGHES, 2005) | 25 |
| Figura 3.2 - Realidade Aumentada: Registro, rastreamento e sistema gráfico | 26 |
| Figura 3.3 - Geração de imagens em displays de RA (BIMBER e RASKAR, 2005).... | 28 |
| Figura 3.4 - (a) Conceito simplificado de um Head-Mounted Projector; (b) e (c) Exemplos de protótipos de Head-Mounted Projectors (BIMBER e RASKAR, 2005)..... | 29 |
| Figura 3.5 - (a) Aplicação de RA rodando em um Pocket PC; (b) Um protótipo de RA rodando em um telefone celular comercial (BIMBER e RASKAR, 2005) | 30 |
| Figura 3.6 - Passos Básicos da Execução do ARToolkit (MEIGUINS, 2006)..... | 35 |
| Figura 4.1 – SnapTogether | 37 |
| Figura 4.2 – Improve | 38 |
| Figura 4.3 – Xmdv http://davis.wpi.edu/%7Exmdv/ | 38 |
| Figura 4.4 - DEVise..... | 39 |
| Figura 4.5 – Aplicação ThemeScope | 40 |
| Figura 4.6 - Uma representação de rede de dados em 3D (FURUHATA, 2004)..... | 40 |
| Figura 4.7 - Operação de seleção de dados em um histograma tridimensional no SAGE http://www.cs.cmu.edu/Groups/sage/sage.html (SPENCE, 2001) | 41 |
| Figura 4.8 - Visualização de tráfego no backbone da NSFNET (CHEN, 1999)..... | 41 |
| Figura 4.9 – Espaço hiperbólico em três dimensões | 41 |
| Figura 4.10 – Busca utilizando árvore de cones | 42 |
| Figura 4.11 – Aplicação que utiliza Perspective Wall | 42 |
| Figura 4.12 – Meta3D++, (a)(b) Face de Chernoff e (c)(d) Coordenadas Paralelas.... | 43 |
| Figura 4.13 – Visualização de Dados Baseado em Marcadores..... | 44 |
| Figura 4.14 - Representação de dados baseados em grafos..... | 44 |
| Figura 4.15 - Visualização de informações em ambiente de realidade aumentada | 45 |
| Figura 5.1 - Gráfico dispersão 3D (http://www.statsoft.com/textbook/gloss.html) | 47 |
| Figura 5.2 - Exemplos de representações gráficas(NASCIMENTO, 2005) | 48 |
| Figura 5.3 - Exemplos propriedades gráficas dos itens de visualização (NASCIMENTO, 2005)..... | 48 |
| Figura 5.4 – Arquitetura da ferramenta MVC-RA | 50 |
| Figura 5.5 – Diagrama de Caso de Uso do Programa | 52 |
| Figura 5.6 – Diagrama de Pacotes | 53 |
| Figura 5.7 – Diagrama de Sequência para a criação de uma nova visão dos dados.... | 55 |
| Figura 5.8 – (a)Diagrama de Sequência de configuração do ambiente e (b) diagrama de Sequência das ações de filtragem de itens. | 57 |
| Figura 5.9 – Diagrama de Sequência da ação de seleção de itens..... | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.10 – (a)Diagrama de Sequência de execução da tarefa Zoom nas visões e (b) Diagrama de Sequência para visualização de gráficos estatísticos auxiliares..... | 59 |
| Figura 5.11 - Exemplo do MVC-RA em tempo de execução..... | 61 |
| Figura 5.12 - Conjunto de cartões marcadores agrupados por funcionalidade..... | 62 |
| Figura 5.13 - Objeto virtual fixado em cena | 63 |
| Figura 5.14 - Representação aumentada do filtro para atributos discretos | 65 |
| Figura 5.15 - Filtrando objetos pela cor | 66 |
| Figura 5.16 - Representação aumentada do filtro para atributos contínuos..... | 67 |
| Figura 5.17 - Alterando o atributo configurado para Cor nas visões..... | 68 |
| Figura 5.18 - Exemplo de Zoom Semântico | 69 |
| Figura 5.19 - Gráfico de Pizza auxiliando análise..... | 70 |
| Figura 5.20 - Exemplo do gráfico Histograma | 70 |
| Figura 5.21 - Detalhes sob demanda no ambiente aumentado | 71 |
| Figure 5.21 - Taxa de exatidão nas respostas dos usuários | 74 |
| Figure 5.22 - Tempo de execução das tarefas | 74 |

Lista de Publicações

PINHEIRO, S.C., Meiguins, B. S., Gonçalves, A. S., Carmo, R.M.C., and Hernandez, L. A. MVC-RA Múltiplas Visualizações de Informação Aumentadas e Coordenadas. San José-Costa Rica. CLEIXXXIII Conferência Latinoamericana de Informática 2007.

CARMO, R.M.C., Meiguins, B. S., Gonçalves, A. S., Pinheiro, S.C., Godinho, I. P. and Hernandez, L. A. Coordinated and Multiple Views in Augmented Reality Environment. London United Kingdom: IV07 Information Visualization 2007.

CARMO, R.M.C., Meiguins, B. S., Gonçalves, A. S., Godinho, I. P., and Garcia, M. B. Using Augmented Reality for Multidimensional Data Visualization. London United Kingdom: IV06 Information Visualization 2006. p. 529-534

CARMO, R.M.C., Meiguins, B. S., Gonçalves, A. S., Oliveira, C. S., Pinheiro, S. C. and Hernandez, L. A. Multidimensional Information Visualization Using Augmented Reality. Belém Brazil: SVR2006 VIII Symposium on Virtual Reality 2006. p.121-132

RESUMO

A proposta desta dissertação versa sobre aplicar as características de um ambiente de realidade aumentada, tais como: interação fácil e intuitiva, e grande espaço para visualização de dados, na implementação, interação e visualização de múltiplas visões de dados coordenadas. As múltiplas visões de dados permitem que o usuário realize uma melhor análise dos dados sobre diferentes aspectos, e a coordenação entre as múltiplas visões tem o objetivo de diminuir a sobrecarga cognitiva conferida ao usuário. O ambiente aumentado foi concebido através do ARToolKit, a interação se dá através de uma interface baseada em cartões marcadores. A técnica implementada foi Dispersão de Dados 3D, acompanhada de uma diversidade de filtros e configurações para as visões de dados. Por fim, são apresentados alguns ensaios de usabilidade preliminares do protótipo desenvolvido.

ABSTRACT

This work aims to apply the characteristics of an augmented reality environment such as easy and intuitive interaction and large visualization space to the implementation, interaction and visualization of multiple coordinated data views. Multiple data views provide the user a better data analysis on different aspects. The coordination among multiple views reduces the cognitive overload for the user. The augmented environment was based on ARToolKit. The interaction is based on a interface with markers. The adopted visualization technique was the 3D scatterplot together with a variety of filter and view configuration options. Finally, some preliminary usability essays for the developed prototype are presented.

1. INTRODUÇÃO

Na atual era da Sociedade da Informação, caracterizada por sociedades que têm suas economias alicerçadas na informação, comunicação, telecomunicação e tecnologias da informação, há uma necessidade constante do indivíduo de coletar, armazenar e contextualizar esses dados, transformando-os em informações, que posteriormente trabalhadas por indivíduo(s) especialista(s) possa(m) gerar conhecimento(s) estratégico(s) para obtenção de um diferencial competitivo.

Muito se tem evoluído, em termos de hardware e software, para coletar e armazenar dados, tanto que é comum, hoje em dia, se falar terabytes de dados. Contudo, ferramentas que auxiliem a transformação de dados em informações estão em constante desenvolvimento, por se tratar de uma área recente, tais como ferramentas de geração de relatórios gerenciais, mineração de dados, visualização de informação, entre outras. As ferramentas de visualização de informações destacam-se nesse processo por permitir ao indivíduo trabalhar os dados de forma visual e interativa, utilizando uma ou mais técnicas de visualização, melhorando sua percepção e tempo de aprendizado sobre dados e seus relacionamentos (SPENCE, 2001) (FAYYAD, 2002).

Nesse contexto, um ambiente de Realidade Aumentada, que se caracteriza pelo enriquecimento do mundo real com texto, imagens, sons e objetos virtuais gerados por computador, se apresenta como opção tecnológica de fácil interação, com grande apelo visual e grande espaço para apresentação de dados, o que o torna um bom ambiente para implementação de técnicas de visualização de informações.

Assim, esta dissertação tem o objetivo mais amplo de debater sobre a potencialidade e a viabilidade do uso de ambientes de realidade aumentada na concepção de ferramentas de visualização de informações com visões coordenadas. E mais especificamente se é possível com ambientes de realidade aumentada tornar as ferramentas de visualização de informações mais intuitivas de usar, minimizar as limitações de hardware para apresentação de dados e potencializar o aspecto colaborativo entre os usuários. Como estudo de caso, desenvolveu-se um protótipo que utiliza múltiplas visões de dados coordenadas em um ambiente de realidade aumentada. O protótipo segue as recomendações para o desenvolvimento de uma boa ferramenta de visualização de informação e coordenação

entre as visões de dados. A técnica de dispersão de dados 3D foi desenvolvida para representar as múltiplas visões de dados multidimensionais, e uma versão modificada do ARToolKit foi utilizada para a criação do ambiente de realidade aumentada, apoiadas pela linguagem C/C++ e OpenGL. Por fim, são apresentados alguns ensaios de usabilidade preliminares do protótipo desenvolvido.

A seguir será comentada a organização desta dissertação.

1.1. ORGANIZAÇÃO

O texto da dissertação está organizado na forma que segue:

No Capítulo 2, são apresentados conceitos sobre visualização de informação e coordenação em múltiplas visões de dados. Nele, são feitas explanações sobre definições e termos relacionados à área. É apresentada uma visão geral das principais recomendações para uma boa ferramenta de visualização de informação com múltiplas visões coordenadas.

No Capítulo 3 são apresentados conceitos sobre Realidade Aumentada. Serão feitas correlações com Realidade Virtual e o porquê da escolha de RA para implementar ferramentas de visualização de informação.

No Capítulo 4, é apresentada a descrição do protótipo MVC-RA (Múltiplas Visões Coordenadas em Realidade Aumentada), abrangendo as principais características, aspectos de modelagem do protótipo, tecnologias utilizadas, exemplos de uso e ensaios de usabilidade.

No Capítulo 5, serão apresentadas as considerações finais obtidas com desenvolvimento do projeto e a utilização pelos usuários, bem como o elenco de trabalhos futuros dele originado.

2. VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO

Neste capítulo serão abordados os principais aspectos relacionados à utilização de Visualização de Informação, recomendações para uma boa ferramenta de visualização de informação e seu uso no contexto de múltiplas visões coordenadas em particular.

2.1. DEFINIÇÃO

A visualização de informação (VI) (às vezes chamada de visualização de negócios, ou simplesmente visualização) procura transformar dados abstratos em uma representação visual prontamente compreendida pelo usuário, que poderá então gerar um novo conhecimento a respeito do relacionamento existente entre os dados (SPENCE, 2001). Pode ser usada para tarefas como identificação, correlação multivariada, procura, consulta, exploração e comunicação. Os dados são tipicamente quantitativos ou categorizados, mas também podem incluir: texto não estruturado, tipos de mídias diferentes e objetos estruturados (SPENCE, 2001) (CARD, 1999) (Figura 2.1).

Há um campo relacionado, e algumas vezes sobreposto, à visualização de informação, chamado “visualização científica”. A visualização científica se preocupa em representar visualmente uma simulação tridimensional de “algo” físico real, por exemplo, nuvens fluindo através de uma cadeia de montanhas, dada certa condição do vento (SPENCE, 2001) (Figura 2.2). Este texto não trata de visualização científica, entretanto muitas das técnicas que serão apresentadas são pertinentes às duas áreas.

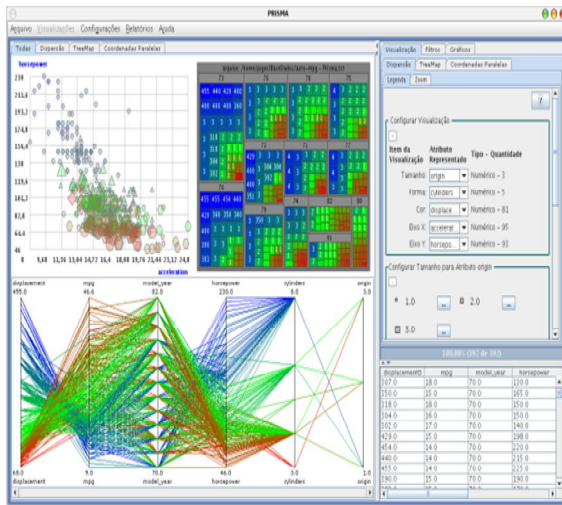


Figura 2.1 - Exemplo de Visualização de Informação

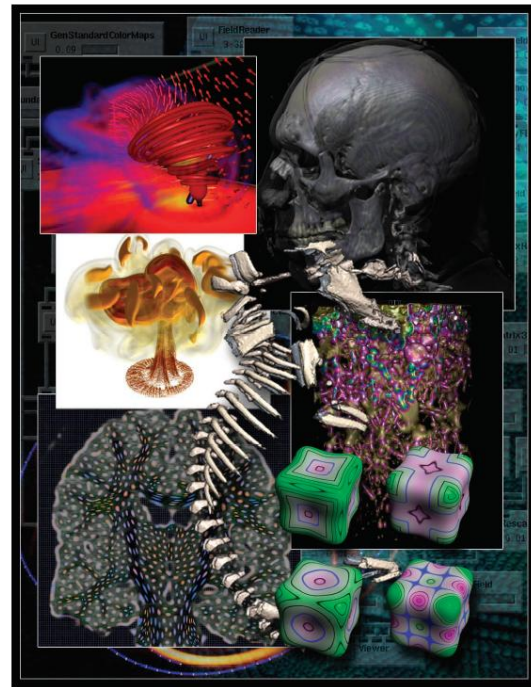


Figura 2.2 – Exemplo de Visualização Científica

2.2. VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO E O USO DO COMPUTADOR

Mesmo antes do advento da computação, existiam casos onde já se utilizavam técnicas de visualização de informação para descobrir algum relacionamento implícito entre os dados. Uma das primeiras ocorrências do uso destes artifícios visuais, e também uma das mais famosas, ocorreu por volta de 1845 quando o Dr. John Snow, procurando combater um violento surto de cólera em um bairro de Londres, utilizou os dados coletados sobre a incidência da doença e criou um mapa do bairro (Figura 2.3) destacando com um “.”(ponto) os locais onde foram registradas as mortes pela doença e com um “x” para onde se situavam as bombas de água.

Com a criação do mapa, o Dr John Snow observou que a maioria das mortes se concentrava ao redor da bomba da Rua Broad. O desligamento daquela bomba foi seguido por uma diminuição no número de mortes por cólera.

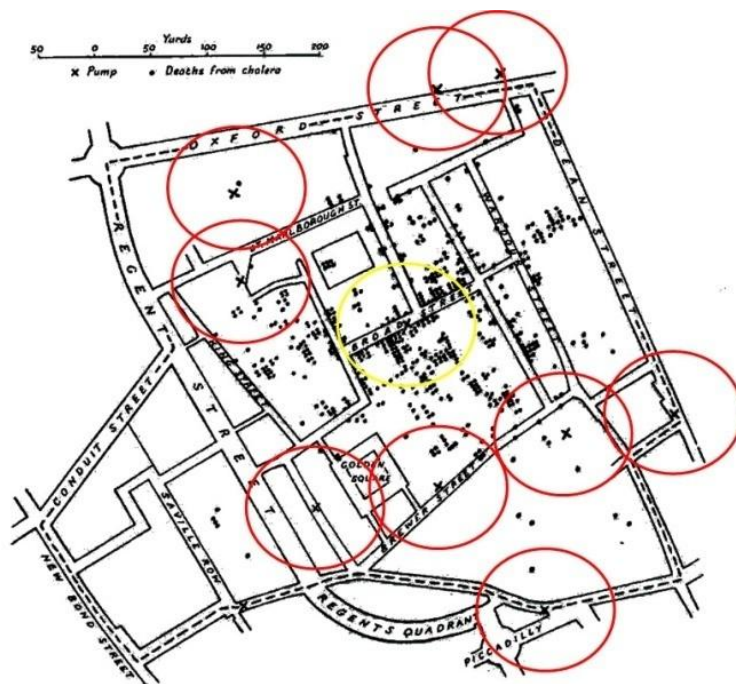


Figure 2.3 - Uso de VI no controle da epidemia de cólera (SPENCE, 2001)

Outro exemplo é o mapa feito por Monsieur Minard (Figura 2.4) da famosa marcha de Napoleão para Moscou, e a retirada do exército francês de lá. Minard utilizou a espessura da linha para representar a quantidade de soldados, e a cor para sentido da marcha, marrom marcando para Moscou e preto marchando de Moscou. É possível perceber de imediato a quantidade de soldados que sobreviveram na volta. Além disso, informações geográficas e de temperatura explicam parcialmente porque tais perdas aconteceram

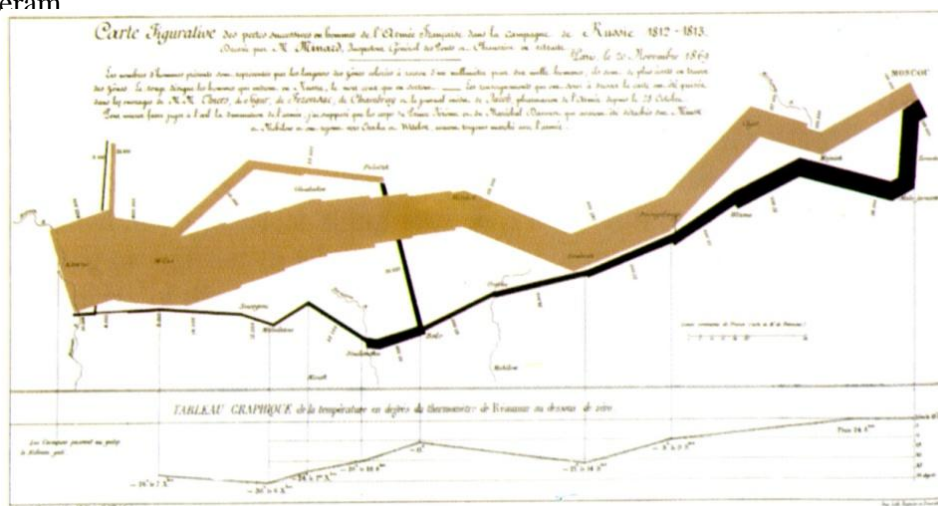


Figure 2.4 - O mapa de Minard para marcha de Napoleão a Moscou (SPENCE, 2001)

Embora nenhum computador estivesse envolvido nos exemplos anteriores, a simplicidade das ilustrações nos permite não obstante identificar assuntos importantes associados à visualização de informação, assuntos que são mais pertinentes quando o poder do computador está disponível. São eles:

- Seleção: possibilidade de selecionar dados pertinentes ao desenvolvimento de uma determinada tarefa.
- Representação: Apresentação de dados abstratos, utilizando cores, formas, direções entre outros.
- Apresentação: é a forma de disposição dos dados ao usuário, isso se torna mais complexo se os recursos forem escassos como em celulares, handhelds, etc.
- Escala e Dimensionalidade: Auxilia a visualização e a percepção do usuário, principalmente quando existe uma grande quantidade de dados sendo apresentada.
- Rearranjo, interação e exploração: Uma nova visão sobre os mesmos dados com o objetivo de gerar uma nova percepção sobre os mesmos. Quanto melhor o conhecimento sobre os dados e seus relacionamentos, melhor será a tomada de decisão.

Outra mudança que se deve destacar com o uso do computador em visualização de informação se encontra em relação à interação do usuário. Antes do advento do computador em visualização de informação, o autor da visão dos dados realizava a seleção, representação e apresentação dos dados de acordo com a sua compreensão da tarefa a ser executada, deixando o usuário limitado à visão do autor (Figura 2.5). A disponibilidade de computadores com alto poder de processamento possibilita maior intervenção do usuário em todas as etapas do processo de visualização (Figura 2.6), com uma liberdade definida pelo autor da visualização (SPENCE, 2001).

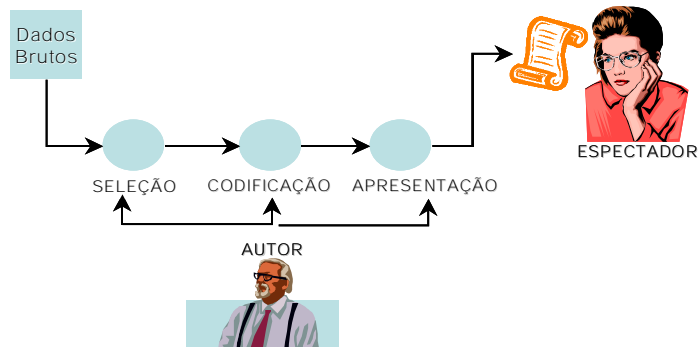


Figura 2.5 - Usuário não participa da concepção da visualização da informação

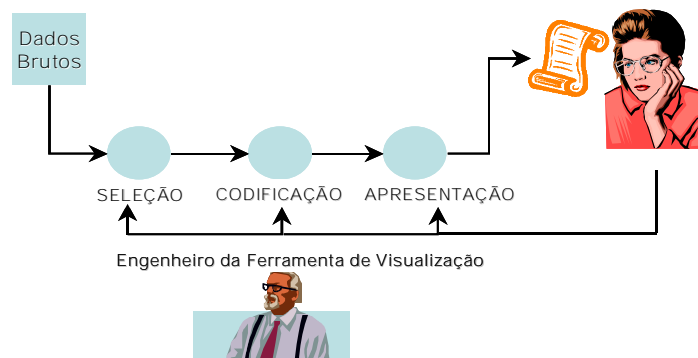


Figura 2.6 - Usuário participa da concepção da visualização da informação

2.3. CARACTERÍSTICAS DE UMA BOA FERRAMENTA DE VI

De acordo com Carr (1998) uma ferramenta de visualização de informação deve permitir aos usuários realizarem as seguintes tarefas:

- **Visão geral:** O usuário precisa ganhar uma noção sobre todos os dados que serão analisados. Essa noção está baseada nos parâmetros que o usuário escolheu para a visualização, nos limites do dispositivo gráfico usado e de sua percepção. A maioria dos atributos gráficos é: posição, cor, tipo de representação e tamanho.
- **Zoom:** Permite focar em certo subconjunto dos dados para enfatizar a análise, ou seja, analisar um determinado contexto com maior precisão. Numa vertente desta funcionalidade, conforme se aplica o zoom, mais detalhes são mostrados sobre uma determinada visão dos dados, o que se chama de zoom semântico.

