



**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA**  
**MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES EDUCACIONAIS  
INTERATIVAS E COLABORATIVAS COM REALIDADE AUMENTADA**

**FRANCISCO CÉSAR DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO KIRNER**

**PIRACICABA, SP**  
**2010**



**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA**  
**MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES EDUCACIONAIS  
INTERATIVAS E COLABORATIVAS COM REALIDADE AUMENTADA**

**FRANCISCO CÉSAR DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO KIRNER**

Dissertação apresentada ao Mestrado em  
Ciência da Computação, da Faculdade de  
Ciências Exatas e da Natureza, da  
Universidade Metodista de Piracicaba –  
UNIMEP, como requisito para obtenção do  
Título de Mestre em Ciência da  
Computação.

**PIRACICABA, SP**  
**2010**

# **DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES EDUCACIONAIS INTERATIVAS E COLABORATIVAS COM REALIDADE AUMENTADA**

AUTOR: FRANCISCO CÉSAR DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: CLAUDIO KIRNER

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2010, pela Banca Examinadora constituída dos Professores:

Prof. Dr. Claudio Kirner – UNIMEP (Orientador)

Prof<sup>a</sup>. Dra. Tereza Gonçalves Kirner – UNIFEI

Prof. Dr. Marcio Merino Fernandes – UFSCar

Aos

*meus pais, Iolmar e Leonilda, pelos*

*esforços pela minha educação*

Ao

*meu pai biológico, Francisco Cepryano, homem*

*de extraordinária visão e interesse pela*

*educação e que nos deixou muito cedo (1967)*

Aos

*meus irmãos, Alexandre e Alciléia, pela exagerada*

*confiança nos meus atos*

Aos

*meus filhos maravilhosos, Andrés e Thaís, o maior*

*presente que Deus podia me ofertar*

A

*minha esposa Carolina, por me apoiar durante os*

*anos em que passamos juntos.*

A

*Deus, meu fiel amigo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Claudio Kirner, pela sabedoria, competência e impressionante dedicação como educador. Sou imensamente grato pela confiança depositada já como aluno iniciante de graduação, o qual me fez trilhar por outros horizontes. Grato também pela amizade, trabalhos realizados em parceria e, principalmente, pelo incentivo, palavra mágica que somente um mestre pode ofertar e que fez enorme diferença nesses últimos anos de minha vida.

Ao professor Augusto Consularo, pela paciência com inúmeros ensinamentos durante e fora do período de aulas.

Ao Colégio Portal do Engenho de Piracicaba, especialmente a coordenadora Renata e secretária Gislaine, as quais se prontificaram em nos ajudar quanto à avaliação da ferramenta.

Aos professores da E.E.P.S.G Monsenhor Geronymo Gallo pelo tempo dispensado com as avaliações da ferramenta proposta. Os professores foram de especial importância quanto às sugestões para as melhorias do software.

*"Há homens que lutam um dia e são bons.*

*Há outros que lutam um ano e são melhores.*

*Há os que lutam muitos anos e são muito bons.*

*Porém, há os que lutam uma vida inteira.*

*Esses são os imprescindíveis".*

Bertolt Brecht (1898-1956).

---

## RESUMO

Processos de ensino e aprendizagem passam por notórias adaptações nas últimas décadas. A popularização dos sistemas computacionais contribuiu ainda mais para esse fim. Surgem, a cada ano, inúmeros sistemas para apoiar a educação, muitos, até gratuitos. O sistema proposto entra nesse contexto por diversos motivos. A Realidade Aumentada se mostra cada vez mais presente nos diferentes setores. Suas aplicações mais simples costumam ser baratas, já que não exigem equipamentos diferenciados. A colaboração é uma tendência na área da educação; especialistas afirmam que processos colaborativos tendem a estimular o aprendizado. O trabalho apresenta uma ferramenta altamente intuitiva para a elaboração e compartilhamento via rede local de formas 3D básicas, como cubos e esferas, o que poderia apoiar disciplinas como a Geometria Espacial e a Física.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ambiente Colaborativo, Interação, Realidade Aumentada e Realidade Virtual.

---

---

---

## DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL APPLICATIONS INTERACTIVE AND COLLABORATIVE WITH AUGMENTED REALITY

### ABSTRACT

Processes of teaching and learning have undergone notable changes over the recent decades. The popularization of computer systems has contributed further to this purpose. Every year, many systems to support education have been created; some of them free of charge. The proposed system enters this context for numerous reasons. Augmented Reality shows itself to be increasingly present in different sectors. Its applications are usually not expensive, given that it does not require different equipments. Collaboration is an improvement in education; experts say that collaborative processes tend to stimulate learning. This paper presents a highly intuitive tool for the development and sharing via a network of basic 3D shapes like cubes and spheres, which could support disciplines such as Space Geometry and Physics.