- Filtro: Possibilidade de o usuário reduzir o tamanho do conjunto de dados que esta sendo analisado, eliminando itens baseados em seus atributos. Uma das maneiras mais eficientes é o uso de consultas dinâmicas.
- Detalhes sob demanda: Disponibilização de informações e detalhes implícitos sobre um item em particular. Isto é normalmente feito de forma simples e direta, usando o clique do mouse, por exemplo, onde as informações adicionais podem aparecer em uma janela auxiliar, ou na própria visão dos dados (visualização).

Adicionalmente, podem-se incluir mais duas características (SPENCE, 2001):

- Relacionamentos: Se o usuário descobre um item de interesse, ele pode precisar saber sobre outros itens com atributos similares, a ferramenta então poderia apontar esses itens similares.
- Histórico: O suporte ao usuário para desfazer uma ação, mostrar os passos até aquele ponto, etc.

2.3.1. TIPOS DE DADOS VERSUS TIPOS DE VISUALIZAÇÃO

É natural pensar que um ambiente tridimensional seja um ambiente melhor para a representação de dados. Contudo, nem sempre três dimensões são necessariamente melhor do que duas dimensões para visualização de dados. Um dos critérios para essa escolha é o tipo de dado que se quer visualizar. De acordo com Shneiderman (SHNEIDERMAN, 1996), há sete tipos diferentes de dados que descrevem diferentes tipos de visualizações. São eles:

- 1-Dimensão: Este tipo de dado é representado por texto ou dados similares, como linhas de código. Pode haver outras informações associadas a ele, como data da criação, tamanho, data da última modificação, etc. Uma técnica bastante associada a esse tipo de dado é o uso de linhas com cores e larguras variadas, representando outros atributos.
- 2-Dimensões: Este tipo de dado inclui dados geográficos, plantas de engenharia, etc. Pode-se associar uma grande quantidade de atributos com uso de cores, tamanhos e formas diferentes.
- 3-Dimensões: Aqui o volume de um objeto torna-se importante, um atributo a mais. Se o contexto do mundo real puder ser incluído para melhorar a percepção

do usuário é mais indicado ainda. Não se deve deixar de mencionar problemas inerentes a uma visualização 3D, como a oclusão, quando parte de um dado esconde outro. Para isso, técnicas de visões diferenciadas, transparência e *slicing* são necessárias.

- Temporal: Este tipo de dado reúne todas as características dos dados citados acima mais o atributo tempo. Para o atributo tempo o mais indicado é formar uma dimensão. Os gráficos “tempo versus algum atributo” são bastante utilizados e conhecidos. A animação deve ser considerada quando há uma grande quantidade de dados.
- Multidimensional: Base de dados relacional ou estatística pode ser considerada como pontos em um espaço multidimensional. Técnicas como consultas dinâmicas e diagramas de dispersão são bastante úteis.
- Hierárquico: Muito útil para classificação de dados. Normalmente é representado por diagramas com nós, com ligações entre os mesmos.
- Rede: Dados de rede são nós conectados por links previamente definidos. Esses links podem ser organizados em árvores ou em hierarquias, e a melhor maneira de manipulação é permitindo mudar o foco sobre os nós.

2.3.2. REGRAS PARA UM BOM GRÁFICO DE VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO

Segundo Brath (BRATH, 1999), um gráfico de informação efetiva deve ter as seguintes metas:

- Induzir o espectador a pensar no que é mais importante.
- Apresentar muitos números em um pequeno espaço.
- Fazer com que grande quantidade de dados se torne coerente.
- Encorajar comparações de diferentes pedaços de dados.
- Revelar dados a vários níveis de detalhe.

Para alcançar estas metas recomendam-se os seguintes princípios:

- Mostrar os dados.
- Maximizar a relação dos dados (remover informações de dados redundantes, e/ou de pouco relevância).

- Evitar percepção de “lixos”, informações sem alguma relevância pro usuário.
- Utilizar elementos multifuncionais (por exemplo, rótulos e linhas de grade deveriam ser dependentes de dados).
- Maximizar os dados mostrados (mostrar mais dados).
- Aumentar a densidade de dados encolhendo a área usada para o gráfico.
- Usar múltiplos exemplos de gráficos para facilitar comparações visuais.
- Usar palavras, números e gráficos juntos.
- Fornecer uma qualidade narrativa.
- Usar as palavras por completo com orientação padrão.
- Evitar as legendas colocando rótulos diretamente no gráfico.
- Usar cores cuidadosamente (realçar a informação mais importante e separar classes diferentes, e também, evitar combinações de cores similares).
- Separar as classes diferentes de informação em camadas (planos diferentes com destaques diferentes).

2.4. MÚLTIPLAS VISÕES COORDENADAS

Sistemas de múltiplas visões usam duas ou mais representações visuais distintas para auxiliar o processo de investigação de uma única entidade conceitual (BALDONADO, 2000). Uma visão é considerada distinta das outras se permitir ao usuário aprender sobre diferentes aspectos da entidade conceitual, ou pela apresentação de informações diferentes, ou enfatizando diferentes aspectos da mesma informação, por exemplo, utilizando representações diferentes ou técnicas de visualização diferentes.

De acordo com North and Shneiderman (2000) e Baldonado (2000), o uso de sistemas de múltiplas visões coordenadas apresenta algumas vantagens na análise, entre elas destacam-se: melhora do desempenho do usuário na percepção dos dados, facilita a descoberta de relacionamentos não triviais entre os dados, minimiza o overhead cognitivo de uma única visão ou de uma visão mais complexa, entre outras.

Os sistemas de visualização de informação que utilizam múltiplas visões coordenadas podem ser classificados por níveis de flexibilidade em relação aos dados, visões e coordenação.

- Dados: Usuários podem utilizar diferentes conjunto de dados em suas visualizações.
- Visões: Usuários podem escolher diferentes conjuntos de visualização para determinado conjunto de dados.
- Coordenação: Usuário poderá escolher diferentes tipos de coordenação entre pares de visões para auxiliar sua necessidade de exploração dos relacionamentos entre os dados.

Para o desenvolvimento de sistemas de visualização de informação com múltiplas visões coordenadas, as recomendações mais freqüentes de uso são (BALDONADO, 2004):

- Quando há uma diversidade de atributos, modelos, perfis de usuário, níveis de abstração ou gênero.
- Quando as visões diferentes destacam correlações ou disparidades.
- Quando há necessidade de diminuir a complexidade do conjunto de dados, utilizando múltiplas visões mais simples.
- Usar múltiplas visões minimamente, justificar o uso de múltiplas visões versus custo de aprendizado do usuário e espaço de visualização.

Pillat (PILLAT, 2005) destaca como principais possibilidades de coordenação de múltiplas visões:

- Seleção: Itens de dados selecionados em uma visão são destacados em outras visões.
- Filtro: Reduzir o conjunto de dados para análise em todas as visões.
- Cor, Transparência e Tamanho: Características visuais para representar a variação de valores de um dado atributo dos dados em todas as visões.
- Ordenação: Valores de um atributo definem a ordem das representações visuais dos dados.
- Rótulo: Determina que conteúdo os rótulos exibirão para cada item de dados das visões.
- Manipulação de Atributos: Permite ao usuário adicionar / remover atributos das visões de dados.

Dado o contexto de múltiplas visões coordenadas, destacam-se os principais desafios no desenvolvimento de sistemas de múltiplas visões coordenadas:

- Os mecanismos de coordenação.
- Requisitos computacionais para renderização das visões.
- Disposição da interface – layout, com espaço normalmente muito reduzido para novas visões.
- Interação do usuário entre as diversas formas de visualização.
- Aspectos cognitivos relacionados ao uso de sistemas de múltiplas visões coordenadas:
 - Tempo e esforço necessário para o aprendizado do sistema.
 - Sobrecarga de informações na memória de trabalho do usuário.
 - Esforço necessário para comparação.
 - Esforço necessário para troca de contexto.

3. REALIDADE AUMENTADA

Neste capítulo serão abordados os principais aspectos relacionados à Realidade Aumentada, seu relacionamento com a Realidade Virtual e suas principais características.

3.1. REALIDADE VIRTUAL

Existem diversas definições para a Realidade Virtual (RV). Isso se explica devido sua própria natureza interdisciplinar além do corrente processo de consolidação da área. Alguns autores definem RV como uma técnica avançada de interface, que implica num ambiente interativo, tridimensional, completamente sintético gerado por computador no qual um indivíduo é imerso (VALLINO, 2002).

A imersão trata do grau de sensação do indivíduo dentro do ambiente. Nessa realidade virtual os sentidos humanos da visão, audição, tato, etc., são incitados por estímulos gerados por computador, sendo a visão o sentido de maior influência na percepção do mundo, logo o mais explorado, seguido da audição e do tato.

A interatividade em sistemas de RV pode ser entendida como a capacidade do sistema de reagir às ações do usuário, modificando o ambiente (STEUR, 1998).

A convergência de tecnologias que possibilitou a RV ocorreu a partir da metade para o final dos anos 80. Avanços no desenvolvimento da arquitetura dos processadores tornaram sistemas de alta performance mais viáveis. Surgiram novos dispositivos de exibição mais acessíveis, leves e com melhores resoluções. As tecnologias de detecção de movimentos e posição tornaram-se mais precisas e ergonômicas. A pesquisa, antes concentrada nos Estados Unidos, migrou para outros países como França, Japão e Alemanha, o que também permitiu maior acesso a RV pela indústria do entretenimento (cinema e jogos eletrônicos principalmente).

O termo Realidade Virtual foi muito difundido pelo Cinema. Muitos filmes, principalmente os de ficção científica, utilizaram imagens virtuais para projetar novas informações ou pessoas distantes geograficamente no mundo real em que o personagem real está. Essas imagens virtuais projetadas são conhecidas como hologramas, e os personagens reais do filme podem interagir com elas, atribuindo um ar de futurismo aos filmes de ficção científica.

3.2. REALIDADE MISTURADA

Um sistema em Realidade Misturada “incorpora elementos virtuais ao ambiente real ou leva elementos reais ao ambiente virtual” (KIRNER, 2004). Azuma (2001) afirma ainda que existem aplicações de Realidade Misturada cujo objetivo é extrair objetos reais do ambiente.

A Realidade Mistura possibilita manter a sensação de presença no mundo real. Deste modo o usuário tem acesso à riqueza de informações do ambiente. A Realidade Misturada pode ser caracterizada como um novo passo no desenvolvimento de interfaces interativas e realistas.

3.2.1. REALIDADE MISTURADA, VIRTUALIDADE AUMENTADA E REALIDADE AUMENTADA

A Realidade Misturada tem como diferença principal da RV o nível de imersão. A RV tem como meta ideal isolar o usuário, basicamente por meio do controle de seus sentidos. Em contrapartida, a Realidade Misturada amplia as informações do ambiente real, necessitando que a sensação de presença seja mantida.

Milgram (MILGRAM, 1994) formulou uma taxonomia das várias maneiras na qual aspectos reais e virtuais dos ambientes de Realidade Misturada podem ser compreendidos quanto a sua visualização. Na Figura 3.1 vemos na extremidade esquerda o ambiente real e na extremidade oposta o ambiente virtual. Na região entre esses extremos está a Realidade Misturada composta pela Realidade Aumentada e pela Virtualidade Aumentada.



Figura 3.1 - Exemplo da Realidade Misturada Contínua de Milgram (HUGHES, 2005)

A Virtualidade Aumentada está próxima do ambiente virtual, indicando que a percepção visual do usuário é predominantemente formada por imagens virtuais, artificialmente geradas por computador.

A Realidade Aumentada encontra-se próxima do ambiente real, o que indica que a percepção predominante do usuário é a do ambiente real. O ambiente real é enriquecido com objetos virtuais, prevalecendo o ambiente real.

Assim como a Realidade Virtual (RV), existem muitas definições formais para a Realidade Aumentada (RA). O fato é que em contraste com a realidade virtual tradicional, a Realidade Aumentada não suprime completamente o ambiente real, ao invés disso faz com que ele possua um papel dominante no ambiente de RA (BIMBER e RASKAR, 2005).

Para alcançar seus objetivos, a RA necessita integrar as informações sintéticas dentro do ambiente real. É necessária uma ligação muito forte entre a informação virtual e o ambiente real. Essa ligação é conhecida como registro (Figura 3.2). Um registro correto e consistente entre os dois mundos é um dos mais importantes desafios para a Realidade Aumentada. Por exemplo, para conseguir um registro para um usuário em movimento é necessário um sistema que continuamente determine a posição do usuário dentro do ambiente. Este cálculo contínuo da nova posição do usuário é denominado rastreamento (BIMBER e RASKAR, 2005).

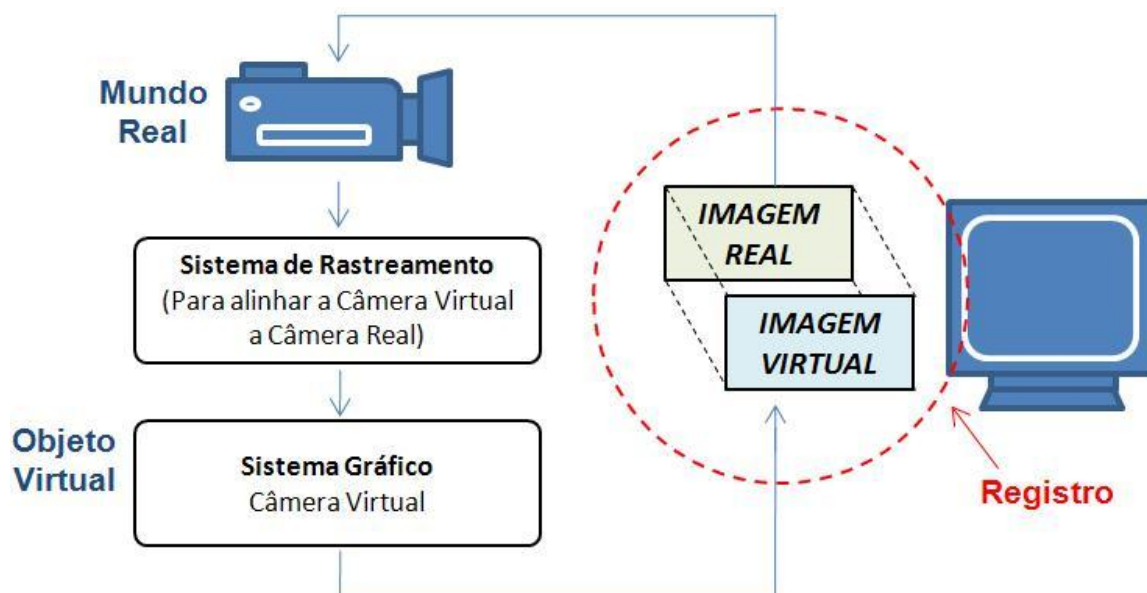


Figura 3.2 - Realidade Aumentada: Registro, rastreamento e sistema gráfico

O Círculo na Figura 3.2 destaca o registro, onde a imagem real e a imagem virtual se integram em uma só para promover a Realidade Aumentada. O registro, o rastreamento e a renderização em tempo real, dos objetos virtuais, são os desafios fundamentais mais pesquisados em Realidade Aumentada, pois essas tecnologias são essenciais para um sistema típico de Realidade Aumentada. Um rastreamento preciso, rápido e robusto do observador, assim como dos objetos reais e virtuais dentro do ambiente, é um processo crítico para o convencimento das aplicações de Realidade Aumentada (BIMBER e RASKAR, 2005).

Um sistema típico em RA é basicamente composto por:

- Dispositivos de Display (Apresentação);
- Dispositivos de Tracking (Rastreamento);
- Um Sistema Gráfico para gerar Objetos Virtuais;
- Um Sistema que misture os mundos.

Nas próximas seções serão apresentados os conceitos e alguns exemplos dessas tecnologias.

3.3. SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA

A seguir as principais partes de um sistema de realidade aumentada.

3.3.1. DISPOSITIVOS DE APRESENTAÇÃO (DISPLAY).

Displays de Realidade Aumentada são sistemas para a formação de imagens, compostos por componentes óticos, eletrônicos e mecânicos que geram imagens em algum lugar entre o campo de visão do observador e o objeto aumentado (AZUMA, 2001).

Dependendo da tecnologia ótica utilizada, a imagem pode ser formada em um plano ou em uma superfície não plana mais complexa (BIMBER e RASKAR, 2005). A Figura 3.3 ilustra melhor essa condição.

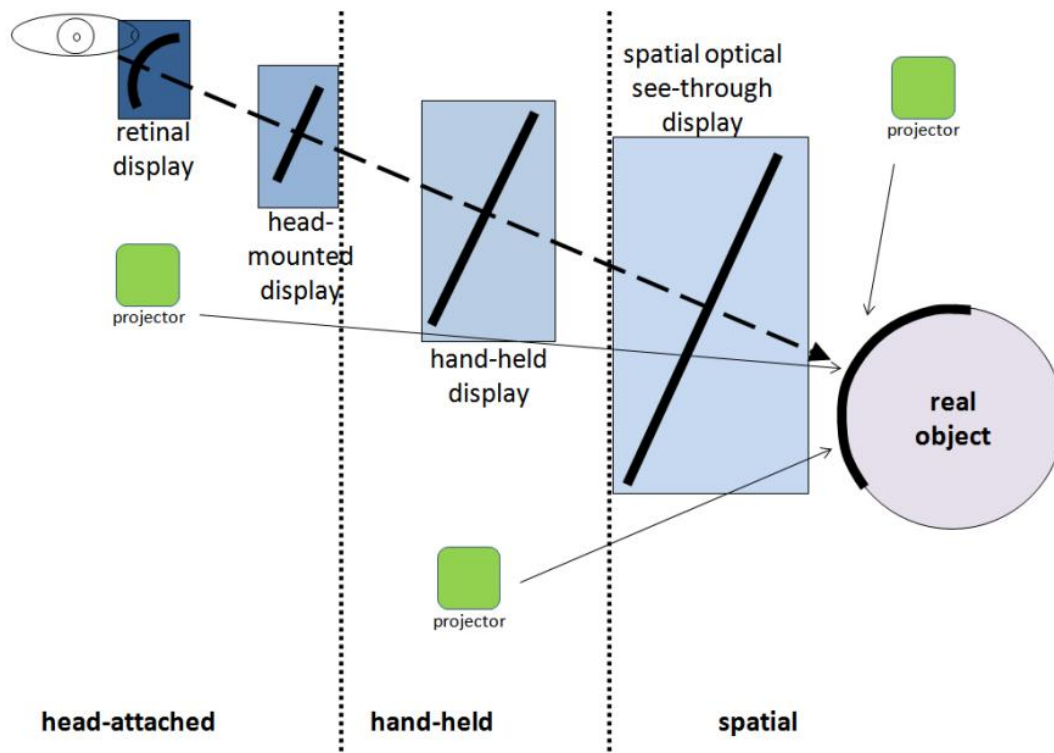


Figura 3.3 - Geração de imagens em displays de RA (BIMBER e RASKAR, 2005)

Head-attached Displays, como *Retinal Displays*, *Head-Mounted Displays* e *Head-Mounted Projectors*, precisam ser “vestidos” pelo observador. Enquanto que outros displays são *hand-held* (usados com a mão). *Retinal displays*, e alguns projetores baseados em aproximação produzem imagens curvas, porém a maioria gera imagens planas.

A seguir apresentaremos esses diferentes conceitos de display.

3.3.1.1. RETINAL DISPLAYS

Retinal Displays utilizam semicondutores lasers de baixa potencia para projetar a luz modulada diretamente sobre a retina do olho humano, assim conseguem formar imagens diretamente na frente dos olhos. Isso produz imagens de alta resolução e muito brilho, além de proporcionar um campo de visão lateral muito maior que um display baseado em telas.

3.3.1.2. HEAD-MOUNTED DISPLAYS

Head-Mounted Displays são os dispositivos mais usados por aplicações em Realidade Aumentada. Existem duas diferentes tecnologias para este tipo de display. São elas:

- *Vídeo See-Through*: Faz uso de um “combinador” de vídeos, onde as imagens unidas são mostradas em uma pequena tela colocada próximo aos olhos do usuário.
- *Optical See-Through*: Faz uso de um “combinador” ótico (essencialmente espelhos parcialmente prateados ou *LCDs* transparentes) para gerar as imagens.

3.3.1.3. HEAD-MOUNTED PROJECTORS.

Head-Mounted Projectors são dispositivos que projetam imagens diretamente sobre a superfície do mundo real (Figura 3.4).

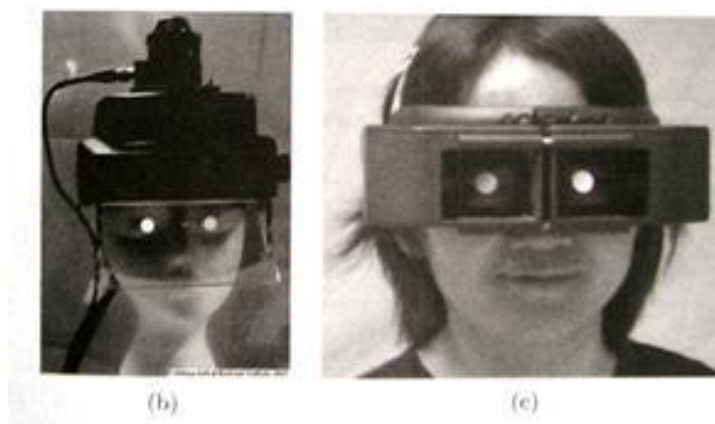
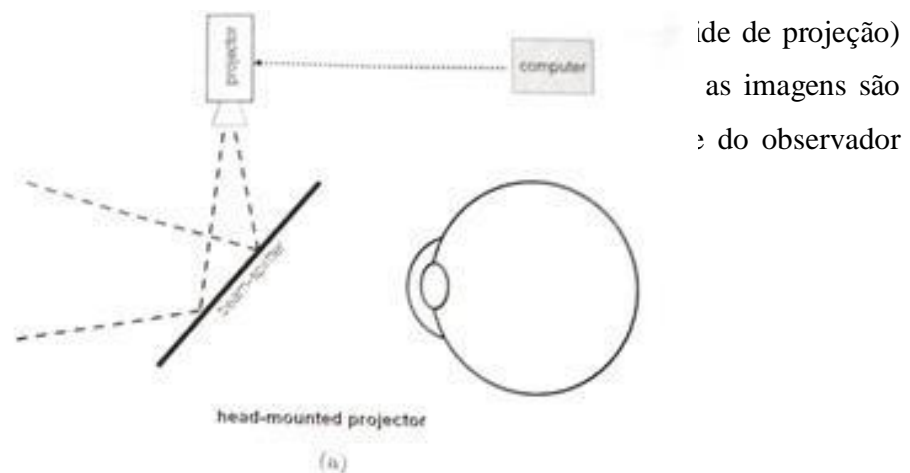


Figura 3.4 - (a) Conceito simplificado de um Head-Mounted Projector; (b) e (c) Exemplos de protótipos de Head-Mounted Projectors (BIMBER e RASKAR, 2005)

3.3.1.4. HAND-HELD DISPLAYS

Exemplos convencionais de *Hand-Held Displays*, como *Pocket PCs* e mais recentemente telefones celulares, geram imagens dentro do alcance de nossos braços (VALLINO, 1998). Todos esses exemplos combinam processamento, memória, *display* e tecnologia de interação em um único dispositivo, possuindo também a vantagem de serem dispositivos móveis e sem fio. O conceito de *Video See-Through* é o mais utilizado para esses dispositivos. Eles possuem câmeras de vídeo integradas que capturam a imagem em tempo real do ambiente. A essas imagens são sobrepostos os objetos aumentados e depois são mostradas ao usuário (Figura 3.5).

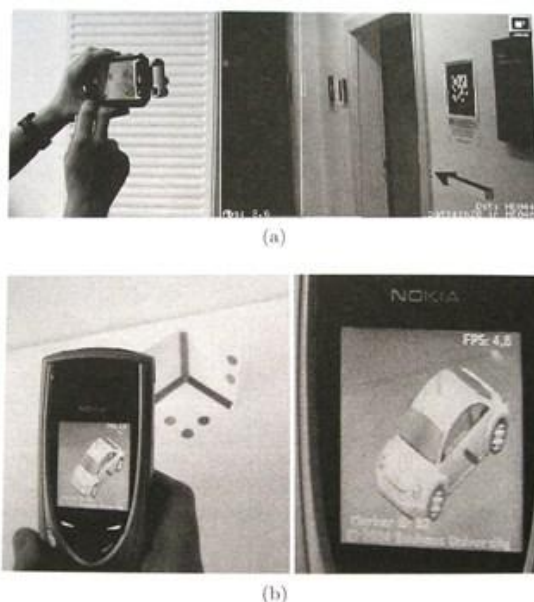


Figura 3.5 - (a) Aplicação de RA rodando em um Pocket PC; (b) Um protótipo de RA rodando em um telefone celular comercial (BIMBER e RASKAR, 2005)

3.3.2. DISPOSITIVOS DE RASTREAMENTO (TRACKING)

Um sistema de rastreamento móvel é uma implementação em hardware/software, onde a posição e a orientação do usuário na cena são comunicadas ao computador, que ajusta as imagens mostradas de acordo com as mudanças de localização do usuário (AZUMA, 2001).

Um sistema de rastreamento ideal é aquele capaz de gerar a posição e a orientação computacional em tempo real sem comprometer a qualidade gráfica e a liberdade de locomoção do usuário. Infelizmente, como o ideal é algo que ainda não foi realizado, a maioria dos sistemas de rastreamento é forçada a fazer escolhas tecnológicas que possuem suas vantagens e desvantagens. Algumas tecnologias de rastreamento são descritas por Azuma (2001) e Vallino (1998). Essas tecnologias serão apresentadas seguir:

3.3.2.1. TECNOLOGIA ELETROMAGNÉTICA

A tecnologia eletromagnética consiste na medição do campo magnético de bobinas colocadas nos objetos. O vetor desse campo é detectado e, logo após, é calculada sua posição e sua orientação. Essa tecnologia propicia respostas muito rápidas ao sistema, porém é muito suscetível a interferência de objetos metálicos presentes no espaço físico em torno do objeto.

3.3.2.2. TECNOLOGIA ÓPTICA

Em sistemas óticos tradicionais uma câmera monitora a pulsação de LEDs (*Light-Emitting Diodes*) colocados em objetos ou usuários, assim é calculada a posição e orientação do alvo. Outra abordagem desse sistema é a utilização de marcadores fiduciais, onde através de técnicas de visão computacional esses marcadores são identificados e assim tem sua posição e orientação calculada. Assim como os sistemas magnéticos, sua velocidade de resposta é muito rápida, porém esses sistemas são limitados pelo ângulo de visão do observador, além de sofrerem interferência pela luminosidade do ambiente.

3.3.2.3. TECNOLOGIA MECÂNICA

Com a tecnologia mecânica, o hardware de rastreamento é fisicamente acoplado ao objeto ou a pessoa que está sendo rastreada. Assim esses dispositivos oferecem uma precisão muito boa, porém devido à necessidade de se acoplar o hardware ao alvo a ser rastreado, essa tecnologia acaba limitando seus movimentos.

3.3.2.4. TECNOLOGIA INERCIAL

A tecnologia inercial opera integrando as voltagens de giroscópios e acelerômetros, sofrendo tração, assim geralmente devem ser combinadas com outras tecnologias para se tornar útil. Possui campo de ação ilimitado, porém muito caro e difícil de se desenvolver sistemas precisos, pois acumulam erros ao longo do tempo.

3.3.2.5. TECNOLOGIA ACÚSTICA

A tecnologia acústica usa ondas de ultra-som para medir a posição e a orientação do objeto. Pode-se descobrir a distância entre o emissor e o receptor dessas ondas, calculando o tempo em que o som percorre o caminho entre eles. Apesar de ser uma tecnologia de baixo custo ela apresenta alguns problemas, como a suscetibilidade à interferência de ruídos externos, suscetibilidade a eco em ambientes fechados e desempenho comprometido devido à velocidade lenta do som.

3.3.2.6. TECNOLOGIAS POR SATÉLITE

Consiste em utilizar a tecnologia GPS (*Global Positioning System*), que proporciona uma cobertura global, para calcular o posicionamento tridimensional dos objetos. Consegue atingir um campo de ação muito grande, porém não consegue detectar a orientação dos objetos. Possui taxa de atualização muito baixa e necessita estar em campos abertos, pois seu sinal é comumente bloqueado em áreas urbanas, cânions, etc.

3.3.2.7. TECNOLOGIA HÍBRIDA

Combinação de duas ou mais tecnologias de rastreamento. É a melhor maneira de aproveitar as vantagens de várias tecnologias e assim promover um rastreamento mais rápido, preciso e robusto.

3.3.3. SISTEMAS GRÁFICOS

Os sistemas gráficos são essenciais para a Realidade Aumentada por serem os responsáveis pela construção dos objetos virtuais. O sistema gráfico ideal é aquele que

consegue gerar objetos complexos, verossímeis aos reais, com o menor custo computacional possível.

A seguir serão apresentados de alguns dos sistemas gráficos mais utilizados hoje em dia.

3.3.3.1. OPENGL (OPEN GRAPHICS LIBRARY)

OpenGL pode ser definida como uma “*interface para hardware gráfico*”, é uma especificação aberta multiplataforma de uma biblioteca de rotinas gráficas e de modelagem, bidimensional (2D) e tridimensional (3D), extremamente portátil e rápida. Permite desenvolver aplicações interativas e gerar imagens de cenas tridimensionais com um alto grau de realismo. Entretanto, sua maior vantagem é a performance, uma vez que incorpora vários algoritmos otimizados, incluindo o desenho de primitivas gráficas, o mapeamento de texturas e outros efeitos (COHEN, 2006).

O OpenGL é uma das bibliotecas padrão da indústria para aplicações profissionais, está em uso há anos e é detalhadamente documentada (COHEN, 2006).

3.3.3.2. JAVA 3D

Java é uma linguagem orientada a objetos, multiplataforma e é hoje considerada a padrão da Internet. Java 3D é uma API gráfica tridimensional que emprega modelos de programação de cenas gráficas, onde a aplicação descreve uma cena. Java 3D gerencia a apresentação dessa cena, permitindo o programa do usuário focar o que acontece aos objetos na cena. Juntamente, os motores de renderização descobrem a melhor forma de desenhar uma cena gráfica com o melhor desempenho possível (WALSH, 2002). Java 3D é uma API documentada em detalhes pertencente a Sun Microsystems, linguagem fácil e intuitiva, tornando-se uma ótima opção de sistema gráfico.

3.3.3.3. VRML (VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE)

O VRML tem uma história fundamentada na colaboração de diversos pesquisadores e importantes empresas relacionadas com a Computação Gráfica e Realidade Virtual. Sua elaboração teve início a partir de um projeto, iniciado em 1989, na Silicon Graphics Inc.

por Rikk Carey e Paul Strass, alicerçada em duas características básicas: capacidade de criação de uma variedade de aplicações 3D e a possibilidade de criar interfaces 3D para aplicações já existentes. Suas principais características estão relacionadas com o desenvolvimento fácil de cenários, prototipação (capacidade de encapsular novos recursos de forma a criar novos nós), interação direta com o usuário através de sensores, interpoladores e criação de animações usando scripts.

Desde sua criação, essa linguagem tem sido aplicada em diversos projetos para concepção de mundos e é uma importante aliada no desenvolvimento de mundos tridimensionais interativos na Web (CARDOSO, 2004).

3.3.4. SISTEMAS DE MISTURA DE MUNDOS

São bibliotecas já prontas de Realidade Aumentada para a realização do registro entre o mundo real e os objetos virtuais. A maioria dessas bibliotecas utiliza técnicas de visão computacional (tecnologia óptica) integradas. Assim, acabam tornando-se “pacotes” de RA prontos para serem implementados. A mais conhecida dessas bibliotecas é o ARToolkit.

3.3.4.1. ARTOOLKIT (AUGMENTED REALITY TOOLKIT)

O ARToolkit¹ é uma biblioteca, em linguagem de programação C, que permite aos programadores desenvolver, de forma rápida, aplicações de Realidade Aumentada. Seu desenvolvimento teve início em 1999, quando o Dr. Hirokazu Kato² chegou ao HITLab (*Human Interface Technology Laboratory*), na Universidade de Washington. No HITLab, Kato conheceu Mark Billinghurst³ e juntos deram início ao desenvolvimento do projeto. A primeira demonstração do protótipo aconteceu no SIGGRAPH⁴ 1999, realizada em *Los Angeles*.

Desde então, muitos outros pesquisadores deixaram sua contribuição no projeto e muitas modificações foram feitas na biblioteca, como suporte para várias plataformas,

¹ <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>

² http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/kg-portal/aspi/RX0011D_E.asp?UNO=12089

³ <http://www.hitl.washington.edu/people/person.php?name=grof>

⁴ Conferência e Mostra Internacional de Computação Gráfica e Técnicas de Interação.

otimização do algoritmo de rastreamento, etc. Atualmente, o ARToolKit se encontra na versão 2.71.2 e é mantido pelo HITLabs.

O ARToolKit usa técnicas de visão computacional para calcular a posição no espaço real da câmera e sua orientação em relação aos cartões marcadores, permitindo ao programador sobrepor objetos virtuais aos cartões. O pacote inclui bibliotecas de rastreamento e disponibiliza o código fonte completo, tornando possível o transporte do código para diversas plataformas ou adaptá-los para resolver as especificidades de suas aplicações.

A Figura 3.6 ilustra um ciclo básico da execução do ARToolKit. Inicialmente a imagem do mundo real é capturada por um dispositivo qualquer de entrada de vídeo (uma webcam, por exemplo) e em seguida transformada em imagem binária. A imagem binária é analisada em busca de regiões quadradas. A etapa seguinte é a de calcular a posição e orientação da câmera em relação às regiões quadradas que representam possíveis cartões contendo figuras específicas, denominados marcadores.

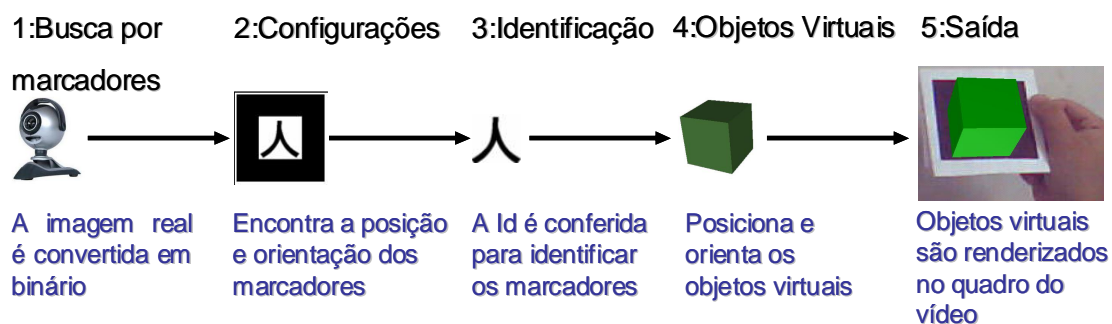


Figura 3.6 - Passos Básicos da Execução do ARToolkit (MEIGUINS, 2006)

Os marcadores devem conter símbolos distintos e previamente cadastrados através de um treinamento da rede neural interna do ARToolKit para seu reconhecimento efetivo. Uma vez reconhecido o marcador, é realizada a etapa final do ciclo onde a ferramenta calcula o ponto exato que o objeto virtual deve ocupar no mundo real e realiza a sobreposição das imagens retornando ao usuário a combinação visual do mundo real e objeto virtual.

Várias aplicações simples são fornecidas com o ARToolKit para que programadores possam começar rapidamente a desenvolver suas aplicações. Além disso, o ARToolKit é

livre para o uso em aplicações não-comerciais e é distribuído com código sob licença aberta GPL. Atualmente, há versões para o Windows⁵, Linux⁶, SGI7 e MacOS X⁸, além de implementações independentes do ARToolKit para Matlab⁹ e uma outra que conecta as bibliotecas do ARToolKit com Java, o JARToolKit¹⁰ (GEIGER, 2005).

Existem ainda, módulos modificados do ARToolKit como o ARTag¹¹, que possui um modo de detecção de marcadores melhorado e o ARToolKitPlus¹² que é uma otimização do ARToolKit para a plataforma Windows.

⁵ <http://www.microsoft.com/windows>

⁶ <http://www.linux.org/>

⁷ <http://www.sgi.com/products/software/irix/>

⁸ <http://www.apple.com/macosx/>

⁹ <http://155.69.54.110/software-MA>

¹⁰ <http://jerry.c-lab.de/jartoolkit>

¹¹ http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/artoolkitplus

¹² <http://www.cv.iit.nrc.ca/research/ar/artag>

4. TRABALHOS RELACIONADOS

Até o momento da escrita desta dissertação não foram encontrados trabalhos relacionados que envolviam visualização de informação, múltiplas visões coordenadas e realidade aumentada ou realidade virtual. Porém, serão apresentados alguns exemplos de ferramentas de visualização que usam múltiplas visões coordenadas, outras técnicas de visualização que usam apresentação em espaço tridimensional e trabalhos que envolvem visualização de informações em ambientes de realidade aumentada.

4.1. FERRAMENTAS COM MÚLTIPLAS VISÕES COORDENADAS

4.1.1. FERRAMENTAS COM ESQUEMA DE COORDENAÇÃO FLEXÍVEL

Snap-Together (North and Shneiderman, 2000) é um sistema de propósito geral que suporta vários tipos de conjunto de dados (Figura 4.1). Como permite diversos tipos de dados, a coordenação é limitada a seleção de itens ou navegação.

GeoVista Studio e SPIN! são endereçados a visualização e análise de dados geocientífico (TAKATSUKA, 2002). Embora eles integrem técnicas de visualização interessantes para exibir dados multidimensionais, ambos os sistemas provêm formas limitadas de coordenação: seleção, destaque e consultas dinâmicas em mapas de cor.

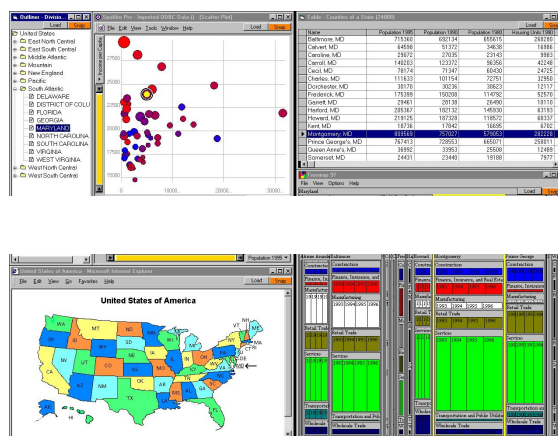


Figura 4.1 – SnapTogether

Improvise é um software que permite aos usuários construir e manipular interativamente múltiplas visões com alto nível de coordenação (Figura 4.2). A ferramenta possibilita o controle de funções simples, como navegação e seleção de objetos nas múltiplas visões (WEAVER, 2005).

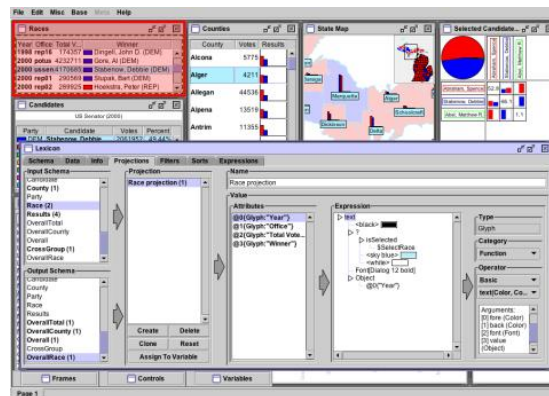


Figura 4.2 – Improvise

4.1.2. FERRAMENTAS COM ESQUEMA DE COORDENAÇÃO NÃO FLEXÍVEL

Xmdv permite coordenar brushing em n-dimensões bem como a manipulação de dimensões (Figura 4.3).

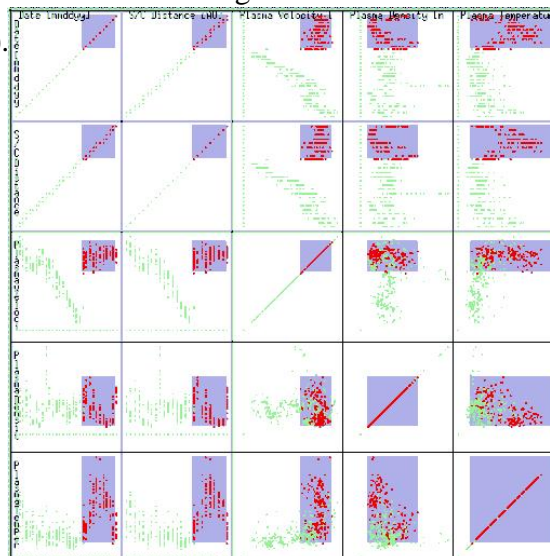


Figura 4.3 – Xmdv <http://davis.wpi.edu/%7Exmdv/>

DEVise (LIVNY, 1997) representa dados multidimensionais pela separação das dimensões em vários gráficos 2D. Estas visualizações podem ser “linkadas” pela sincronização de pan e zoom (Figura 4.4).

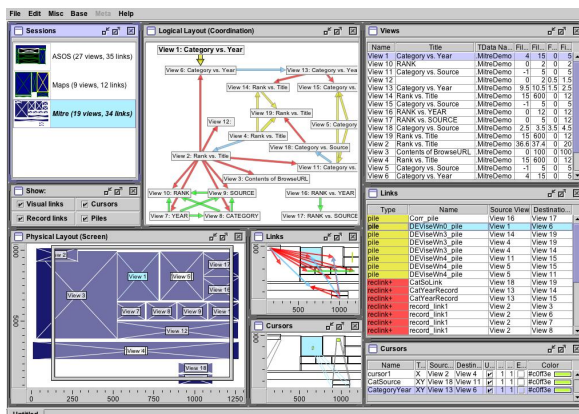


Figura 4.4 - DEVise

4.2. FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE VI EM 3D

Serão apresentadas de forma breve algumas ferramentas ou técnicas de visualização que usam apresentação em espaço tridimensional, que é um dos escopos desta dissertação.

4.2.1. THEMESCAPE

ThemeScape (Figura 4.5) desenvolvido pelos Laboratórios Noroestes Pacífico, tenta organizar dados altamente multidimensionais como paisagens tridimensionais de terrenos (FURUHATA, 2004).

A representação resultante mostra áreas de relações fortes como montanhas. Bandeiras ao topo da montanha identificam elementos comuns.

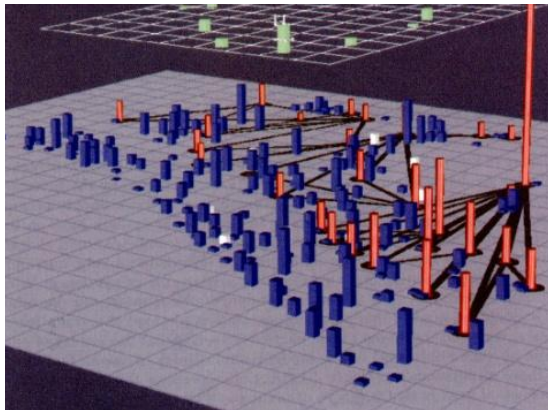


Figura 4.7 - Operação de seleção de dados em um histograma tridimensional no SAGE <http://www.cs.cmu.edu/Groups/sage/sage.html> (SPENCE, 2001)

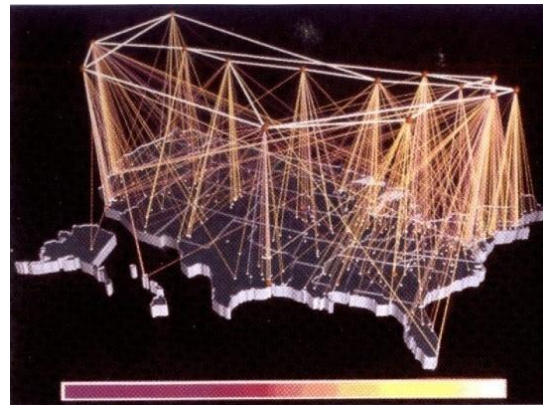


Figura 4.8 - Visualização de tráfego no backbone da NSFNET (CHEN, 1999)

4.2.4. ESPAÇO HIPERBÓLICO 3D

É uma técnica de distorção que exibe hierarquias com grandes quantidades de dados (SPENCE, 2001). O usuário pode interagir mudando o foco dos dados, assim a árvore se reorganiza dinamicam e dados (Figura 4.9).