**KEYWORDS:** Augmented Reality, Collaborative Environments, Learning Objects, Virtual Reality.

---

---

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2. MOTIVAÇÃO .....	1
1.3. JUSTIFICATIVA.....	2
1.4. OBJETIVOS .....	2
1.5. METODOLOGIA .....	3
1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
<b>2. REALIDADE VIRTUAL, REALIDADE AUMENTADA E ENSINO E APRENDIZAGEM.....</b>	<b>5</b>
2.1. REALIDADE VIRTUAL .....	5
2.1.2. APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL .....	8
2.2. REALIDADE AUMENTADA .....	12
2.2.1. VARIAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA .....	13
2.2.2. APLICAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA .....	15
2.3. ENSINO E APRENDIZAGEM.....	16
2.3.1. MODALIDADES DE ENSINO E APRENDIZAGEM .....	16
2.3.2. OBJETOS DE APRENDIZAGEM .....	18
<b>3. FERRAMENTAS E TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>20</b>
3.1. FERRAMENTAS .....	20
3.1.1. VIVATY STUDIO .....	20
3.1.2. VRMLPAD 2.1 .....	21
3.1.3. ARTOOLKIT.....	22
3.2. TRABALHOS RELACIONADOS.....	25
3.2.1. STUDIERSTUBE .....	25
3.2.2. CONSTRUCT 3D .....	27
3.2.3. SACRA .....	28
<b>4. DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES EDUCACIONAIS INTERATIVAS E COLABORATIVAS     COM REALIDADE AUMENTADA .....</b>	<b>33</b>
4.1. AMBIENTE DO RA-EDUCACIONAL .....	33
4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO RA-EDUCACIONAL .....	34
4.2.1. IMPLEMENTAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE FÍSICA .....	35
4.2.2. IMPLEMENTAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE GEOMETRIA ESPACIAL .....	40
4.2.2.1. DIRETÓRIO NÃO COMPARTILHADO .....	40
4.2.2.2. DIRETÓRIO COMPARTILHADO .....	48
4.2.2.3. MODELAGEM DOS ARQUIVOS VIRTUAIS .....	49
4.2.2.4. CONEXÕES REMOTAS COM O RA-EDUCACIONAL.....	54
<b>5. TESTES DE FUNCIONALIDADE E AVALIAÇÃO .....</b>	<b>56</b>
5.1. TESTES DE FUNCIONALIDADE .....	56
5.1.1. FUNCIONALIDADE DAS APLICAÇÕES DE FÍSICA .....	56
5.1.2. FUNCIONALIDADE DAS APLICAÇÕES DE GEOMETRIA ESPACIAL .....	59

5.1.3	INTERFACE DE MODELAGEM DE FIGURAS 3D.....	59
5.1.4.	INTERFACE REPOSITÓRIO DE FIGURAS 3D.....	61
5.1.5	INTERFACE COMPARTILHAMENTO REMOTO DE ARQUIVOS 3D .....	64
5.2.	AVALIAÇÃO.....	68
5.2.1.	ABORDAGEM DA FERRAMENTA PELOS ALUNOS .....	68
5.2.2.	FUNDAMENTO DAS QUESTÕES .....	74
5.2.3.	ABORDAGEM DA FERRAMENTA PELOS PROFESSORES .....	76
5.2.4.	ANÁLISE QUANTITATIVA DAS QUESTÕES.....	78
5.2.5.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	86
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO 1 - PUBLICAÇÕES.....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE 1 - MANUAL DO RA-EDUCACIONAL .....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE 2 - MENSAGENS TIPO 'MESSAGEBOX' DO RA-EDUCACIONAL .....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA CAVE DE 5 PROJEÇÕES (LSI, 2008) .....	06
FIGURA 2 – RV IMERSIVA COM USO DO HMD E LUVA (TORI ET AL, 2006B) .....	07
FIGURA 3 – SISTEMA SEMI-IMERSIVO DE VISUALIZAÇÃO DE CIRURGIA REMOTA (ABSOLUT TECHNOLOGY, 2008) .....	08
FIGURA 4 – PERFORAÇÃO DE UM POÇO PETROLÍFERO (RUSSO ET AL, 2004) .....	09
FIGURA 5 – SIMULAÇÃO (A) E TREINAMENTO (B) DE LAPAROSCOPIA (KISMET, 2001).....	10
FIGURA 6 – OPERAÇÃO DO SKETCHPAD POR IVAN SUTHERLAND (BLACKWELL E RODDEN, 2003).....	12
FIGURA 7 – DIAGRAMA DE VISÃO ÓTICA DIRETA (AZUMA, 1997).....	14
FIGURA 8 – DISPOSITIVOS DE VISÃO ÓTICA DIRETA POR VÍDEO (A) E SEM VÍDEO (B); (PRINCE, 2002; OHSHIMA, 1998) .....	14
FIGURA 9 – SISTEMA DE RA BASEADO EM MONITOR (BARAKONYI, 2003).....	15
FIGURA 10 – LIVROS VIRTUAIS MAGICBOOK E LIRA; (BILLINGHURST, 2001); (OLIVEIRA, 2005) .....	16
FIGURA 11 – MODELAGEM DE UM CONE PELO SOFTWARE VIVATY STUDIO.....	21
FIGURA 12 – CÓDIGO VRML DE UM PARALELEPÍPEDO MODELADO NO VRMLPAD 2.1 .....	22
FIGURA 13 – EXEMPLO DE MARCADOR DE RA DE 80X80 (MILÍMETROS) .....	23
FIGURA 14 – RASTREAMENTO DO MARCADOR COM OS SISTEMAS DE COORDENADAS (KATO, 1999) .....	24
FIGURA 15 – DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO ARTOOLKIT .....	24
FIGURA 16 – PROJETO CONSTRUCT3D (SCHMALSTIEG, 2002).....	26
FIGURA 17 – PROJETOS CRANUS E VIDENTE (MENDEZ, 2006).....	26
FIGURA 18 – APLICAÇÃO DE LUVA (P5 GLOVE) NO CONSTRUCT3D PARA GERAÇÃO DE FORMAS GEOMÉTRICAS (KAUFMANN, 2004) .....	27
FIGURA 19 – ALTERAÇÃO DE CENÁRIO COM O NETARTOOLKIT (OLIVEIRA, 2008).....	29
FIGURA 20 – ENVIO DE PARÂMETROS COM O NETARTOOLKIT (OLIVEIRA, 2006).....	29