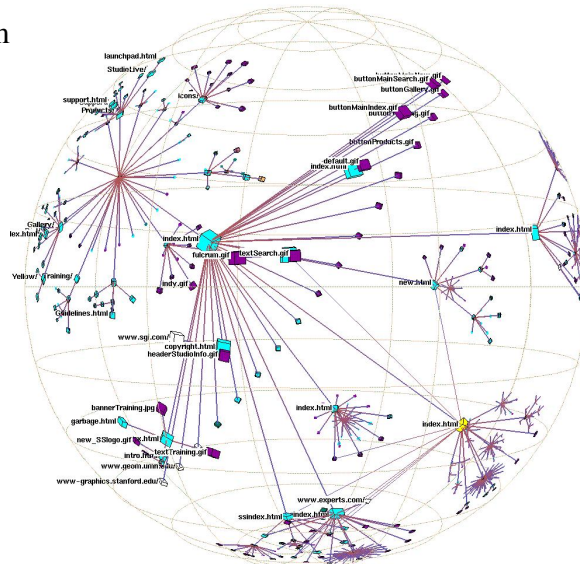


Figura 4.9 – Espaço hiperbólico em três dimensões

4.2.5. ÁRVORES DE CONES

Cat-a-Cone é uma ferramenta para categorização de documentos. Os usuários navegam pela árvore de cones até o livro de desejado, e uma representação virtual do livro se torna disponível (Figura 4.10).

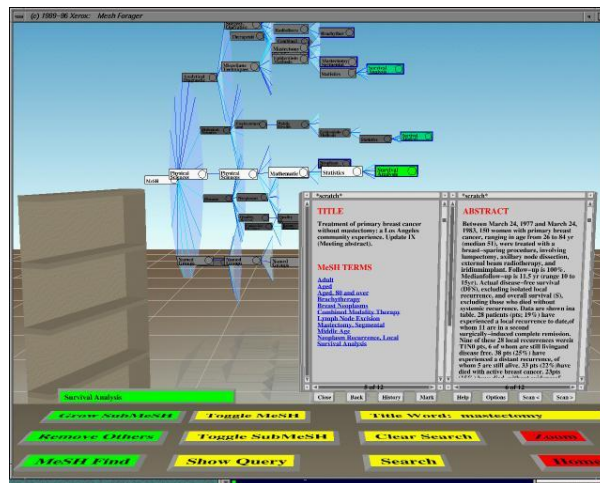


Figura 4.10 – Busca utilizando árvore de cones

4.2.6. PERSPECTIVE WALL

Com a técnica *perspective wall* o usuário terá uma visão de dados em foco, podendo rapidamente navegar na linha do tempo para poder analisar dados passados ou futuros (SPENCE, 2001) (Figura 4.11). Como dito anteriormente não há filtro, pois todos os dados no período são mostrados.

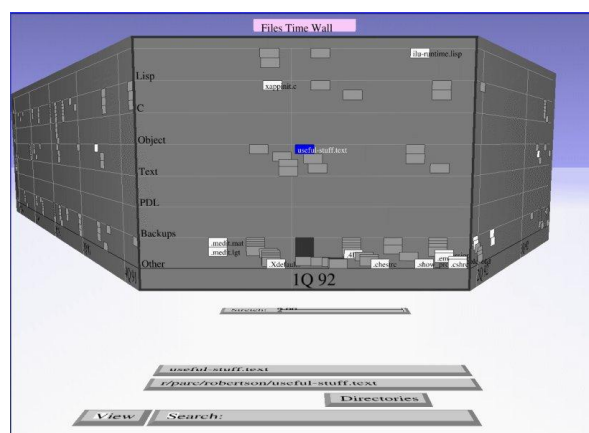


Figura 4.11 – Aplicação que utiliza Perspective Wall

4.3. TÉCNICAS DE VI EM RA

Bueno (et. al, 2005) estendeu a ferramenta Meta3D, criando um módulo para visualização de informações em Realidade Aumentada, denominado Meta3D++. Nesse sistema, a interação do usuário é dependente da interface de configuração da ferramenta (que está em um ambiente 2D) e os dados são agrupados em clusters, sendo que cada um é associado a um marcador, a qualidade do filtro das informações é dependente da quantidade de marcadores. Foram utilizadas as técnicas Faces de Chernoff e Coordenadas Paralelas

Extendido:

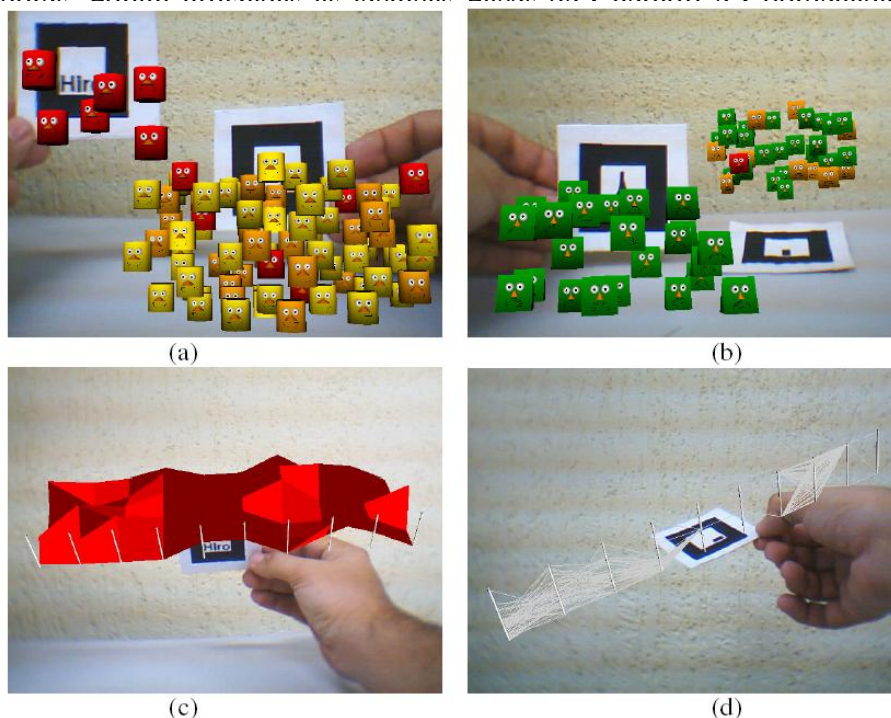


Figura 4.12 – Meta3D++, (a)(b) Face de Chernoff e (c)(d) Coordenadas Paralelas

Buk (et. al, 2005) apresentou a Realidade Aumentada como alternativa para a visualização de informações, onde gráficos são sobrepostos a objetos representativos do mundo real. Contudo, os filtros também estão associados aos marcadores, quanto maior a quantidade de marcadores maiores são as possibilidades de filtro, mostrando-se pouco flexível. Sua configuração também é feita em interface 2D (Figura 4.13).

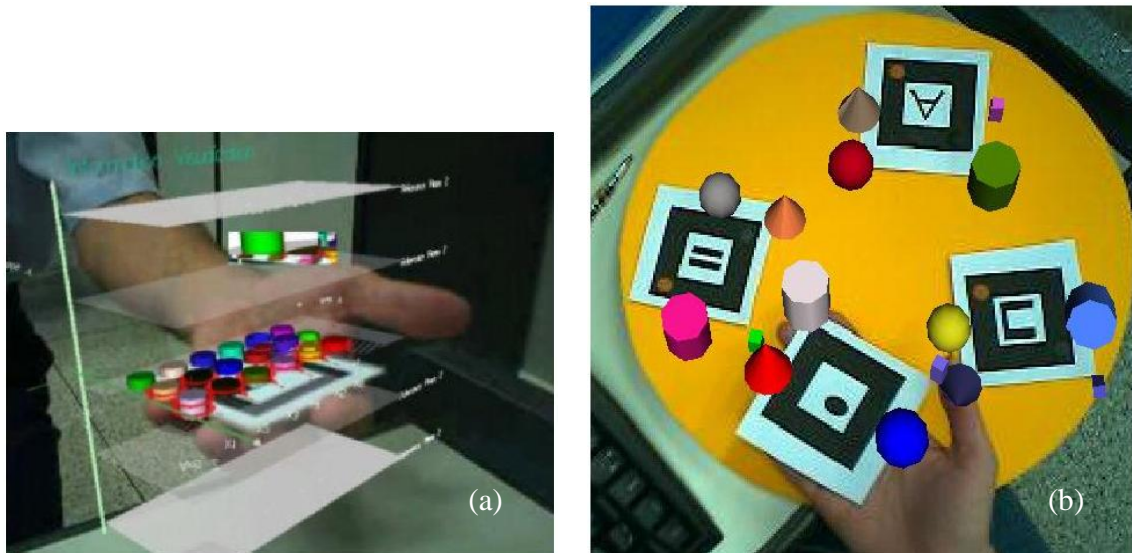


Figura 4.13 – Visualização de Dados Baseado em Marcadores

Slay, H. (et al., 2001) utiliza a Realidade Aumentada com o objetivo principal de visualizar a técnica de representação de dados baseada em Grafos. A interface de configuração e geração da visão é 2D.

Destaca-se a intenção de construção de um apontador virtual usando objetos construídos em VRML. Não apresenta técnicas de filtro implementadas na interface aumentada (Figura 4.14).

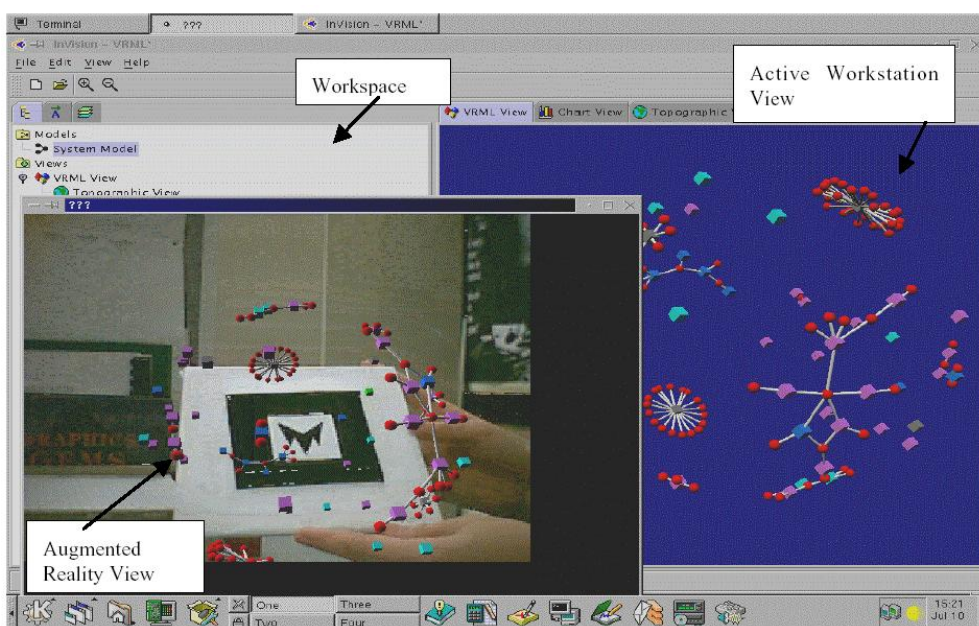


Figura 4.14 - Representação de dados baseados em grafos

Meiguins et. al (2006), desenvolveu um protótipo de uma ferramenta de visualização multidimensional de dados em ambiente de realidade aumentada. O protótipo implementa a técnica de Dispersão de dados 3D e conta ainda com dois gráficos 2D, Pizza e Histograma, como gráficos auxiliares. Foram desenvolvidas as principais características de uma boa ferramenta de visualização: visão geral, filtro, detalhes sob demanda e zoom semântico.

Para o desenvolvimento do protótipo foram utilizados a biblioteca ARToolKit, OpenGL e a linguagem de programação C (Figura 4.15).

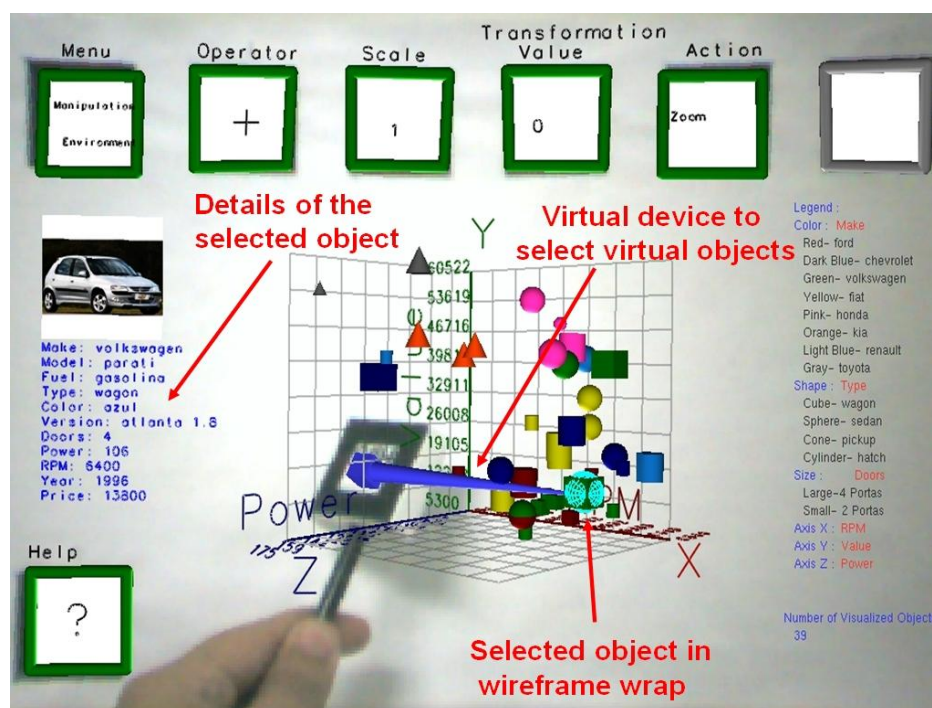


Figura 4.15 - Visualização de informações em ambiente de realidade aumentada

5. MVC-RA

Neste capítulo, é apresentado um protótipo que implementa uma técnica de visualização de informação em um ambiente de realidade aumentada utilizando múltiplas visões dos mesmos dados, denominado MVC-RA. Serão abordadas as principais características, aspectos de modelagem, exemplos de uso, e um breve ensaio com usuários.

5.1. DESCRIÇÃO

Foi com o objetivo de utilizar as características disponibilizadas pela Realidade Aumentada em Visualização de Informação que MVC-RA foi concebido, tais como interação intuitiva, facilidade de interação, grande espaço de apresentação para as representações visuais dos dados, facilidade de interação com objetos e usuários do mundo real, uma vez que o usuário permanece no mundo real, mas com o mesmo enriquecido pelas múltiplas visões dos dados, entre outras. O MVC-RA é um ambiente de realidade aumentada, baseado em cartões marcadores, que propicia ao usuário, utilizando a técnica Dispersão de Dados 3D (SPENCE, 2001), visualizar e interagir com os dados no próprio ambiente real do usuário. É possível criar mais de uma visão de dados, manipulá-las diretamente com as próprias mãos para aplicar tarefas como translação e rotação, filtros e seleções de conjunto de dados visuais, configuração dos atributos das visões, e outras tarefas pertinentes a qualquer conjunto de ferramentas de visualização da informação ou a ambientes de realidade aumentada.

MVC-RA faz uso do OpenGL como sistema gráfico para o desenho dos objetos virtuais no mundo real. Utiliza o rastreamento óptico, baseado na identificação de cartões marcadores, para registrar objetos reais, e gerar informações úteis para sincronizar os objetos virtuais no ambiente real. O ARToolKit é utilizado para misturar a cena real com objetos virtuais criados e as informações do rastreador. Neste protótipo, o monitor convencional do PC é utilizado como *hardware* de visualização, mas que pode perfeitamente ser trocado por um capacete ou óculos de realidade aumentada.

A técnica de visualização de informação escolhida foi Dispersão Dados 3D. O Diagrama de Dispersão de Dados 3D visualiza a relação entre três ou mais variáveis

(Figura 5.1), representando as coordenadas X, Y, e um ou mais Z (vertical) em um único ponto do espaço tridimensional.

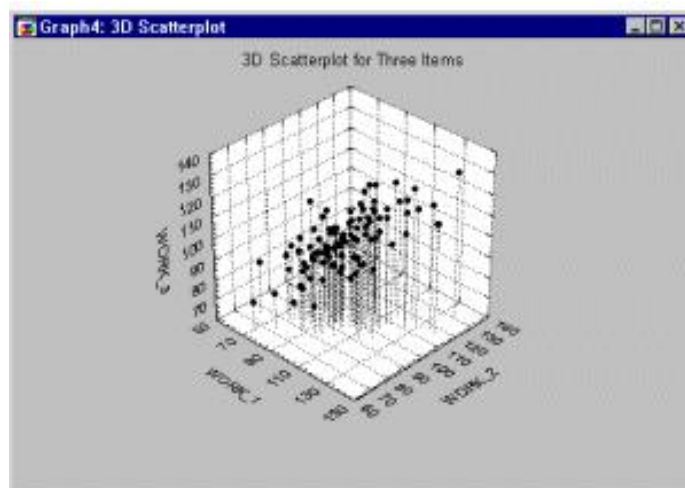


Figura 5.1 - Gráfico dispersão 3D (<http://www.statsoft.com/textbook/gloss.html>)

Cada ponto do gráfico de Dispersão de dados 3D também pode representar vários itens de dados simultaneamente, através de uma marca visual e seus atributos, criando assim uma visão de dados multidimensionais, que é o caso MVC-RA. Alguns tipos de marcas podem ser: pontos, linhas, áreas, volumes (MVC-RA) e figuras complexas (Figura 5.2). Por fim, as propriedades gráficas das marcas são os atributos visuais que caracterizam as mesmas, as propriedades mais utilizadas são: Posição, Tamanho, área, volume, Ângulo, Inclinação, Orientação, Cor, Textura, Forma, Animação, tempo, movimento (Figura 5.3) (NASCIMENTO, 2005).

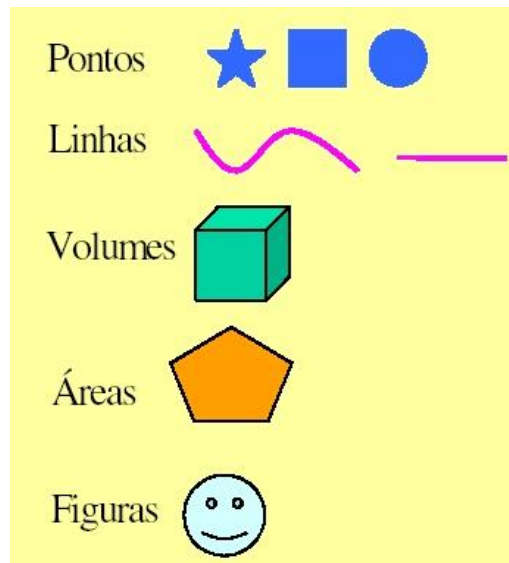


Figura 5.2 - Exemplos de representações gráficas(NASCIMENTO, 2005)

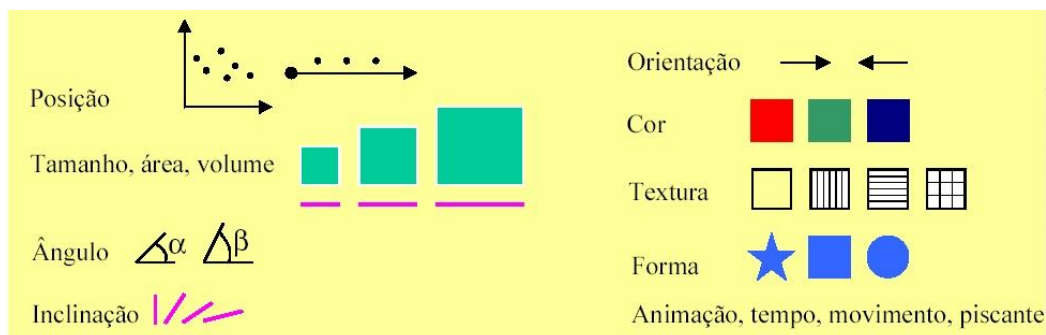


Figura 5.3 - Exemplos propriedades gráficas dos itens de visualização (NASCIMENTO, 2005)

5.2. OBJETIVOS

Pode-se citar como principais objetivos do MVC-RA:

- Contribuir para o debate da utilização de técnicas de visualização em ambientes de realidade aumentada;
- Contribuir para o debate de desenvolvimento de interfaces mais interativas e intuitivas para sistemas de realidade aumentada;
- Contribuir para o debate da utilização de múltiplas visões de dados coordenadas em ambiente de realidade aumentada;

- Atender as recomendações de uma boa ferramenta de visualização com múltiplas visões de dados coordenadas;
- Possibilitar maior colaboração entre usuários na análise de dados, uma vez que, usuários e a visualização de dados se encontram no mesmo ambiente;
- Possibilitar em sua concepção, enquanto *software*, fácil atualização do conjunto de técnicas de visualização e utilização de base de dados;
- Possibilitar maior espaço de apresentação visual dos itens de dados;
- Possibilitar a análise dos dados através de um ou mais diagramas de Dispersão de dados 3D;
- Possibilitar ações coordenadas entre visões, para as seguintes tarefas: seleção, filtro e configuração dos itens de dados;
- Desenvolver interface baseada em cartões marcadores para a manipulação dos itens de dados visual.
- Contribuir com novas funcionalidades para ARToolKit.

5.3. ARQUITETURA

O ARToolKit possui três módulos básicos: Capturador de Cenas, Realidade Aumentada (RA) e Gerador de Imagem Aumentada (MAPLE, 2004). O módulo Capturador de Cena é uma coleção de rotinas de vídeo para capturar os frames de entrada vindos da *webcam*, ou qualquer outro dispositivo de captura de vídeo. O módulo de Realidade Aumentada é responsável por registrar os cartões marcadores na cena, identificar os marcadores capturados e associá-los a objetos virtuais. E por fim, o módulo Gerador de Imagem Aumentada é responsável por gerar a imagem aumentada propriamente dita (cena real mais objetos virtuais), que é composto por uma coleção de rotinas gráficas baseadas no OpenGL e GLUT.

As modificações feitas no ARToolKit para implementação das múltiplas visões coordenadas podem ser vistas na Figura 5.4, e estão concentradas no Módulo de Realidade Aumentada. O protótipo de visualização de dados foi desenvolvido sobre uma arquitetura multicamada, a fim de beneficiar sua manutenibilidade, escalabilidade, eficiência e reutilização (Figura 5.4).

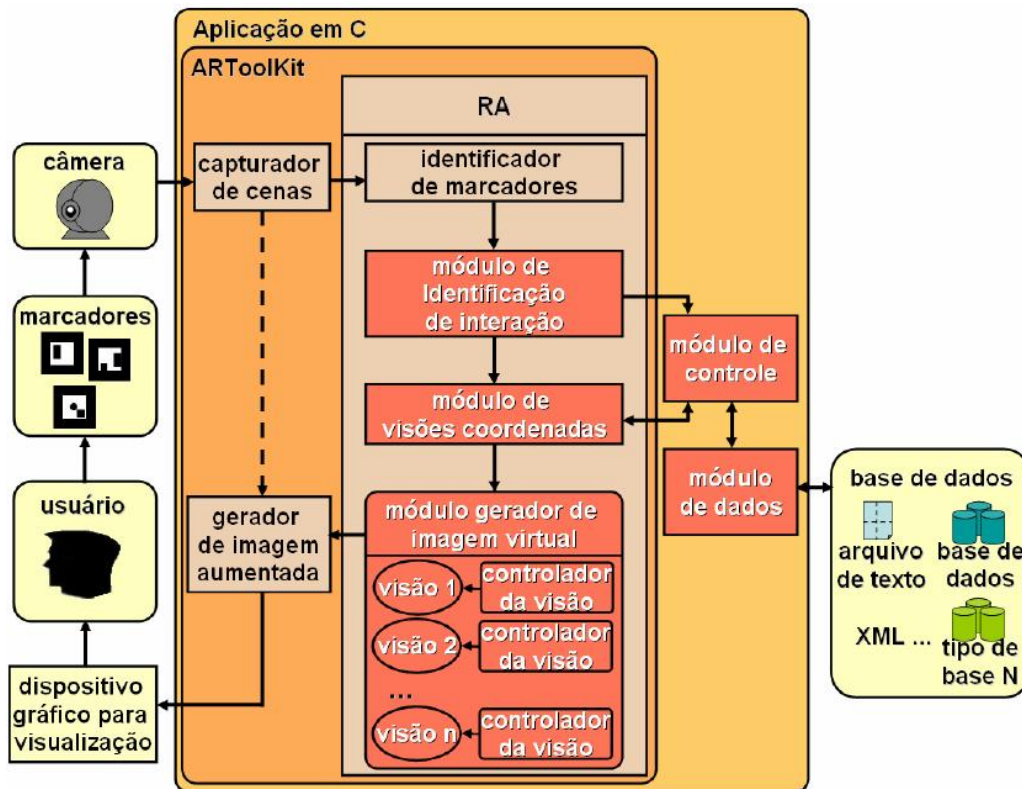


Figura 5.4 – Arquitetura da ferramenta MVC-RA

Para o desenvolvimento desta arquitetura, foram utilizados métodos de algumas técnicas de engenharia de software como Extreme Programming (NEWRICK, 2001), bem como alguns padrões de projeto (GAMMA, 1995) como Factory, Observer, além do padrão MVC (Modelo Visualização Controle) (PRESSMAN, 2002).

A Figura 5.4 exibe uma adaptação do modelo MVC, onde cada camada é representada por um módulo, e entre as camadas há uma troca de mensagens que são geradas a partir de cada interação do usuário.

O módulo de Identificação de Interação assume responsabilidades referentes à identificação do tipo de interação do usuário realizada em relação aos marcadores. As interações do usuário com os marcadores (inserção, oclusão ou retirada da cena) encaminham uma mensagem ao módulo de controle para alterar os dados da visão, ou ao módulo de visões coordenadas quando a interação é feita na própria visão sem alterar o conjunto itens de dados visíveis.

O módulo de Controle é responsável por gerenciar a comunicação entre o módulo de visões coordenadas e o módulo de dados, proporcionando transparência na troca de mensagens entre esses módulos.

O módulo de Visões Coordenadas é responsável pelo gerenciamento do que cada visão de dados deve mostrar, e com isso garantir a coordenação em todas as visões.

O módulo Gerador de Imagem Virtual é responsável pela renderização de cada visão de dado, ou objeto virtual na cena, portanto, não se preocupa em como os dados são armazenados ou manipulados. A obrigação desta camada é representar um subconjunto de dados utilizando uma técnica de visualização de informação.

Finalmente, o módulo de dados é considerado uma parte fundamental da arquitetura, pois o bom desempenho da ferramenta depende, sobretudo, da maneira como os dados são manipulados. É responsável pelo acesso aos dados, seja em arquivos de texto, XML ou banco de dados. Seu projeto foi concebido de tal forma que facilite o acréscimo de uma nova representação dos dados.

Para a modelagem do domínio da aplicação utilizou-se UML (Unified Modeling Language). UML é uma linguagem para especificação, documentação, visualização e desenvolvimento de sistemas orientados à objetos. Uma característica que a UML apresenta é a independência de linguagem. Porém, para a implementação deste protótipo adotou-se a linguagem procedural C, motivado também pelo fato do ARToolKit ter sido desenvolvido na linguagem C.

A próxima seção apresenta diagramas UML (Unified Modeling Language) para um melhor entendimento da concepção do protótipo.

A motivação para seguir esta abordagem justifica-se pela importante contribuição que a UML trouxe para a visualização das partes de um produto, bem como dos seus comportamentos. Ou seja, partindo-se da semântica extraída dos diagramas produzidos pela UML, é possível entender como um protótipo se comporta durante a interação do usuário.

E a intenção dos diagramas produzidos neste trabalho é ilustrar exatamente como as ações executadas pelo usuário sensibilizam os componentes do protótipo.

O processo de conversão do modelo orientado a objetos para as estruturas existentes em C foi realizado com o apoio de Rumbaugh (1994).

5.4. DIAGRAMAS

5.4.1. DIAGRAMA DE CASO DE USO

A Figura 5.5 ilustra um diagrama de caso de uso (BEZERRA, 2002) (BOOCH, 2000) desenvolvido para descrever os requisitos implementados para o protótipo. O diagrama ajuda a identificar as principais funcionalidades do sistema.

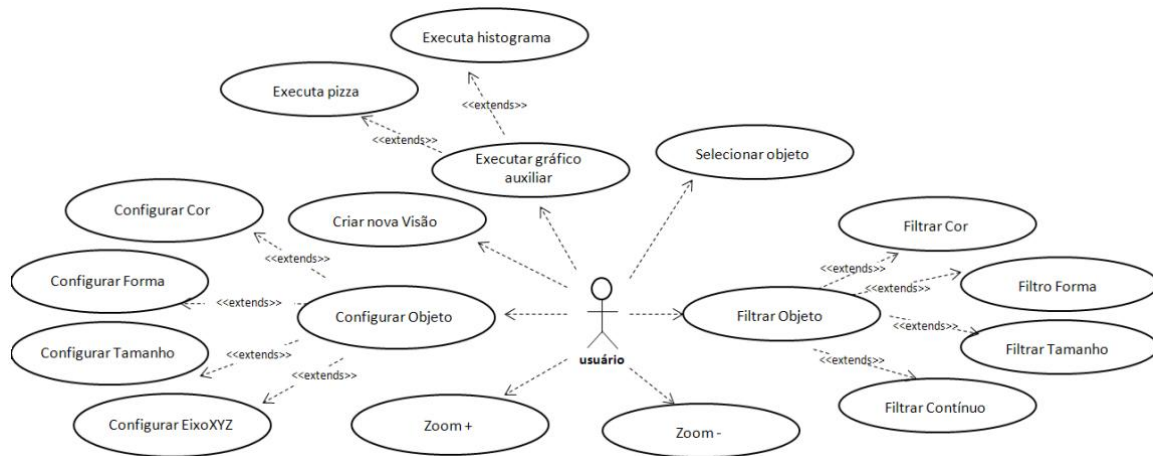


Figura 5.5 – Diagrama de Caso de Uso do Programa

5.4.2. DIAGRAMA DE PACOTE

Baseado na arquitetura genérica do protótipo foi desenvolvido um diagrama de pacotes (Figura 5.6) contendo os principais módulos do sistema e seus relacionamentos.

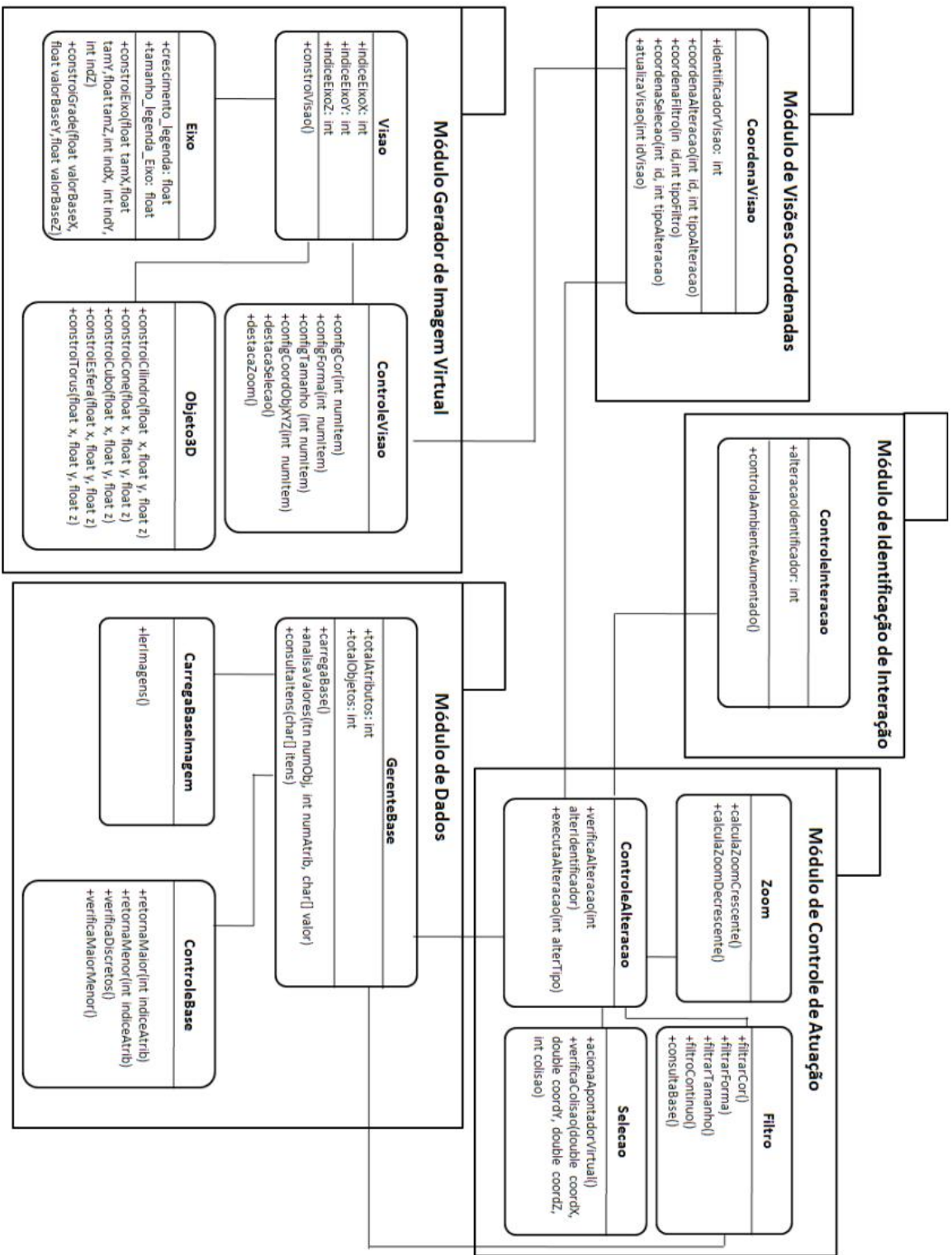


Figura 5.6 – Diagrama de Pacotes

Este diagrama oculta algumas classes que tem por finalidade facilitar as atividades de implementação, como por exemplo, no caso das pertinentes ao ARToolKit que viabilizam a captura de imagens por dispositivos de vídeo.

O diagrama de pacotes acima exhibe o agrupamento de requisitos e métodos em módulos, permitindo uma visualização ao mesmo tempo abstrata e funcional sem muita complexidade.

5.4.3. DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA

O diagrama de sequência demonstra as trocas de mensagens entre os objetos em um determinado caso de uso (BEZERRA, 2002) (BOOCH, 2000).

O protótipo, através de seu Controle de Alterações, reage às interações do usuário identificando qual tipo de interação e a ação desejada.

Este primeiro diagrama de sequência (Figura 5.7) exemplifica o momento em que a ação solicitada pelo usuário objetiva a criação de uma nova visão dos dados. O controle de alterações requisita inicialmente o carregamento e análise dos dados armazenados. No passo seguinte, o controle de alterações envia, então, uma mensagem para criação de uma nova visão dos dados ao responsável pela coordenação das visões. O coordenador repassa os parâmetros de criação da nova visão ao ControleVisao que executa a configuração padrão inicial de cor, forma, tamanho e disposição (coordenadas nos eixos x, y e z) para os objetos da visualização. Essas configurações são então encaminhadas às etapas finais que necessitam ainda da construção de elementos característicos da técnica de dispersão de dados, como os eixos x, y, z e grades para melhor representar os planos cartesianos. Por fim, os objetos tridimensionais virtuais são agrupados e dirigidos ao módulo Gerador de Imagem Aumentada que se encarrega de gerar a imagem final devidamente apresentada ao usuário através de um dispositivo de saída de vídeo.

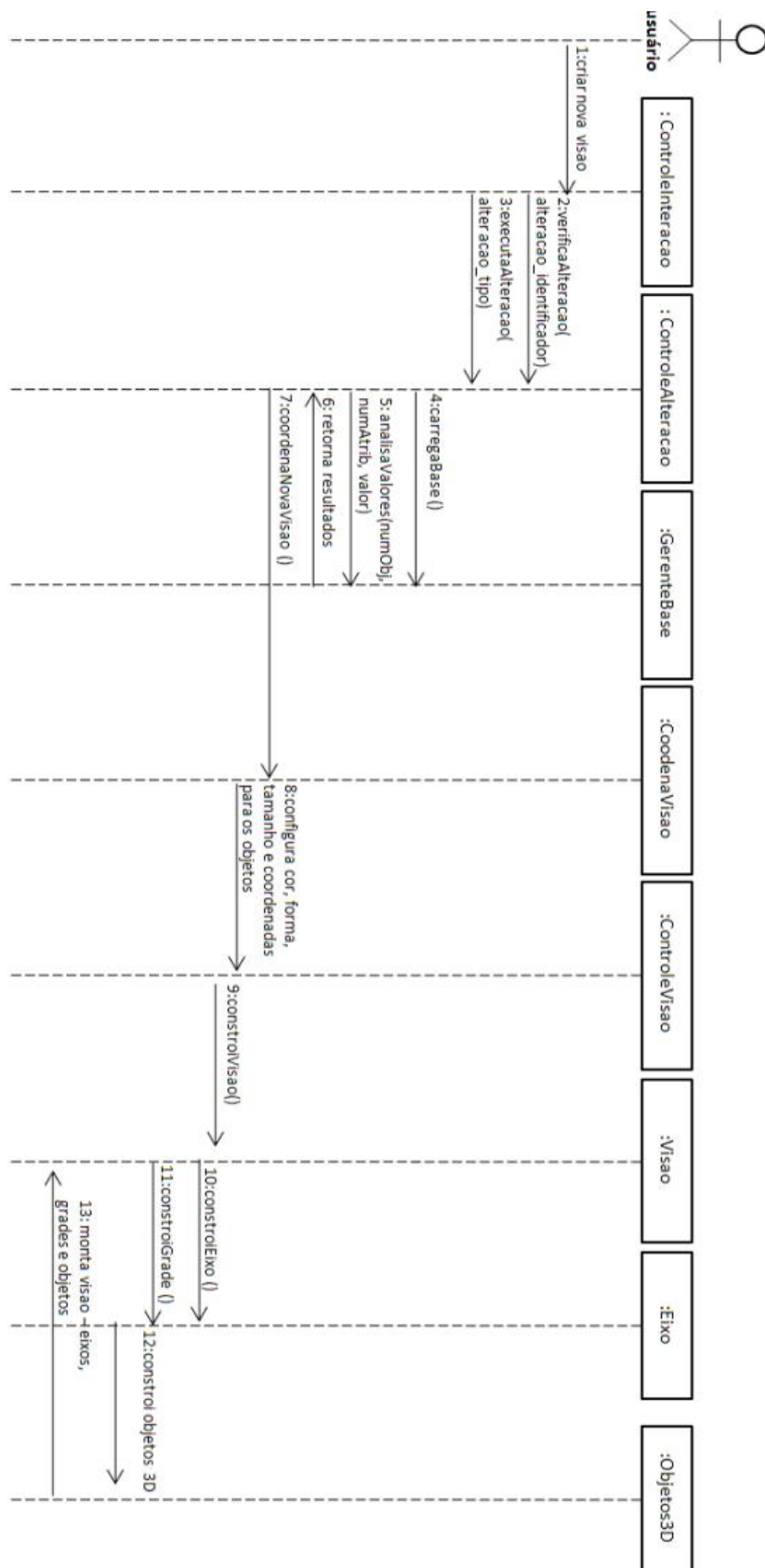


Figura 5.7 – Diagrama de Sequência para a criação de uma nova visão dos dados

Outra funcionalidade representada pelo diagrama de sequência é a da configuração do ambiente. No caso apresentado na Figura 5.8(b) a ação do usuário identificada no controle de alterações, objetiva configurar um atributo da base para representar cor nos objetos presentes nas visões de dados. Observa-se no diagrama que o controle de alterações requisita consulta aos dados armazenados ao gerente de base. O resultado da consulta a base de dados e os parâmetros da alteração são enviados ao coordenador das visões que reclama as devidas atualizações nas configurações de cor dos itens ao controle das visões.

Vale ressaltar que o exemplo da Figura 5.8(a) procede exatamente da mesma forma para as ações que implicam nas demais configurações do ambiente, como configurar forma, tamanho, e coordenadas dos itens de dados.

Nas ações de filtragem de itens, o controle de alterações repassa, primeiramente, uma mensagem ao objeto filtro, indicando qual tipo de filtro devera executar, por exemplo, o filtro de cor, como no caso do diagrama da Figura 5.8(b). O objeto filtro solicita consulta dos itens ao gerente de base para que as configurações da filtragem sejam finalizadas. O controle de alterações transmite a filtragem ao coordenador de visões que demanda as devidas alterações nas visões ao ControleVisao.

Para realizar a tarefa de seleção de objetos, o controle base requisita o acionamento de um verificador de colisão que se manifesta todas as vezes que o apontador virtual, manipulado pelo usuário, se sobrepõe a qualquer um dos objetos em alguma das visões disponíveis. Quando a colisão é detectada, o item selecionado é identificado e suas informações repassadas ao coordenador de visões para que as atualizações nas visões sejam realizadas pelo controle de visões.

A Figura 5.9 apresenta o diagrama de sequência para a seleção de objetos nas diferentes visões.

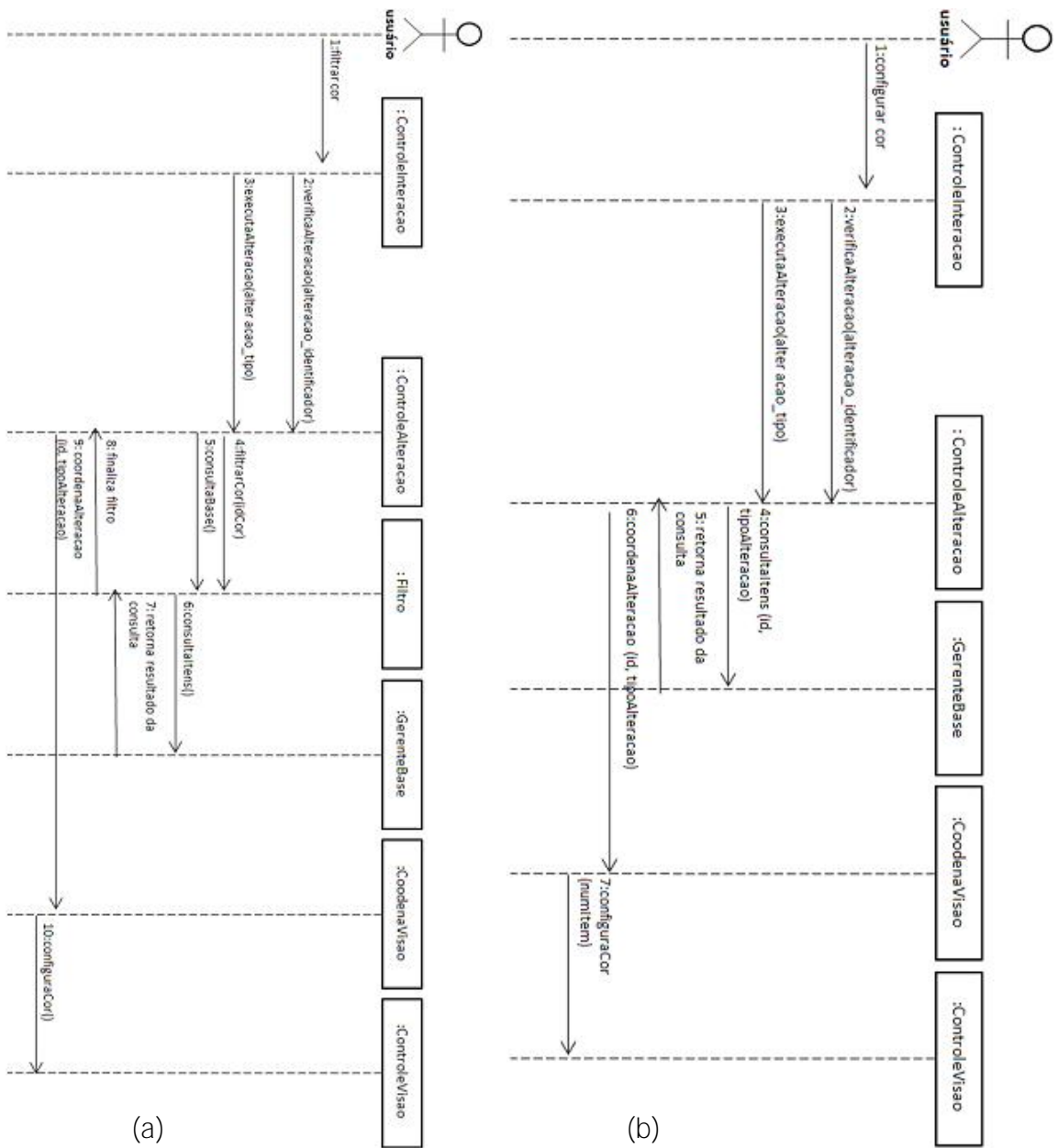


Figura 5.8 – (a) Diagrama de Sequência de configuração do ambiente e (b) diagrama de Sequência das ações de filtragem de itens.