FIGURA 21 – MARCADORES DE AÇÃO DO SISTEMA SACRA (SANTIN, 2008).....	31
FIGURA 22 – RAIOS DE ATUAÇÃO DE UM MARCADOR DE AÇÃO (SANTIN, 2008) .....	32
FIGURA 23 – ESQUEMA DE EXECUÇÃO DO RA-EDUCACIONAL .....	34
FIGURA 24 – PROGRAMA (A) GERADOR DE COORDENADAS 3D (OLIVEIRA, 2006 E SANTIN, 2008); ARQUIVO EXEMPLO01.TXT (B) COM AS MESMA COORDENADAS. ....	38
FIGURA 25 – COMPORTAMENTO DE UM CORPO LANÇADO PARA CIMA (L) E OUTRO ABANDONADO DE CERTA ALTURA (Q) .....	39
FIGURA 26 – ESTRUTURA DE DIRETÓRIOS DO APLICATIVO RA-EDUCACIONAL .....	40
FIGURA 27 – ARQUIVO DAT (B) E EXECUÇÃO DO ARTOOLKIT (B) .....	41
FIGURA 28 – ARQUIVO FATORES ESCALA COM OS RESPECTIVOS VALORES DE ESCALA .....	42
FIGURA 29 – OBJETO 3D COM ALTERAÇÃO DE ESCALA PARA 2.3.....	43
FIGURA 30 – RENDERIZAÇÃO DE UM CUBO VIRTUAL COM 999 DE ARESTAS .....	44
FIGURA 31 – ESTRUTURA DOS ARQUIVOS “LISTA_YESNo” E “LISTA_YESNoPERMISSAO” .....	45
FIGURA 32 – ESTRUTURA DO ARQUIVO REPOSITORIO .....	46
FIGURA 33 – O MESMO OBJETO VIRTUAL COM (B) E SEM (A) CORREÇÃO DE SUA POSIÇÃO EM RELAÇÃO AO MARCADOR.....	47
FIGURA 34 – ESTRUTURA DO ARQUIVO SALVAR_FECHAR.....	48
FIGURA 35 – CUBO ARAMADO DE 22 DE ARESTA COM AS OITO COORDENADAS DO ESPAÇO .....	52
FIGURA 36 – PARALELEPÍPEDO ARAMADO COM AS OITO COORDENADAS DO ESPAÇO .....	53
FIGURA 37 – INTERFACE DA APLICAÇÃO DE FÍSICA.....	56
FIGURA 38 – ERRO CAUSADO ANTES (A) E DEPOIS (B) DO TRATAMENTO DE ERROS .....	57
FIGURA 39 – EXECUÇÃO DAS APLICAÇÕES DE FÍSICA DO RA-EDUCACIONAL.....	58
FIGURA 40 – LANÇAMENTO VERTICAL DE UMA ESFERA VIRTUAL; NETARTOOLKIT (OLIVEIRA, 2006); SACRA (SANTIN, 2008); (OLIVEIRA, 2008) .....	58
FIGURA 41 – OS DEZ MODELOS DE FIGURAS ESPACIAIS DO RA-EDUCACIONAL.....	59

FIGURA 42 – INTERFACE GRÁFICA DA FERRAMENTA BLENDER 3D .....	60
FIGURA 43 – DESCRIÇÃO DE TRÊS OBJETOS ARMAZENADOS NA INTERFACE REPOSITÓRIO.....	62
FIGURA 44 – CONFIGURAÇÃO DA WEBCAM (A) E EXECUÇÃO DO ARTOOLKIT (B) ....	64
FIGURA 45 – EXCLUSÃO DA ÚLTIMA (A) OU TODAS (B) FIGURAS DO REPOSITÓRIO.....	64
FIGURA 46 – MAPEAMENTO DA REDE EM BUSCA DE USUÁRIOS CONECTADOS. ....	65
FIGURA 47 – ACESSO REMOTO COM DOIS OBJETOS COMPARTILHADOS .....	66
FIGURA 48 – INTERFACE DE ALTERAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO OBJETO REMOTO .....	66
FIGURA 49 – MENSAGEM DE CAMINHO NÃO ENCONTRADO FORNECIDA PELO SISTEMA OPERACIONAL .....	67
FIGURA 50 – DISPOSIÇÃO DOS QUATRO COMPUTADORES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DO RA-EDUCACIONAL PELOS ALUNOS .....	72
FIGURA 51 – QUESTÃO I DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS .....	80
FIGURA 52 – QUESTÃO II DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS .....	80
FIGURA 53 – QUESTÕES I (PROFESSORES) E III (ALUNOS) .....	81
FIGURA 54 – QUESTÕES II (PROFESSORES) E IV (ALUNOS).....	81
FIGURA 55 – QUESTÕES III (PROFESSORES) E V (ALUNOS).....	82
FIGURA 56 – QUESTÕES IV (PROFESSORES) E VI (ALUNOS) .....	82
FIGURA 57 – QUESTÕES V (PROFESSORES) E VII (ALUNOS) .....	83
FIGURA 58 – QUESTÕES VI (PROFESSORES) E VIII (ALUNOS) .....	83
FIGURA 59 – QUESTÕES VII (PROFESSORES) E IX (ALUNOS) .....	84
FIGURA 60 – QUESTÕES VIII (PROFESSORES) E X (ALUNOS) .....	84
FIGURA 61 – QUESTÕES IX (PROFESSORES) E XI (ALUNOS) .....	85
FIGURA 62 – QUESTÕES X (PROFESSORES) E XII (ALUNOS).....	85
FIGURA 63 – ALUNO DA TURMA 1 VISUALIZANDO UMA FIGURA 3D RECÉM CRIADA.....	87

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<i>ARToolKit</i>	Augmented Reality Tool Kit
<i>CAVE</i>	Cave Automatic Virtual Environment
<i>CMYK</i>	Cyan, Magenta, Yellow e Black (Sistema de Cores)
<i>CranUS</i>	Cranial Ultrasound Simulation System
<i>EaD</i>	Ensino a Distância
<i>I.E.</i>	Internet Explorer
<i>LSI</i>	Laboratório de Sistemas Integrados (USP)
<i>Moodle</i>	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
<i>MP</i>	Média Ponderada
<i>MUV</i>	Movimento Uniformemente Variado
<i>Nied</i>	Núcleo de Informática Aplicada à Educação (Unicamp)
<i>RGB</i>	Red, Green e Blue (Sistema de Cores)
<i>RM</i>	Ranking Médio
<i>RM-Geral</i>	Ranking Médio Geral
<i>SACRA</i>	Sistema de Autoria em Ambiente Colaborativo com Realidade Aumentada
<i>UFRGS</i>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<i>VRML</i>	Virtual Reality Modeling Language