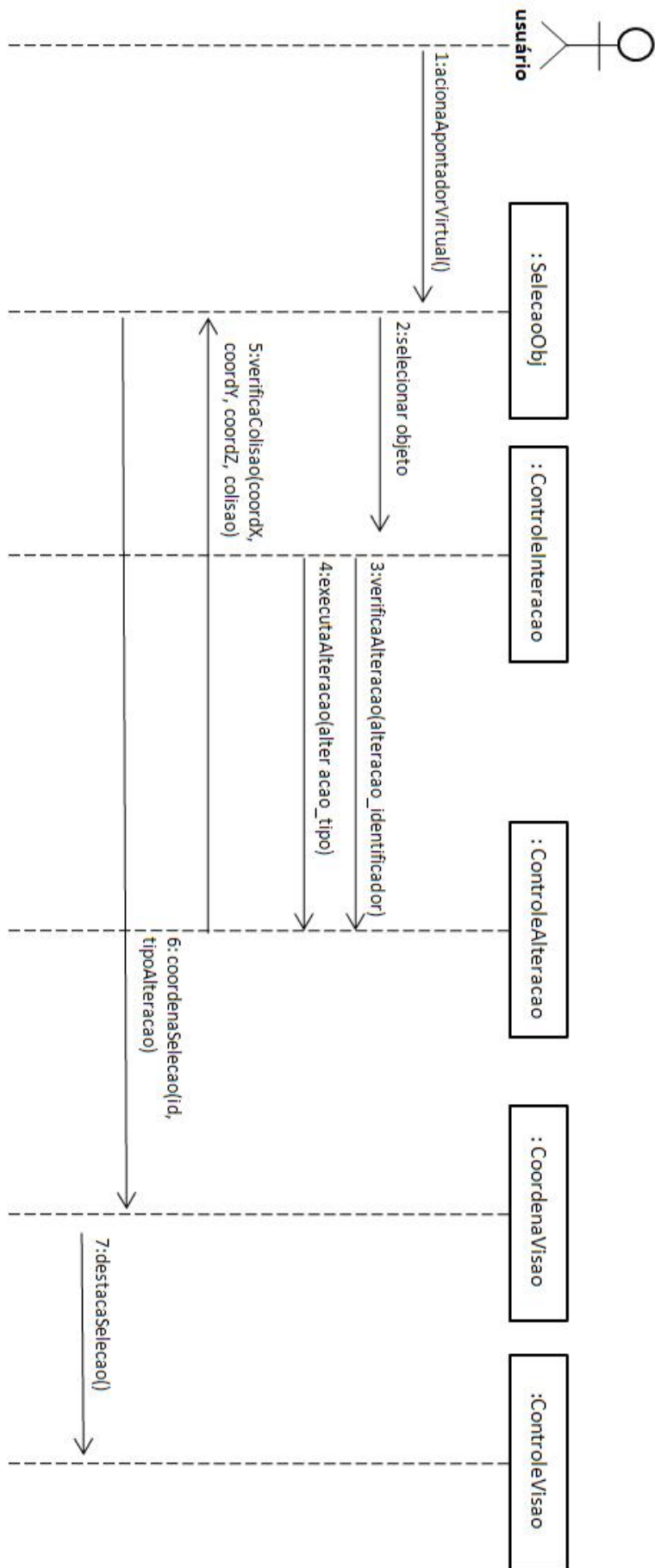


Figura 5.9 – Diagrama de Sequência da ação de seleção de itens

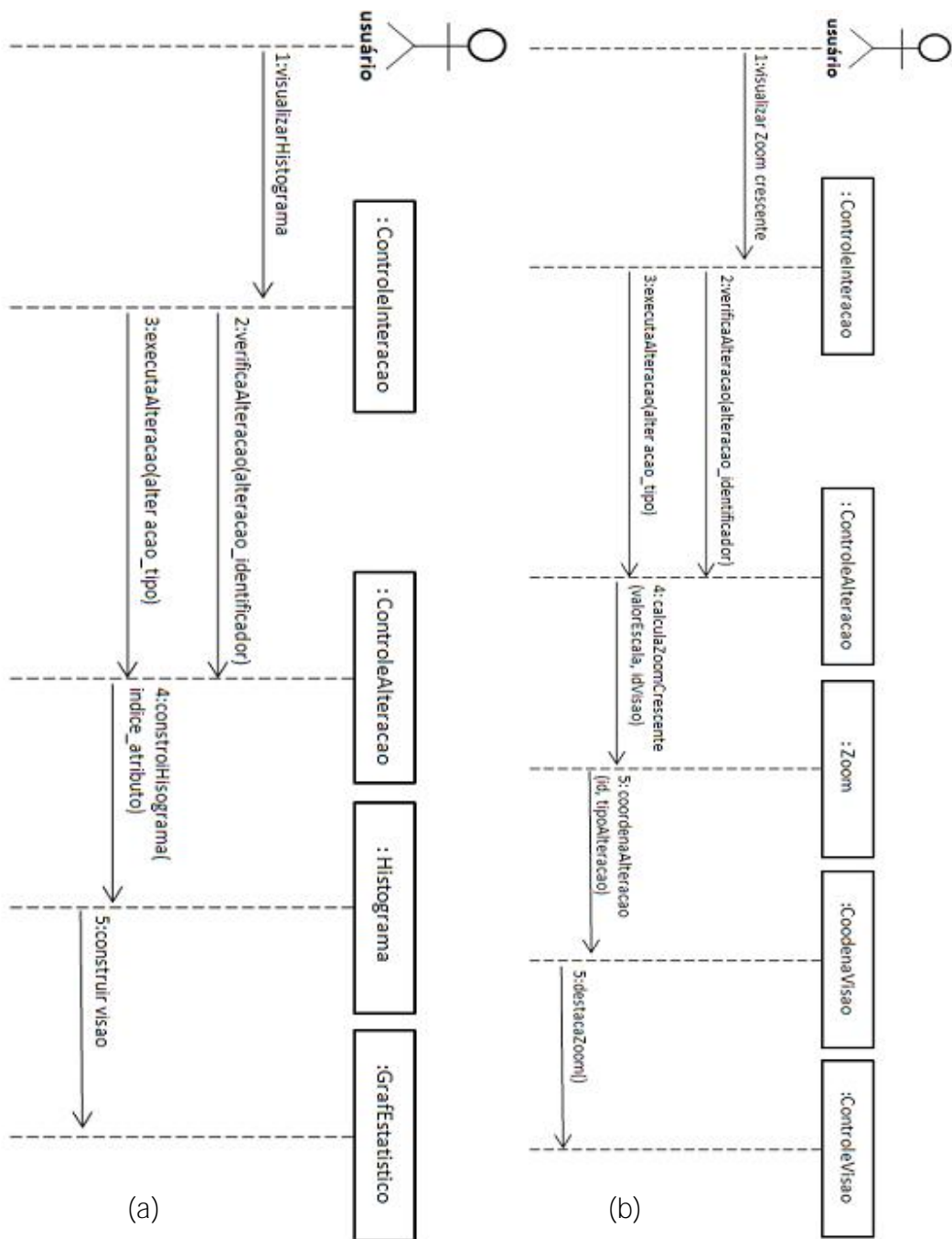


Figura 5.10 – (a)Diagrama de Sequência de execução da tarefa Zoom nas visões e (b) Diagrama de Sequência para visualização de gráficos estatísticos auxiliares.

O primeiro passo para executar a tarefa de Zoom é o de calcular as alterações nas escalas dos eixos da determinada visão. Dependendo o tipo de ação, o controle de alterações requisita a realização dos devidos cálculos para o zoom crescente (Figura 5.10(b)) ou para o zoom decrescente, para que mais uma vez as visões sejam atualizadas mediante o auxílio do coordenador e controlador das visões. A Figura 5.10(a) apresenta o diagrama de sequência para a visualização de um gráfico estatístico auxiliar. O controle de alteração solicita a construção do gráfico auxiliar mediante a consulta inicial a base do item que se deseja analisar.

5.5. INTERFACE AUMENTADA

A interface aumentada é composta pelas visões dos gráficos de dispersão de dados 3D, outros objetos virtuais (apontador virtual, gráficos estatísticos auxiliares, etc), pelos controles de interação acessados pela manipulação de artifícios tangíveis (cartões marcadores) e por objetos reais.

O protótipo possibilita a construção de n visualizações dos dados armazenados em base, utilizando a técnica de visualização de informações de dispersão de dados multidimensionais. O MVC-RA trabalha a versão tridimensional da técnica de dispersão de dados para melhor representar os elementos da base de dados analisada.

As principais configurações das visões são eixos X, Y e Z, e as diferentes configurações das representações dos itens visuais, que são:

- Forma: Cilindro, Cone, Cubo, Esfera e Torus.
- Cor: Azul, Laranja, Vermelho, Amarela, Branco, Preto, Cinza, Verde, Ciano, Roxo e Rosa.
- Tamanho: Pequeno, Médio e Grande.

A Figura 5.11 mostra um exemplo do protótipo em tempo de execução, destacando o aspecto colaborativo do ambiente aumentado e a presença simultânea de objetos reais e virtuais.

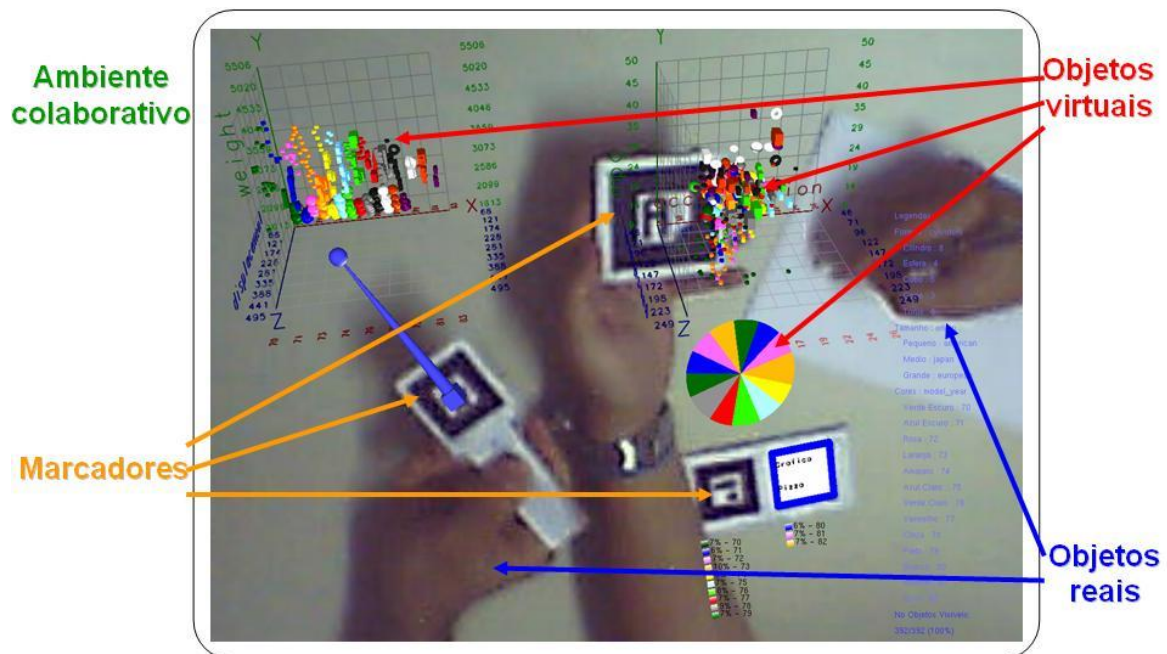


Figura 5.11 - Exemplo do MVC-RA em tempo de execução

A principal interação do usuário é realizada de forma direta pela oclusão dos marcadores. A interação por oclusão consiste em obstruir a captura do cartão marcador e reconhecimento do símbolo identificador presente em cada cartão pelo dispositivo de vídeo que está sendo utilizado. Essa obstrução é realizada normalmente com as próprias mãos.

Para facilitar o uso dos recursos da interface aumentada, o MVC-RA apresenta os cartões marcadores agrupados por funcionalidade (Figura 5.12), podendo ser manipulados e dispostos no ambiente de forma semelhante aos objetos reais, o que possibilita realizar determinadas ações de forma intuitiva como no caso de aplicar transformações geométricas básicas de translação, rotação e escala nas visões de dados apenas movimentando os marcadores livremente. Esta característica “lúdica” que constitui a interface aumentada atrai de certa forma o usuário, possibilitando a construção de uma infinidade de layouts para visualizar o conjunto de dados da análise.

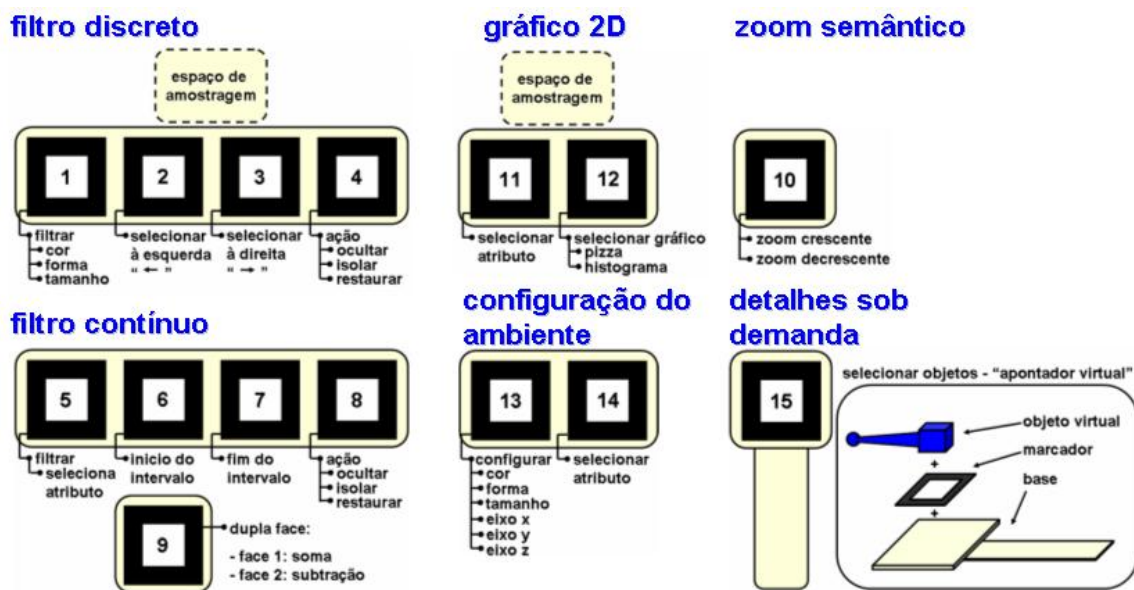


Figura 5.12 - Conjunto de cartões marcadores agrupados por funcionalidade

Para melhor compreender a interação por oclusão realizada nos agrupamentos de cartões marcadores, ilustrados na Figura 5.12, um usuário tem a seguinte tarefa: configurar seu ambiente, possibilitando um determinado atributo da base ser representado pela forma dos objetos 3D nas visualizações. Para realizar essa tarefa o usuário deve manipular o agrupamento de marcadores responsáveis pela configuração do ambiente e a cada obstrução de um marcador, uma nova opção de ação será apresentada. Então no caso específico deste exemplo, o usuário deverá ocluir o marcador “nº 13” da captura pelo dispositivo de vídeo, 2 vezes consecutivas para entrar na opção de configurar forma. Em seguida, manipulando da mesma forma o marcador “nº 14”, deverá escolher um novo atributo que irá ser configurar o item forma aos objetos.

Uma característica importante do protótipo é a possibilidade de fixar em cena qualquer uma visão da técnica de dispersão 3D construída. O procedimento é simples, basta obstruir o cartão marcador, referente à visualização que se pretende fixar, da captura pelo dispositivo de vídeo (Figura 5.13). Quando esta ação é executada o sistema guarda o último registro da matriz de transformação para fixar o objeto virtual em cena. Este tipo de artifício se tornou importante na interação com a interface aumentada, porque evita que o

usuário interaja com os marcadores de forma não intencional, uma vez que os mesmos não estão mais em cena, além de proporcionar mais espaço e liberdade no ambiente.

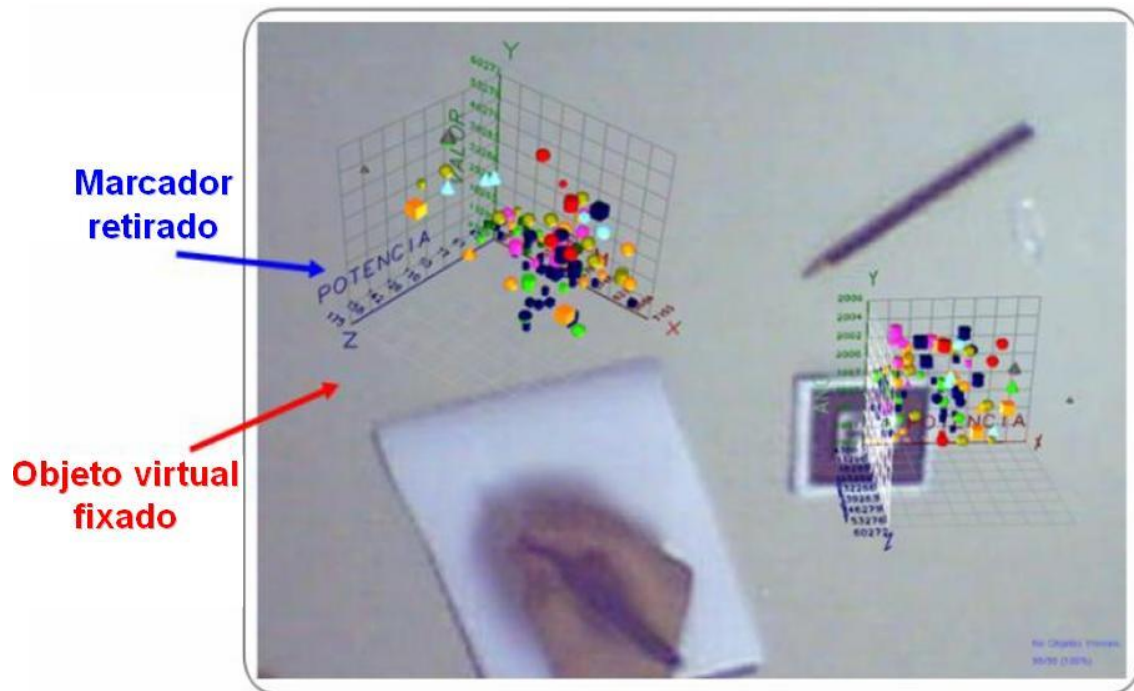


Figura 5.13 - Objeto virtual fixado em cena

5.5.1. VISÕES COORDENADAS

5.5.1.1. CARACTERÍSTICAS

Em relação às características de coordenação que o MVC-RA possui, destacam-se:

- Dados: Utiliza um único conjunto de dados para todas as visões;
- Flexibilidade de layout: usuário pode analisar ou consultar dados com visões individuais ou simultâneas (Figura 5.13);
- Coordenação: é classificada como estática, ou seja, a coordenação entre os pares de visões já está pré-definido. Podendo ser:
 - § Fortemente coordenada - como a cor (Figura 5.13), uma vez definida é codificada em todas as visões.

§ Fracamente coordenada - como o zoom semântico, que pode ser utilizado em qualquer uma das visões de dados, mas precisa ser configurado manualmente na interface aumentada para cada visão.

5.5.1.2. GRUPOS DE AÇÕES

Todas as ações disponíveis ao usuário do protótipo estão incluídas dentro de uma política de coordenação interna para a realização de qualquer interação com alguma das visões. Esta política de coordenação interna define dois grupos de ações:

- Ações Fortemente Coordenadas: as que afetam diretamente todas as visões mesmo que não estejam presentes em cena (sem alcance do dispositivo de vídeo).
 - § Filtros.
 - § Configuração do ambiente para atributos de cor, forma e tamanho.
 - § Seleção de objetos.
- Ações Fracamente Coordenadas: Afeta apenas a visão presente em cena.
 - § Configuração de eixos.
 - § Zoom semântico.
 - § Navegação (translação e rotação).

5.5.2. FILTROS

Nesta etapa de implementação do MVC-RA foram aplicados os conceitos de consultas dinâmicas (SHNEIDERMAN, 1994). Estes conceitos foram trabalhados tanto para atributos da base de dados com valores discretos, como para atributos com valores contínuos.

Este tipo de ação permite aos usuários realizarem consultas em base de dados sem precisar utilizar linhas de comando, manipulando apenas componentes gráficos de interface. No protótipo, qualquer tipo de filtro pode executar as seguintes ações:

- Ocultar: retirar de cena determinado item ou itens de dados que possuem a característica selecionada,
- Isolar: deixar em cena somente os itens com a característica selecionada;

- Restaurar: desfazer os filtros realizados anteriormente sobre os itens de dados.

5.5.2.1. FILTRO DISCRETO

Os filtros para atributos discretos trabalham as características configuráveis da visão de dados, tais como: cor, forma e tamanho. A Figura 5.14 ilustra o controle de filtro para atributos discretos.