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – TIPOS E EXEMPLOS DAS TRÊS MODALIDADES DE ENSINO .....	16
QUADRO 2 – FUNÇÕES DOS MARCADORES DE AÇÃO DO SACRA .....	31
QUADRO 3 – RELAÇÃO DAS ENTRADAS DE DADOS COM O TIPO DE EXPERIMENTO DE FÍSICA .....	35
QUADRO 4 – ESTRUTURAS DE REPETIÇÃO PARA O CÁLCULO DAS POSIÇÕES QUE O CORPO OCUPARÁ NO AMBIENTE 3D .....	36
QUADRO 5 – ARQUIVOS DA PASTA GEOMETRIA .....	41
QUADRO 6 – CÓDIGO PARA EVITAR A SOBREPOSIÇÃO DO OBJETO SOBRE O MARCADOR.....	47
QUADRO 7 – FORMA PADRÃO DOS ARQUIVOS VRML MODELADOS PELO RA- EDUCACIONAL .....	49
QUADRO 8 – ESTRUTURA DO CÓDIGO VRML DE UM CUBO SÓLIDO .....	50
QUADRO 9 – MODELAGEM DE UM CUBO VIRTUAL PELO RA-EDUCACIONAL .....	51
QUADRO 10 – CÓDIGO DAS COORDENADAS DE UM CUBO ARAMADO DE 22 DE ARESTA .....	52
QUADRO 11 – NÓ COORDINATE DE UM PARALELEPÍPEDO ARAMADO DE LADOS 10x20x30 .....	54
QUADRO 12 – IMPLEMENTAÇÃO DO COMPONENTE IDCMP PARA TESTES DE CONECTIVIDADE REMOTA.....	55
QUADRO 13 – IMPLEMENTAÇÃO DA MENSAGEM DE FALHA DE CONEXÃO MEDIADA POR TESTE DE CONECTIVIDADE.....	68
QUADRO 14 – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA (ALUNO).....	69
QUADRO 15 – QUANTIDADE DE ALUNOS E O TEMPO DAS AVALIAÇÕES PARA CADA GRUPO E INTERVALO (RECREIO) .....	71
QUADRO 16 – LISTA DAS ORIENTAÇÕES QUE FORAM PROFERIDAS AOS ALUNOS QUANTO AOS OBJETIVOS DO QUESTIONÁRIO. ....	73
QUADRO 17 – COMPUTADORES UTILIZADOS NA ALIDAÇÃO DO SOFTWARE .....	74
QUADRO 18 – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA (PROFESSOR) .....	77

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – AS TRÊS PRIMEIRAS POSIÇÕES DE UM CORPO EM MUV.....	36
TABELA 2 – SIMPLIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS (PROFESSORES)...	78
TABELA 3 – SIMPLIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS (TURMA 1) .....	79
TABELA 4 – SIMPLIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS (TURMA 2) .....	79

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA**

Nas últimas décadas, o processo de ensino e aprendizagem recebeu fortes influências da evolução tecnológica, onde se incluem as diversas modalidades pedagógicas, como ensino presencial, semipresencial e a distância. Apesar da evolução, o ensino presencial ainda se faz notório na maioria das vezes.

Uma forma de apoiar essas modalidades de ensino é através dos objetos de aprendizagem, cuja idéia principal é a quebra do conteúdo educacional disciplinar em pequenos trechos que permitam a sua reutilização. A maioria dos objetos de aprendizagem desenvolvidos até o momento estão voltados para aplicações individuais, em oposição com a tendência de trabalhos colaborativos observados nos últimos anos.

Com o avanço significativo dos sistemas computacionais, seu barateamento ao longo dos anos e a relativa facilitação de acesso a esses sistemas, tais modalidades de ensino acabaram por incorporar outros recursos às novas realidades pedagógicas, como o Ensino a Distância (EaD).

### **1.2 MOTIVAÇÃO**

Novas tecnologias surgem a cada ano para apoiar os processos educacionais envolvendo os objetos de aprendizagem, porém, a maior parte delas é do tipo bidimensional, como imagem e vídeo. Sistemas colaborativos em processos educacionais, de acordo com Smith (1992), possuem a vantagem de permitir aos alunos a criação de novas informações e idéias quando estão em grupos. As interfaces computacionais igualmente têm acompanhado todo esse processo evolutivo desde o surgimento do mouse no final da década de 60, porém, é evidente que muitos usuários ainda sofrem certas restrições pela dificuldade em operar certos dispositivos, o que, certamente, varia de pessoa para pessoa.

Nesse contexto, tecnologias inovadoras, dentre elas a Realidade Virtual (RV) e a Realidade Aumentada (RA), procuram estimular novas tendências pedagógicas, por exemplo, o EaD.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

A RV e a RA, sendo a última mais recente, vêm constituindo-se em instrumentos de interesse por parte de educadores e alunos. Um dos motivos é que essas interfaces computacionais propiciam aos usuários interações mais intuitivas, dada a naturalidade dos acontecimentos. A imersividade é outra característica desses sistemas, os quais tendem a facilitar os mecanismos de colaboração.

As técnicas envolvendo o tridimensional, até então empregadas nos diversos setores, e não só no educacional, geralmente representam custos financeiros não compatíveis com a educação, especialmente no ensino público. Portanto, pensar na RA como ferramenta de apoio nesses processos, parece adequado, principalmente quando se leva em consideração os custos de aplicações simples de RA, os quais estão cada vez mais acessíveis para as pessoas; uma aplicação básica de RA requer um computador com uma *webcam* instalada.

### **1.4 OBJETIVOS**

O presente trabalho disponibiliza a RV e RA como ferramentas em processos pedagógicos, partindo do pressuposto de que aplicações educacionais interativas e colaborativas tendem a melhorar as condições de aprendizagem dos alunos. Tem por objetivo o desenvolvimento de aplicações educacionais interativas com RA para uso individual e colaborativo, visando sua utilização na elaboração de objetos de aprendizagem mediante a modelagem de formas virtuais simples, como cubos e esferas. A principal funcionalidade da ferramenta, batizada de RA-Educacional, é voltada para professores e alunos, permitindo-lhes a criação e visualização das figuras espaciais mediante duas formas: através do Internet Explorer e ARToolKit. Outra função do software é a capacidade de operar em redes locais, o que

permite aos usuários compartilhar objetos, reforçando o conceito de sistemas colaborativos.

### **1.5 METODOLOGIA**

Para a elaboração do projeto foi realizada, inicialmente, revisão bibliográfica sobre RV, RA, objetos de aprendizagem, modalidades e processos educacionais, ambientes colaborativos e as linguagens VRML e Pascal.

A segunda etapa do projeto, e com apoio das ferramentas Vivaty Studio, ARToolKit e Delphi, foi desenvolvido uma aplicação de RA cujo propósito constituiu em propiciar à aplicação a função de modelar cinco formas geométricas básicas: cubo, esfera, cone, cilindro e paralelepípedo reto. Outra função da ferramenta foi capacitar o sistema para simular dois experimentos de Física comuns em salas de aula: lançamento e queda livre de corpos no ar.

Numa terceira etapa, as aplicações passaram por diversos testes, especialmente aqueles relacionados com as conexões remotas, uma vez que o sistema permite o compartilhamento de objetos virtuais com outros usuários da rede.

Para as aplicações e testes, foi utilizado um ambiente computacional dotado de dois laptops e um computador de mesa. Os primeiros apresentam a seguinte configuração: CPU-1.9 GHz; RAM-2GB; Vídeo-512MB. O terceiro com a diferença única de possuir 2GB a mais de RAM. Os equipamentos estiveram conectados via rede local e sem fio, com velocidades em torno de 50 Mbps. Os três equipamentos possuem o sistema operacional XP da Microsoft.

### **1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

O texto está organizado em seis capítulos, além das Referências Bibliográficas. O primeiro faz introdução ao assunto, onde se incluem a caracterização do problema, as motivações, a justificativa, os objetivos e a metodologia. O capítulo dois aborda a revisão da literatura e descrevem, respectivamente, a Realidade Virtual, Realidade Aumentada e os

processos de Ensino e Aprendizagem. O capítulo três descreve as ferramentas e trabalhos relacionados. O quarto capítulo descreve a ferramenta, envolvendo seu ambiente e as implementações. O capítulo cinco aborda os testes, além da avaliação do protótipo. O sexto, e último capítulo, faz as conclusões do trabalho, seguido das referências bibliográficas.

## **2 REALIDADE VIRTUAL, REALIDADE AUMENTADA E ENSINO E APRENDIZAGEM**

### **2.1 REALIDADE VIRTUAL**

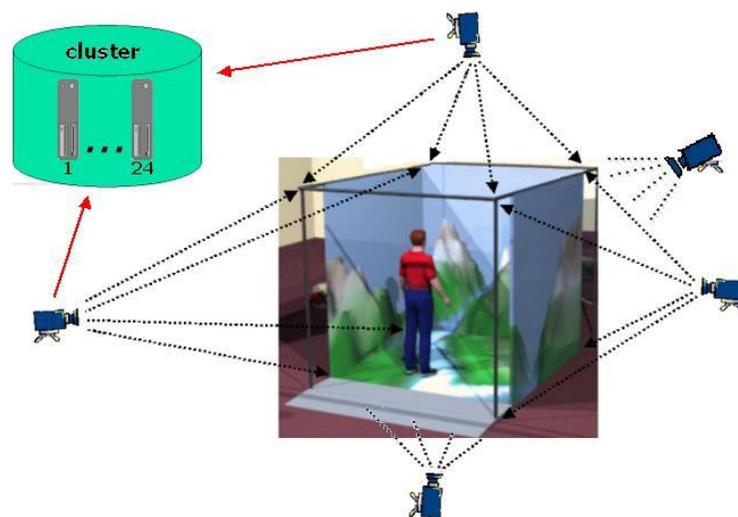
O termo Realidade Virtual foi proposto por Jaron Lanier em 1980 (BIOCCA, 1995 apud TORI et al, 2006a). Artista e cineasta, Lanier buscava unir dois conceitos de características totalmente opostas, a fusão do real com o virtual. Diversas são as definições para RV. Kirner e Siscoutto (2007a) argumentam que é uma interface avançada para o usuário, permitindo-lhe acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação, o que se dá em tempo real em ambientes 3D gerados por computador. Uma característica interessante da RV, segundo Vince (1995), é o fato de proporcionar interatividade com o usuário. Neste contexto, pode ser vista como uma ferramenta que vai além da passividade, o que é mais comum nas aplicações bidimensionais. Burdea (2003) explica que a RV é uma interface homem-máquina que envolve simulações em tempo real e interações através de múltiplos canais sensoriais.