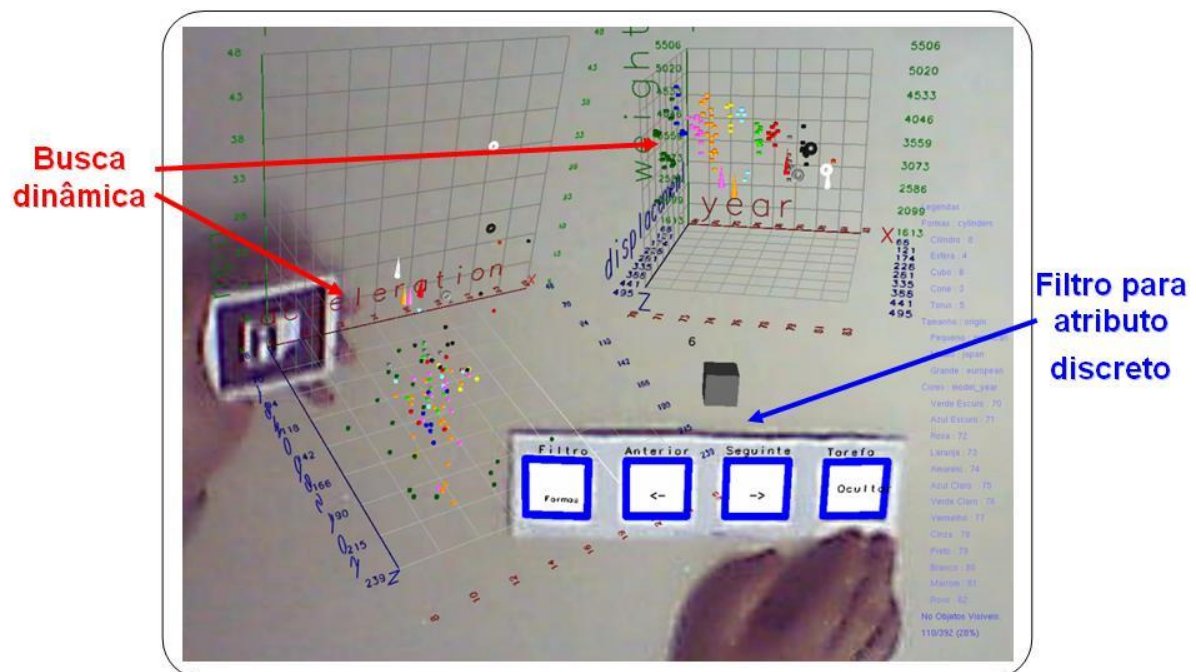


Figura 5.14 - Representação aumentada do filtro para atributos discretos

Neste exemplo o usuário está interagindo com o agrupamento de marcadores responsável por realizarem filtros para atributos discretos. Para chegar à cena ilustrada na Figura 5.14 as seguintes etapas foram realizadas:

- Selecionar *Formas*, no controle de filtros discretos, como tipo de filtro.
- Selecionar *Cubo* como a forma (entre os objetos3D primitivos) que será filtrada nas visões.
- Selecionar a tarefa (ou ação) *Ocultar* para determinar o tipo de ação que o

filtro executará.

No resultado final, evidenciado na cena da Figura 5.14, a tarefa executada ocultou de todas as visualizações os objetos cujos valores estavam configurados para serem representados com a forma de um cubo.

Em um segundo exemplo de filtro para atributos discretos (Figura 5.15), na cena ilustrada, os objetos que apresentam valores representados pela cor verde foram filtrados e retirados de cena para uma melhor análise dos elementos da base.

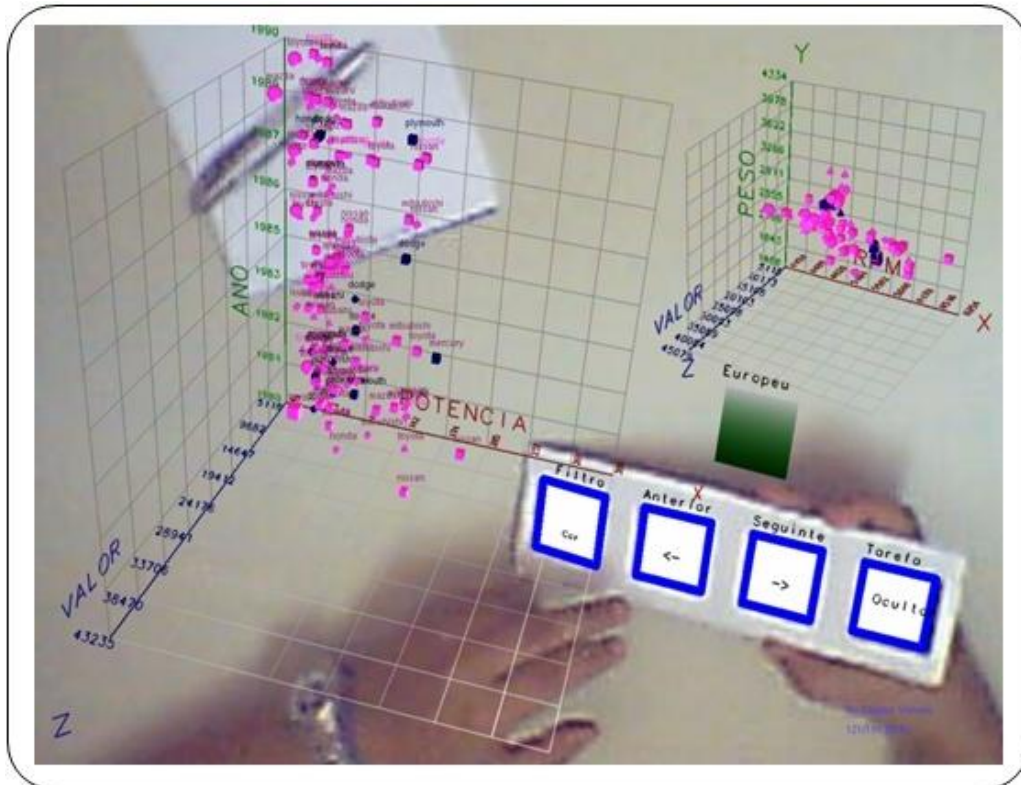


Figura 5.15 - Filtrando objetos pela cor

5.5.2.2. FILTRO CONTÍNUO

Para os filtros de atributos contínuos o usuário especifica intervalos de valores pertencentes ao determinado atributo que pretende analisar.

No controle de filtros para atributos contínuos o usuário deve inicialmente selecionar um atributo que deseja analisar em sua base, em seguida deve configurar um

intervalo pertinente ao valor do atributo analisado e por fim escolher o tipo de filtro que deverá ser executado.

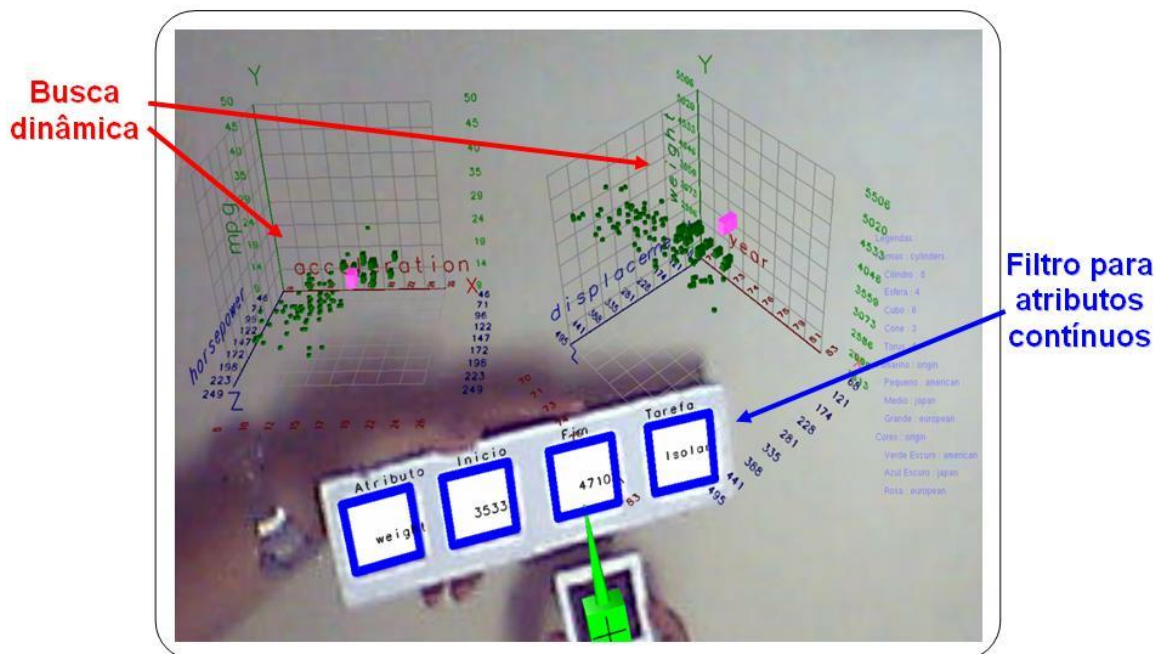


Figura 5.16 - Representação aumentada do filtro para atributos contínuos

O exemplo da Figura 5.16 foi construído a partir da análise de uma base de dados de domínio público contendo informações de automóveis. No exemplo em questão o usuário seleciona o atributo “*Weight*” (tradução: Peso) e em seguida determina que todos os objetos dentro de um intervalo de 3.533kg a 4.710kg sejam isolados nas visualizações, ou seja, os objetos fora do intervalo foram removidos de cena.

5.5.3. CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE

Quando uma nova visão da técnica de dispersão de dados é criada no ambiente aumentado, o procedimento padrão de criação realiza uma varredura na base de dados e utiliza os primeiros atributos que encontra que possam ser configurados para representar Cor, Forma, Tamanho e os Eixos X, Y e Z. Uma vez criada uma nova visão dos dados, o usuário poderá re-configurar os atributos que estão sendo utilizados para uma melhor

representação visual e análise dos dados.

Neste sentido, o protótipo permite ao usuário, através de um controle de configuração do ambiente, trocar livremente os atributos que configuram os eixos X, Y e Z

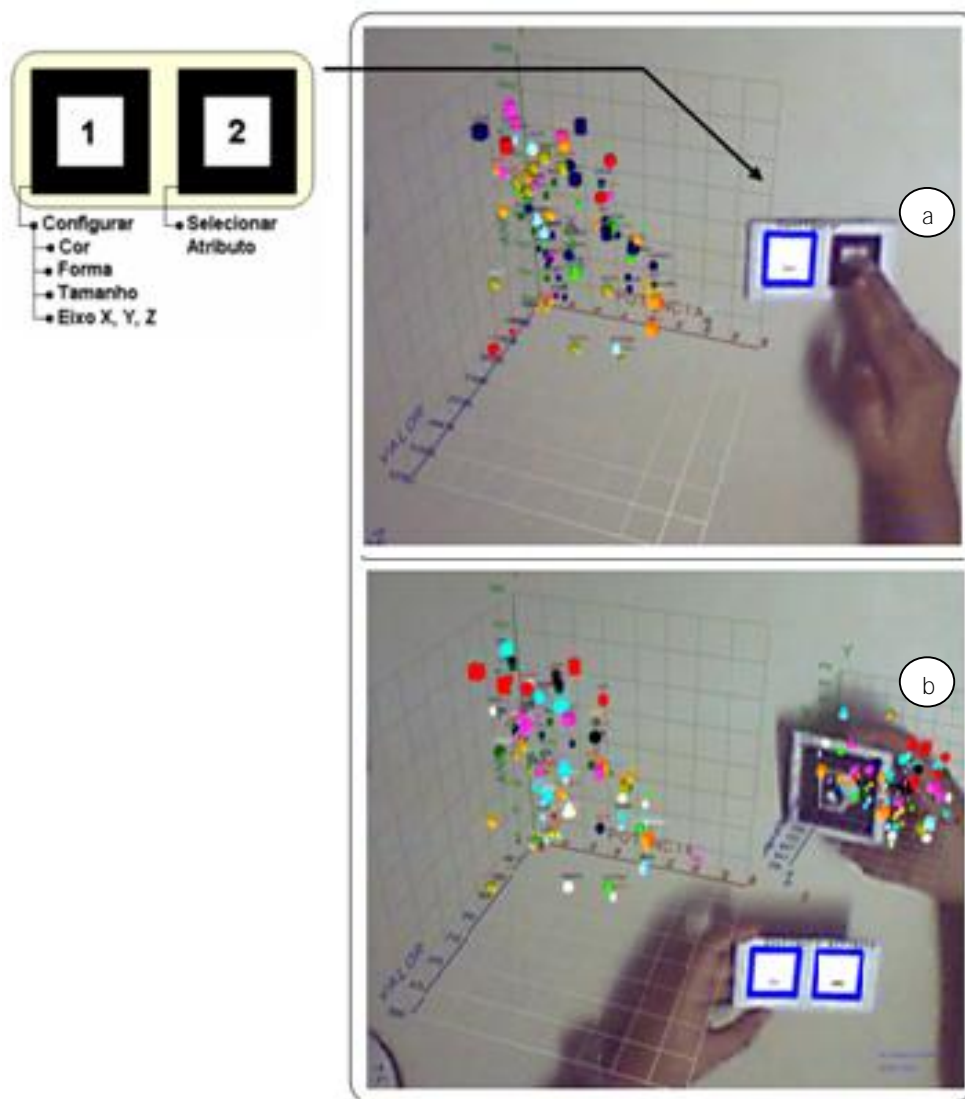


Figura 5.17 - Alterando o atributo configurado para Cor nas visões

No exemplo da Figura 5.17 (a) o usuário está interagindo com uma visão dos dados através do controle de alterações do ambiente. Utilizando a interface aumentada, ele determina que outro atributo passe a configurar as cores dos objetos na sua visualização. Observa-se então, que em seguida o usuário cria uma nova visão dos dados (Figura 5.17(b)) que já apresenta suas configurações atualizadas para o item de cor, destacando o caráter

fortemente coordenado da ação de configuração do ambiente, contrastando, ainda no mesmo exemplo, com zoom semântico que possui fraca coordenação entre as visões.

5.5.4. ZOOM SEMÂNTICO

O zoom semântico permite ao usuário visualizar áreas da visão de dados com mais precisão e mais detalhes conforme a visão do usuário se aproxima dos objetos virtuais (Figura 5.18).

Na interface aumentada do protótipo, o marcador utilizado para o zoom possui duas faces: uma executa o zoom crescente e a outra o decrescente.

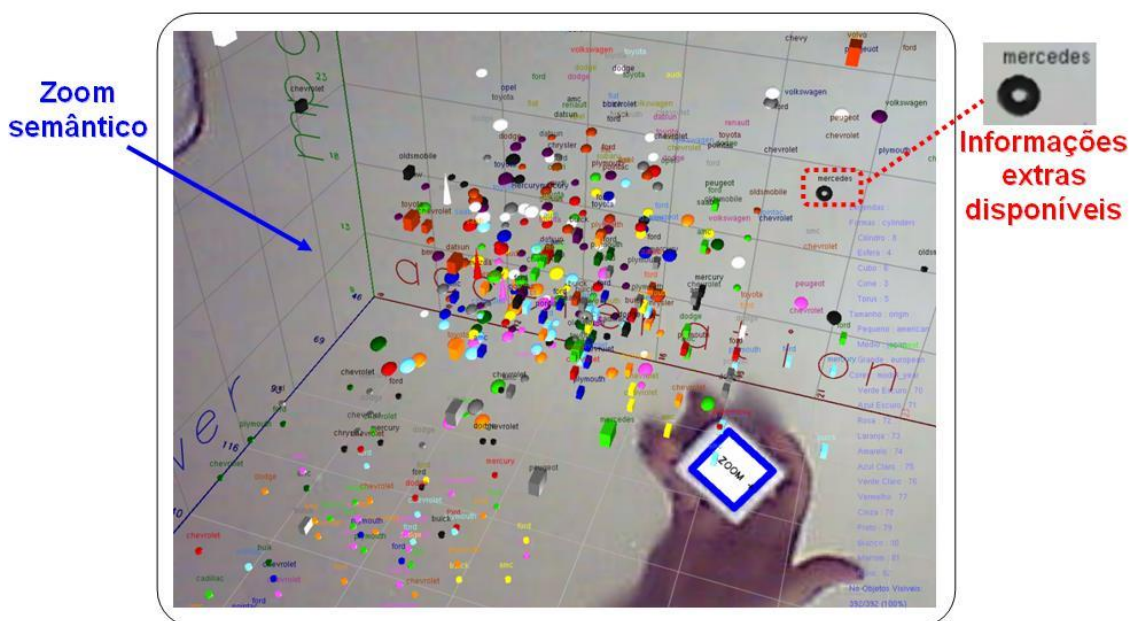


Figura 5.18 - Exemplo de Zoom Semântico

5.5.5. GRÁFICOS AUXILIARES

O protótipo conta com gráficos estatísticos bidimensionais auxiliares de Pizza (Figura 5.19) e Histograma (Figura 5.20) com o objetivo de auxiliar o usuário com novas informações sobre os dados que estão sendo visualizados.

Na manipulação dos gráficos auxiliares, o usuário pode configurar o atributo que quiser analisar. As tarefas de filtro as únicas coordenadas aos gráficos auxiliares.

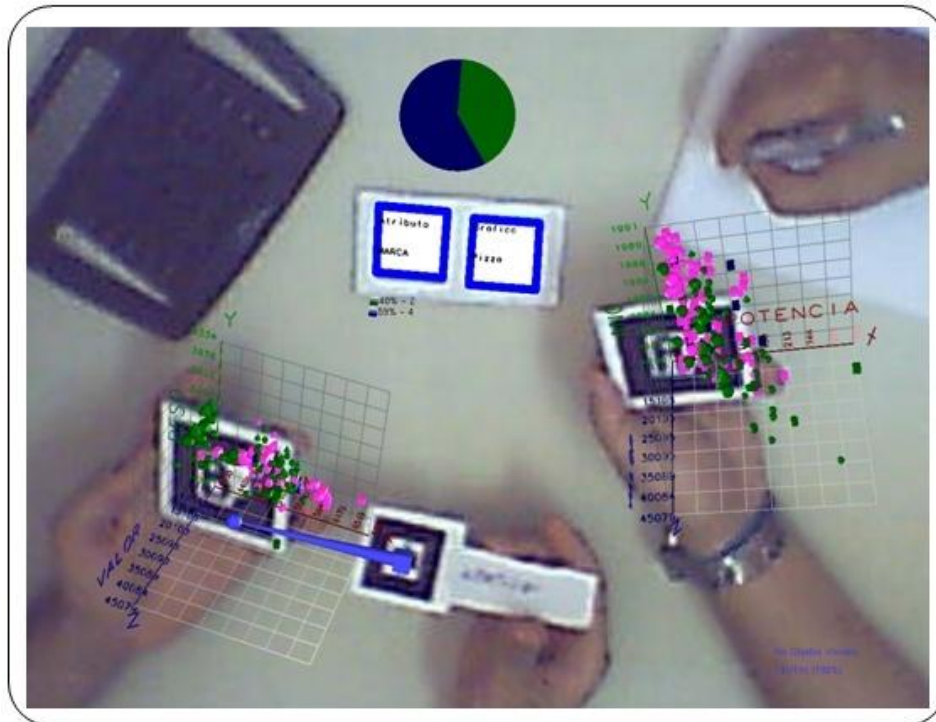


Figura 5.19 - Gráfico de Pizza auxiliando análise

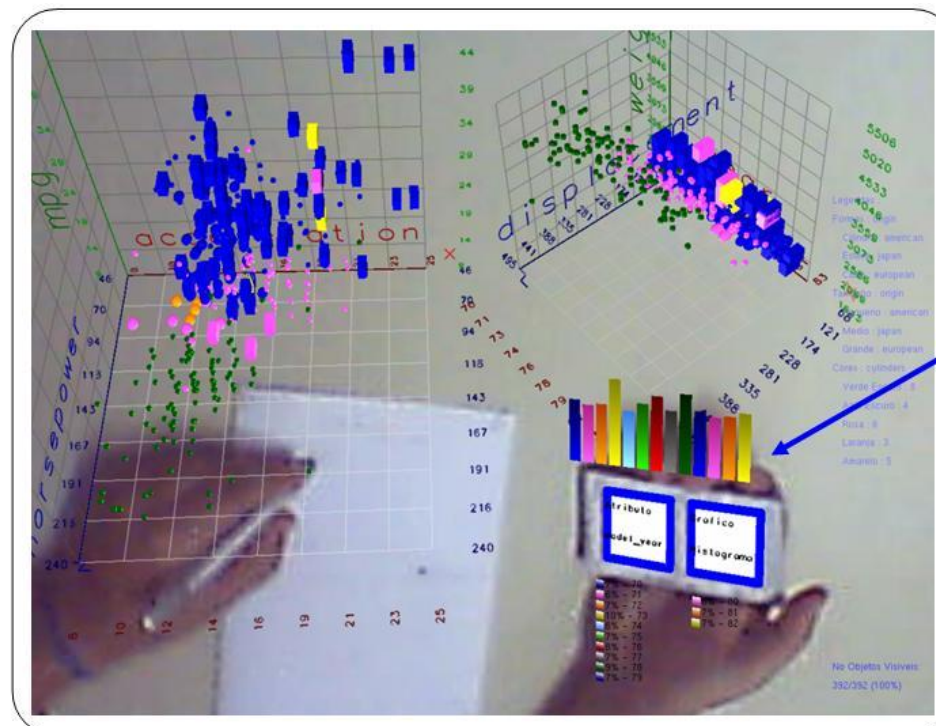


Figura 5.20 - Exemplo do gráfico Histograma

5.5.6. DETALHES SOB DEMANDA

Uma outra forma de interação com a interface aumentada presente no MVC-RA se da por meio de uma interface tangível, um objeto virtual denominado “Apontador Virtual”. O apontador é um objeto virtual semelhante a uma “haste de madeira virtual fina e alongada” manipulado através de um cartão marcador, funcionando como uma extensão do próprio dedo do usuário. O objetivo do apontador virtual é de possibilitar a seleção de qualquer objeto presente nas visualizações. A seleção se da de forma bastante dinâmica com a colisão da extremidade do apontador com algum objeto virtual.