Uma característica importante dos recursos virtuais é a tridimensionalidade, cujas aplicações ganham o plano Z como terceiro elemento, fazendo do novo ambiente muito mais atraente do ponto de vista da sensibilidade do usuário. Os ambientes virtuais são constituídos por elementos denominados imagens ou objetos virtuais, tridimensionais ou objetos 3D. Ao longo desse trabalho, os objetos também serão chamados de figuras espaciais devido à relação com a Geometria Espacial, disciplina que será abordada em diversos momentos. Como são tridimensionais, tendem a causar maior impacto nas pessoas, já que os objetos podem ser observados e, dependendo da aplicação, manipulados por diversos ângulos, em contrapartida com as imagens 2D, por exemplo, que não saem do plano constituído pelos eixos X e Y.

Outra característica da RV é a sensação de presença que ela oferece, a qual recebe o nome de imersão; é como se fosse possível invadir o

mundo virtual e com ele compartilhar todo o ambiente. Os sistemas de RV imersivos são classificados como totalmente ou parcialmente imersivos. No primeiro caso, o grau de ilusão é alto, isto é, o usuário se vê no mundo virtual e, excluindo a presença de si próprio, a pessoa não enxerga mais nada que não pertença ao virtual; não há nada de real no ambiente.

Um bom exemplo para descrever sistemas totalmente imersivos são as cavernas digitais, também conhecidas como CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*). São sistemas complexos de RV que possibilitam simulações 3D projetadas em ambientes fechados, daí o nome de caverna digital. Conforme descrição da Figura 1, trata-se de um complexo com diversas projeções ocorrendo de forma simultânea, as quais são gerenciadas por um certo número de computadores (*cluster*). Em geral, são ambientes virtuais caros porque envolvem muitos equipamentos e sistemas especializados.



**Figura 1. Sistema CAVE de 5 projeções (LSI, 2008)**

O sistema CAVE descrito na Figura 1 é o modelo de desenvolvimento iniciado em 2000 pela Escola Politécnica de São Paulo (USP) através do Laboratório de Sistemas Integrados (LSI). Apresenta 24 computadores, possui cinco superfícies de projeção e já foi responsável por inúmeros projetos nacionais envolvendo aplicações tridimensionais (LSI, 2008). Dentre esses projetos, foram beneficiadas as Engenharias Naval, Civil,

Automobilística, Eletrônica etc, além da Biologia, Pedagogia, Arquitetura e outras.

Outro sistema de imersão total é aquele que utiliza capacetes HMD (*Head Mounted Display*). Quando imersiva, a RV transporta o usuário para o total domínio da aplicação (TORI et al, 2006b); a Figura 2 ilustra um caso de imersão total com o uso de HMD e luva. O capacete possui rastreadores que capturam os movimentos do usuário e, de acordo a estes, a sua visão é dirigida para determinado ponto do cenário virtual. Trata-se de um exemplo de aplicação onde o usuário é levado para o mundo virtual, fazendo que sua percepção do mundo real deixe de existir. Pode ser interessante para diversas aplicações nas quais o usuário fique imóvel, mas para outras que exijam sua mobilidade, certamente não representa a melhor solução, uma vez que, não percebendo o mundo real, o usuário poderia sofrer acidentes, como quedas, choques com objetos etc.



**Figura 2. RV imersiva com uso do HMD e luva (TORI et al, 2006b)**

O tipo de RV não imersiva está representado, geralmente, por monitores ou algum sistema de projeção. Diversas aplicações multimídia e alguns videogames atuais fazem parte desse tipo de interface (WII, 2009; XBOX 360, 2009; PLAYSTATION 3, 2009).

Outro tipo de imersão é a parcial, onde a ilusão do usuário não é tão marcante quanto à imersão total. Nesse ambiente existe a percepção dos

dois mundos, o real e o virtual. Óculos estereoscópicos e monitores estéreos são exemplos para descrever esse tipo de imersão. A Figura 3 ilustra um exemplo de imersão parcial, onde o médico cirurgião visualiza um procedimento cirúrgico mediante uma tela 3D. O sistema permite a visualização de duas formas: com ou sem óculos estereoscópicos (ABSOLUT TECHNOLOGY, 2008).



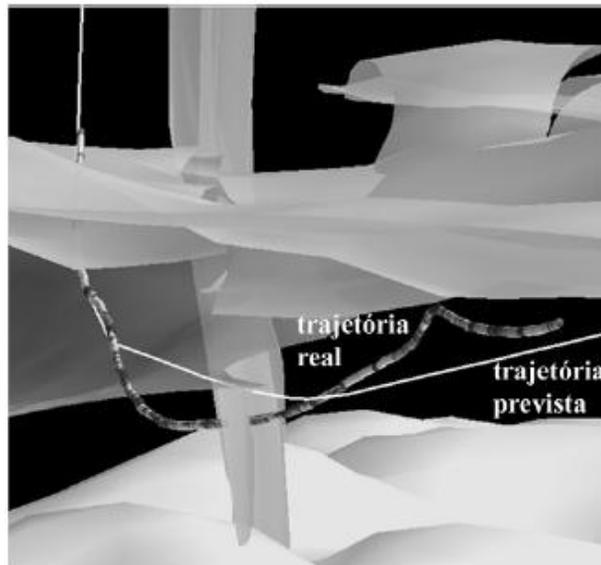
**Figura 3. Sistema semi-imersivo de visualização de cirurgia remota (ABSOLUT TECHNOLOGY, 2008)**

### 2.1.2 APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL

Com o barateamento dos equipamentos de hardware, assim como o surgimento de inúmeros projetos envolvendo sistemas e programas livres, os sistemas computacionais se tornam cada vez mais presentes na vida das pessoas, empresas e instituições dos mais variados tipos. Atualmente, é possível verificar a presença da RV em diversos setores, destacando-se os que são apresentados a seguir.

Indústrias de grande porte costumam investir milhões de dólares em algumas áreas, como a de produção, manutenção, treinamentos e simulações. A crise do petróleo ocorrida no final da década de noventa fez as empresas do setor reduzirem bruscamente os custos de exploração, assim

como a busca de novas reservas e campos petrolíferos (RUSSO, 2004). Completa o autor que *“a tecnologia de RV foi apontada pela indústria petrolífera como uma das ferramentas chave para vencer estes desafios”*. A Figura 4 ilustra uma simulação que acompanha uma perfuração de petróleo. As imagens 3D promovem uma interpretação mais precisa quanto às geometrias internas e externas das arquiteturas dos reservatórios, podendo economizar milhões de reais num único procedimento de perfuração (RUSSO, 2004).



**Figura 4. Perfuração de um poço petrolífero (RUSSO et al, 2004)**

Diversas montadoras nacionais de veículos igualmente investem na RV. A versão eletrônica do jornal O Estado de São Paulo de 24/jun/2008, a qual é disponibilizada gratuitamente em seu sítio (ESTADÃO, 2010), faz uma referência sobre o assunto:

*“A indústria automobilística se prepara para trabalhar com fábricas virtuais em todo o processo produtivo, do desenvolvimento do carro à linha de montagem. Até mesmo o cliente poderá ‘dirigir’ o carro antes de ir à loja realizar a compra. Montadoras como Volkswagen, General Motors e Peugeot já trabalham na Europa com projetos de integração virtual de todo o processo de*

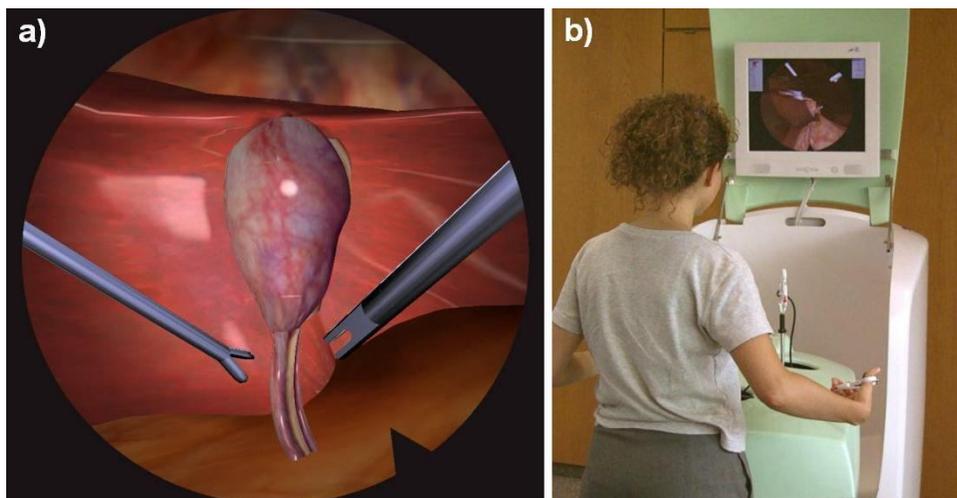
*manufatura e engenharia. Vários deles estão sendo adotados no Brasil...*

*De acordo com Klauss Müller, gerente da Dassault, especializada no desenvolvimento de sistemas de engenharia, no futuro, o número de testes realizados pelas montadoras com os carros antes do lançamento será reduzido, pois boa parte já terá sido feita no simulador. Em vez de jogar dez carros contra a parede (o chamado crash test), serão jogados três ou quatro.”*

Empresas aeronáuticas também estão se beneficiando da RV, quer seja mediante processos produtivos, treinamentos ou simulações de voo.

Apenas três modalidades de indústria foram citadas, mas quaisquer ramos de atividades que envolvam setores produtivos, certamente poderá se beneficiar da tecnologia de RV.

A área médica tem como apoiar seus estudos na RV pelo menos de duas formas: simulação e treinamento; a Figura 5 mostra um exemplo para cada aplicação. A simulação (a) é representada por um vídeo 3D constituído por objetos virtuais que simulam um procedimento cirúrgico em partes do corpo humano (KISMET, 2001).



**Figura 5. Simulação (a) e treinamento (b) de laparoscopia (KISMET, 2001)**

A parte (b) da Figura 5 mostra uma estudante de medicina realizando um treinamento que objetiva capacitá-la para as cirurgias de laparoscopia. Essa técnica possibilita a visualização da cavidade abdominal através do laparoscópio, o qual é introduzido através da parede abdominal anterior (FERREIRA, 1986a).

Nunes et al (2007) enfatiza que o ensino de prática clínica requer contato direto entre pacientes e estudantes, levando a possíveis erros médicos, que, por sua vez, podem acarretar em problemas de saúde para os pacientes, assim como processos judiciais para os profissionais envolvidos. Nesse contexto, pensar em soluções que eliminem ou diminuam tais riscos, parece oportuno.

Processos educacionais já se beneficiam dos recursos da RV há vários anos, mas com a popularização dos sistemas computacionais, a tendência é aumentar. Aplicações de RV permitem recursos adicionais que outros modelos não são capazes, como maior interação por parte do usuário, possibilidade de imersão e consequente manipulação do ambiente, assim como outras situações não suportadas pelos sistemas mais simples. A repercussão desses diferenciais tende a desencadear um processo de maior interesse e motivação por parte do usuário, prendendo-o ao sistema de ensino/aprendizagem de forma mais eficaz. A seguir, serão abordadas algumas aplicações de RV no ensino.