O objeto selecionado é imediatamente identificado, e suas informações, ainda implícitas, são disponibilizadas no ambiente aumentado para a visualização e análise do usuário, como mostra o exemplo da Figura 5.21.

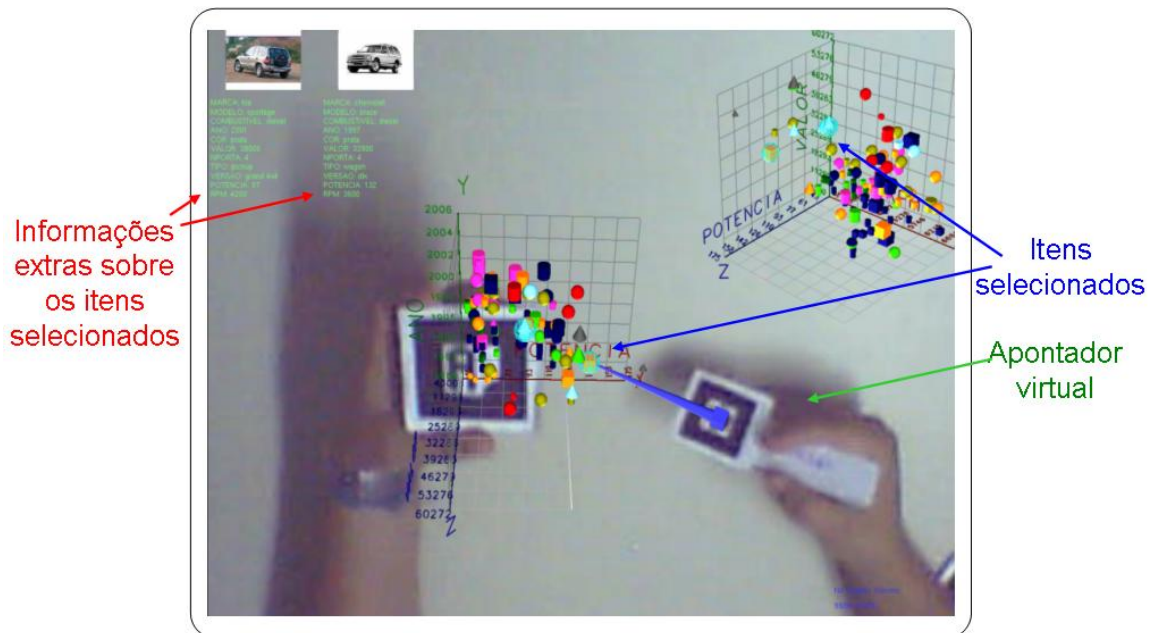


Figura 5.21 - Detalhes sob demanda no ambiente aumentado

Ainda no exemplo da Figura 5.21, pode-se observar que os elementos selecionados são destacados em todas as visualizações por um *wireframe* enfatizando o aspecto

fortemente coordenado desta tarefa. As informações extras referentes aos itens selecionados são disponibilizadas no ambiente aumentado por meio de texto 2D.

5.5.7. AJUDA

O item ajuda permite detalhar o funcionamento de cada marcador, caso haja dúvida em seu funcionamento. O seu uso é simples, enquanto o marcador de ajuda estiver visível, todos os grupos de marcadores presentes em cena disponibilizarão informações referentes ao seu modo uso e como estão configurados naquele momento.

5.6. ENSAIOS DE USABILIDADE E EXEMPLOS DE USO

Estes primeiros ensaios de usabilidade têm objetivo de explorar a questão referente à viabilidade do uso de múltiplas visualizações de informação coordenadas em ambientes aumentados. As tarefas escolhidas para os testes com usuários e suas respectivas respostas foram propostas por Pillat (2005), e demandam diferentes ações do usuário, tais como: configuração das visões, correlações entre os dados, delimitação de intervalos, entre outras, necessárias em qualquer ferramenta de visualização de informação para completar a tarefa com sucesso. As tarefas utilizadas foram:

- Tarefa 1: Os Carros com 4 cilindros Japoneses são geralmente mais baratos que os de 6 cilindros Americanos?
- Resposta 1: Não.
- Tarefa 2: Analise as informações e descreva as principais características dos carros Americanos;
- Resposta 2: possuem aceleração entre 8 e 22.2, principalmente entre 11 e 19. A maioria dos carros tem 8 cilindros. O peso está distribuído uniformemente. Os valores de MPG também são distribuídos uniformemente. O Cavalos de força se encontra concentrado entre 88 e 155.
- Questão 3: Qual a tendência dos carros europeus com o passar dos anos?
- Resposta 3: Aceleração entre 12.2 e 24.8, e peso leve. Os cavalos de força mantiveram-se estáveis até 1977 quando se observa um acréscimo e no ano seguinte diminui novamente. Há poucos carros de 5 ou 6 cilindros, mas a

maioria é de 4 cilindros. MPG se manteve entre 18 e 31 de 1970 a 1976 elevando-se consideravelmente posteriormente.

A base de dados utilizada nos ensaios é de domínio público contendo informações sobre carros americanos, japoneses e europeus entre os anos de 1970 e 1982. Possui 8 atributos, sendo 5 contínuos e 3 categóricos.

Os usuários que participaram dos testes receberam uma breve explanação, de aproximadamente 20 minutos, a respeito do funcionamento do ambiente aumentado e da interação com os cartões marcadores.

A tarefa 1 foi utilizada como exemplo prático para aumentar a experiência e confiança dos usuários na realização dos testes posteriores. Assim, os testes comparativos ficaram restritos as tarefas 2 e tarefa 3, que são similares e possuem grau de dificuldade crescente. Foram realizados testes com 5 usuários homens, com idades entre 21 e 32 anos, com boas habilidades no manuseio do computador, nenhum havia interagido com ambientes de realidade aumentada ou tinham alguma experiência de uso dos cartões marcadores. Todos os usuários envolvidos nos testes detêm conhecimento introdutório sobre técnicas de visualização de informação.

Apesar de familiarizados com computadores, os usuários dos testes detinham pouca ou nenhuma experiência com ferramentas de visualização de informação.

Foi analisado cada item das respostas dos usuários, por exemplo, na tarefa 2 qual foi a resposta para o atributo 1, para o atributo 2, para o atributo 3 e assim por diante, cada uma foi considerada certa ou errada, e depois quantificada a quantidade de acerto. Os resultados da realização das tarefas em relação às respostas dadas e o tempo gasto pelos usuários podem ser vistos respectivamente na Figura 5.22 e Figura 5.23.

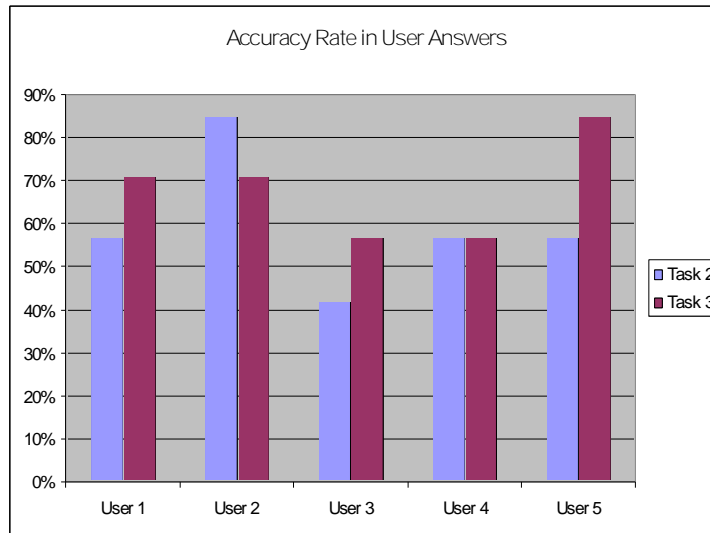


Figure 5.21 - Taxa de exatidão nas respostas dos usuários

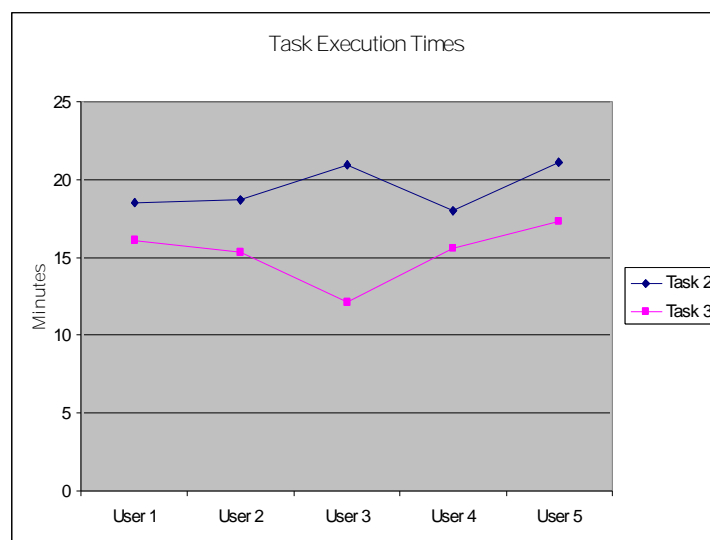


Figure 5.22 - Tempo de execução das tarefas

Em relação à precisão de acerto, 80% dos usuários acertam com maior ou igual precisão a tarefa 3 em comparação a tarefa 2, considerada por Pillat (2005) como uma tarefa mais complexa. Em consideração ao tempo gasto 100% dos usuários gastaram menos tempo na tarefa 3 quando comparado com a tarefa 2. Assim, apesar dos poucos testes realizados, pode-se inferir que conforme os usuários ganham mais experiência e confiança no uso do ambiente e conhecimento dos dados existe uma tendência de resposta mais precisas e mais rápidas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação tem o objetivo mais amplo de expor e discutir a potencialidade da Realidade Aumentada para aplicações de Visualização de Informação, que requerem uma boa e intuitiva interface de interação e capacidade de apresentação para muitos dados. Em termos mais específicos, o trabalho teve como objetivo o projeto, implementação e utilização de um protótipo, denominado de MVC-RA, que implementa a técnica de dispersão de dados 3D em ambiente de realidade aumentada, para auxílio no conhecimento dos dados e os relacionamentos entre eles. Devido às características de RA, o MVC-RA possibilita ainda uma maior colaboração entre os usuários, pois usuário, dados e objetos reais e virtuais se encontram em um mesmo ambiente.

Conseqüentemente, outros objetivos periféricos foram atingidos, tais como:

- i) MVC-RA implementa as recomendações de uma boa ferramenta de visualização: visão geral, filtro, detalhes-sob-demanda e zoom semântico;
- ii) MVC-RA segue as diretrizes para uma boa ferramenta de múltiplas visões coordenadas, implementa de forma coordenada seleção, configuração de atributos visuais e filtro;
- iii) Contribuições no desenvolvimento de novas funcionalidades para ARToolKit;
- iv) Desenvolvimento de uma arquitetura para a implementação mais facilitada de novas técnicas ou funcionalidade.

O MVC-RA foi desenvolvido com ferramentas gratuitas: OpenGL, para construção dos objetos virtuais, ARToolKit para misturar cenas reais e objetos virtuais criados através de marcadores na cena, e a linguagem C/C++ para integrar todos esses módulos e realizar as mudanças necessárias.

Outras opções de tecnologias para a implementação do MVC-RA foram consideradas ao longo do projeto, como o JARToolKit e Java3D. Porém, esta alternativa se mostrou com baixa performance, instável em função da sua susceptibilidade a luz ambiente. Ainda assim, deve-se destacar que um projeto totalmente em Java ganha força em orientação à objeto, portabilidade, reusabilidade, etc.

A etapa de construção dos mecanismos de coordenação entre os módulos que implementam as técnicas de visualização de informação se mostrou um desafio deste trabalho. Os conceitos de mecanismos fortemente e fracamente coordenados foram utilizados na concepção das políticas de coordenação do MVC-RA, facilitando a identificação da interação com o protótipo e se essa interação modificará uma única visão de dados ou todas as visões de dados da cena. A interface aumentada contou com controles de ações coordenadas entre as visões, como filtros dinâmicos para atributos discretos e contínuos, detalhes sob demanda (seleção de objetos) e configurações de ambiente, além de gráficos estatísticos auxiliares (pizza e histograma), zoom semântico e navegação livre.

Outras técnicas de visualização de informação são passíveis de serem desenvolvidas, seguindo as mesmas premissas do MVC-RA para a técnica de dispersão de dados 3D.

As principais dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento deste projeto foram:

- Instabilidade do ARToolKit em manter os objetos virtuais em cena, em função da iluminação do ambiente para identificação dos marcadores;
- Aprendizado da API OpenGL, mais especificamente para criação em tempo de execução das seqüência de transformações geométricas necessárias oriundas da interação do usuário;
- Necessidade de um bom *hardware* gráfico para renderização dos objetos virtuais e das cenas aumentadas.

Foram realizados os primeiros ensaios com usuários com o objetivo de avaliar as idéias propostas. Durante a execução dos testes foi possível verificar o uso eficiente dos controles implementados bem como do recurso das múltiplas visões coordenadas para a resolução das questões.

Os ensaios também revelaram, em média, a alta adaptabilidade dos usuários ao ambiente aumentado, onde apenas um usuário teve maiores problemas levando cerca de 11 minutos para se adaptar ao ambiente e ao modelo de interação por marcadores, verificado com a tarefa 1. Outras dificuldades registradas durante a execução dos testes foram em relação ao uso excessivo de marcadores e problemas de captação de identificação dos

marcadores pelo dispositivo de captura de vídeo o que, em alguns momentos, deixavam a interface instável. Em entrevista posterior aos testes, os usuários puderam dar suas opiniões e sugestões a respeito de:

- Uma primeira experiência em ambientes de RA: os usuários destacaram, entre as principais vantagens, a facilidade de se adaptar ao ambiente aumentado, de fácil aprendizagem, em alguns momentos se torna divertido, imersivo, possui maior liberdade de movimentos e de manipular objetos virtuais e reais ao mesmo tempo num espaço muito maior de trabalho. Como desvantagens apontaram a falta de precisão de movimentos em alguns momentos, devido algumas falhas na detecção dos marcadores, além de demasiadas repetições de ações de interação e o uso excessivo de marcadores.
- Uso de técnicas de visualização de informações em ambientes de RA: na opinião dos usuários as principais vantagens estão na liberdade de manipulação das visualizações de dados e no espaço livre para se trabalhar os dados representados visualmente e objetos reais, além do próprio aspecto colaborativo que o ambiente proporciona. As desvantagens ficam por conta dos investimentos em equipamentos mais adequados, como óculos de realidade aumentada, que de acordo com as expectativas dos usuários, traria ganhos significativos à execução das tarefas propostas.
- O uso do recurso de múltiplas visões coordenadas em RA: a possibilidade de configuração dos eixos dos gráficos nas visões principais, e diferentes perspectivas das informações contidas na base de dados, permitiu aos usuários realizarem comparações mais precisas e mais rápida em uma análise dos dados.

6.1. TRABALHOS FUTUROS

Como extensões deste trabalho, podem-se citar os seguintes pontos:

- Implementar novas técnicas de visualização de informação para o protótipo existente;

- Utilizar novo conjunto de tecnologias, tais como JARToolKit e Java3D, que precisam ser melhorados em função da sua falta estabilidade na sincronização de objetos virtuais e a cena real;
- Utilização de periféricos não convencionais pelas aplicações implementadas na arquitetura proposta, e seus impactos na mesma;
- Utilizar comandos de voz como alternativa para interação do usuário;
- Estender os ensaios de usabilidade para novas tarefas e número de participantes;
- Desenvolver um mecanismo de controle de coordenação entre as visões mais flexível.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZUMA, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. Macintyre, B. Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications*. Vol6, n. 6, November/December, 2001. p.34-47.

BALDONADO, M. and Kuchinsky, A. Guidelines for Using Multiple Views in Information Visualization. *AVI, Palermo, Italy, 2000*. Pág 110-119.

BEZERRA, E. Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML. *Rio de Janeiro: Campus 2002*.

BIMBER, O. and Raskar, R. Spatial Augmented Reality – Merging Real and Virtual Worlds. *A. K. Peters Ltd. Wellesley, Massachusetts 2005*.

BOOCH, G., Rumbaugh, J. and Jacobson, I. UML: Guia do Usuário. *Rio de Janeiro: Campus 2000*.

BRATH, R. K. Effective Information Visualization Guidelines and Metrics for 3D Interactive Representations of Business. *Master Project of Toronto University, 1999*. Disponível em: <http://www3.sympatico.ca/blevis/thesis49toc.html>.

BUENO, et. al. Meta3D++ - Visualização de Informações em Realidade Aumentada. *WRA 2005, Piracicaba, Anais. Piracicaba: UNIMEP, 2005*. p.33-36.

CARD, S., Mackinlay, J., and Shneiderman, B. Readings in Information Visualization Using Vision to Think. *Morgan Kaufmann, 1999*.

CARDOSO, A., Soares, L. P. RV Suportada pelas Tecnologias VRML e X3D. *Realidade Virtual - Uma Abordagem Prática. Minicursos SVR 2004*. pág. 25 – 70, 2004

CARR, D. Wiss, U., Jonsson, H. Evaluating 3-Dimensional Information Visualization Designs. *Departament of Computer Science and Electrical engineering, Lulea University, 1998*. Disponível em: <http://www.sm.luth.se/~hj/art-iv98.shtml>.

CHEN, C. Information Visualization and Virtual Environments. *Londres: Springer, 1999*. 223 p.

COHEN, M., Manssour, I. H. OpenGL - Uma Abordagem Prática e Objetiva. *Novatec, 2006*.

FAYYAD, U., Grinstein, G., Wierse, A. Information Visualization in Data Mining and Knowledge Discovery. *São Francisco: Morgan Kaufmann, 2002*. 391 p.

FURUHATA, R., Fujishiro, I., Maekawa, K., Yamashita, Y. Information Visualization and Visualization Techniques. 2004. Disponível em: <http://www.imv.is.ocha.ac.jp/MIKY/>

GAMMA, E. Design patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. **Baarn - Holanda: Addison-wesley, 1995. 395 p.**

GEIGER, C. JARToolKit – A Java binding for ARToolKit, **IEEE JARToolKit.** Disponível em: <http://jerry.c-lab.de/jartoolkit/>. Acessado em: 15 de Novembro de 2005.

HUGHES, C. E., Stapleton, C. B. The Shared Imagination: Creative Collaboration in Augmented Virtuality. **Proceedings of Human Computer Interfaces International 2005 (HCII'05), Las Vegas, July 23-27, 2005.** Disponível em: <http://www.cs.ucf.edu/ceh/Publications/Papers/CrossCutting/HCII05HughesStapleton.pdf>. Acessado em: 1 de junho de 2006.

KATO, H., Billinghamurst, M. and Poupyrev, I. ARToolKitversion 2.33 Manual. Disponível em: http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space. Acessado em: 15 de Novembro de 2005.

KIRNER, C., Tori, R. Introdução a Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade. Em: **KIRNER, Cláudio e TORI, Romero (Orgs).** Realidade Virtual: Conceitos e Tendências. São Paulo: Mania de Livro, 2004.

MAPLE, C., Manton, R. and Jacobs, H. The Use of Multiple Co-ordinated Views in Threedimensional Virtual Environments. **London United Kingdon. IV04 Information Visualization 2004. p. 778-784.**

MEIGUINS, B. S., Carmo, R.M.C., Gonçalves, A. S., Godinho, I. P., and Garcia, M. B. Using Augmented Reality for Multidimensional Data Visualization. **London United Kingdom: IV06 Information Visualization 2006. p. 529-534.**

MILGRAM, P. and Kishino, F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. **IEICE Transactions on Information Systems 1994.**

NASCIMENTO, H., Alexandre D., Ferreira, C. B. R. Visualização de Informação: Uma Abordagem Prática. **Congresso Da Sociedade Brasileira De Computação. XXIV JAI. São Leopoldo: Sbc, 2005. p. 1262 - 1312.**

NEWRICK, J., Martin, R. C. Extreme Programming in Practice. **Montreal: Addison Wesley, 2001. 204 p.**

NORTH, C. and Shneiderman, B. Snap-Together Visualization: A User Interface for Coordinating Visualizations via Relational Schemata. **Advanced visual interfaces International Working Conference May, 2000. p23-26.**

OLIVEIRA, C. F. and LEVKOWITZ, H. From Visual Data Exploration to Visual Data Mining: A Survey. **Ieee Transaction, Londres, 2003. p.378-394.**

PANAS, T., Berrigan, R., Grundy, J. A 3D Metaphor for Software Production Visualization. Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization (IV'03). IEEE. 2003.

PILLAT, R. M., Valiati, E. R. and Freitas, C. M. D. Experimental Study on Evaluation of Multidimensional Information Visualization Techniques. In: CLIHC'05, Cuernavaca, 2005 - Mexico. p. 20 - 30.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software. 5ª edição. São Paulo: Mcgraw-hill, 2002.

RUMBAUGH J., Michael B., Premerlani W., Eddy F., Lorensen W. Modelagem e Projetos Baseados em Objetos. Rio de Janeiro: Editora Campus,1994. 449p.

SHNEIDERMAN, B. Dynamic queries for visual information seeking. IEEE Software, vol. 11, n. 6, Novembro, 1994. p.70-77.

SHNEIDERMAN, B. The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations. Proceedings of IEEE Visual Language, 1996. p.336-343.

SLAY, H., Philips, M., Vernik, R. and Thomas, B. Interaction Modes for Augmented Reality Visualization. Proceedings of Australian Symposium on Information Visualisation, Sydney, December 2001.

SPENCE, R. Information Visualization. Barcelona: Acm Press, 2001. p. 459.

STEUER, J. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. Stanford University, 1993.

TORI, R., Kirner, C., Siscoutto, R. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual Aumentada. Livro do Pré-Simpósio VIII Symposium on Virtual Reality. Porto Alegre, Ed SBC. 2006.

VALLINO, J. Interactive Augmented Reality, Department of Computer Science, University of Rochester, New York, 1998.

VALLINO, J. Introduction to Augmented Reality. 2002. Disponível em: <http://www.se.rit.edu/~tjv/research/ar/introduction.html#Section1>. Acessado em: 18 de Novembro de 2005.

WALSH, A. E., and Gehringer, D. Java 3D API Jump -Start.Prentice Hall PTR. 2002.