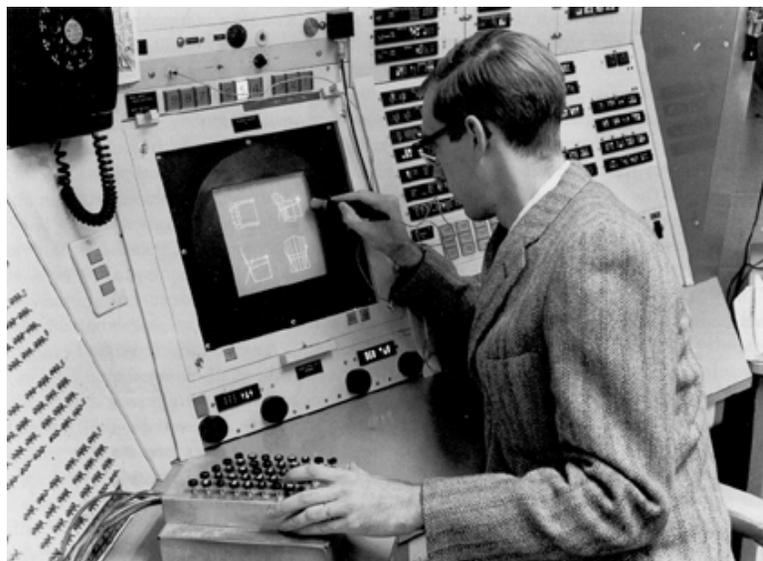
A Ciência é uma área com íntima relação com experimentos, volumes, proporções e objetos. A RV representa uma ferramenta diferenciada e que pode agregar valores a esses objetos, como movimento (animação), sons, cores etc. O estudo da geometria espacial, como o próprio nome sugere, possui estreita ligação com volumes e formatos espaciais.

Três áreas foram mencionadas para exemplificar aplicações envolvendo a RV, porém vale destacar que outras também já se beneficiam dela, como o gigantesco mercado do entretenimento, o qual fatura bilhões de dólares ao redor do mundo a cada ano.

## 2.2 REALIDADE AUMENTADA

Pesquisas de RA ganharam força em meados da década de noventa e foi consequência do avanço tecnológico ocorrido naquela época (KIRNER, 2007b), principalmente na área de visão computacional, que estendeu as práticas de RV para outras pesquisas. De fato, e como será visto mais adiante, a RA é uma extensão da RV.

Em 1963, o professor e pesquisador americano Ivan Sutherland desenvolveu o Sketchpad (BLACKWELL e RODDEN, 2003), um editor gráfico bastante poderoso para a época. Estava nascendo a computação gráfica e, junto com ela, os primeiros experimentos de RV e as bases da RA, ainda que naquele tempo não se tenha atribuído nomes a nenhuma dessas práticas. A Figura 6 mostra Sutherland manipulando o equipamento.



**Figura 6. Operação do Sketchpad por Ivan Sutherland; (BLACKWELL e RODDEN, 2003)**

Trinta anos mais tarde, outros pesquisadores retomaram a RA. Milgram (1994), Bajura (1995), Azuma (1997), Feiner (1997) e Billinghurst (1998) são nomes importantes dentro dessas pesquisas.

Bajura (1995) define RA como a sobreposição de objetos virtuais no mundo real, mediante algum dispositivo tecnológico, incrementando, dessa forma, a visão do usuário.

Para Azuma (1997), a RA é vista como uma interface que permite ao usuário interagir com objetos 3D inseridos no mundo real, o que na prática é o ambiente físico cercado pelo homem. Objetos tridimensionais gerados por sistemas computacionais geralmente apresentam vantagens quando comparados às imagens tradicionais. O fato é explicado pela maior interação, já que esses objetos podem ser manipulados pelo usuário mediante diferentes pontos de vista.

Feiner (1997), um dos pioneiros no estudo da RA, diz que, enquanto a RV substitui o mundo real, a RA o complementa com informações adicionais.

Kirner (2007c) define: *“é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real...”*.

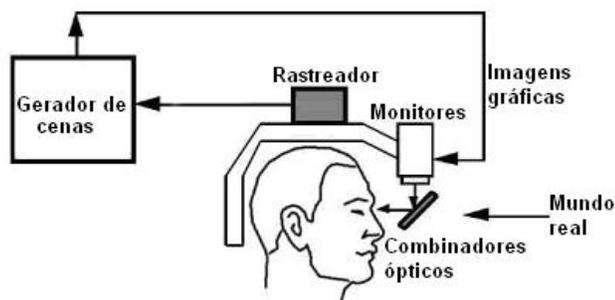
A RA é uma modalidade avançada de RV. Diferenciando tecnicamente ambas as modalidades, enquanto a RV não sai do escopo do monitor ou de uma projeção, a RA vai além, fazendo com que o usuário interaja no próprio meio onde vive, dando-lhe maior conforto, confiabilidade e segurança em suas aplicações.

Como as aplicações que serão mostradas no trabalho são exclusivas de sistemas baseado em monitor (Figura 9), os demais tipos serão tratados de maneira breve.

### **2.2.1 VARIAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA**

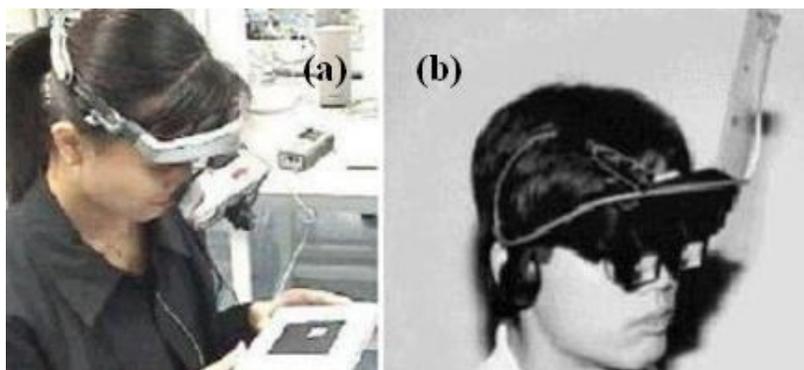
Azuma (2001) descreve quatro maneiras de se aplicar a RA; o que as diferenciam é o tipo de *display* utilizado. O primeiro é o sistema de visão ótica direta. Esse sistema é formado por lentes e capacetes, através dos quais o usuário tem a visão do ambiente gerado por computador. A função das lentes

é mostrar a fusão dos dois ambientes, o real e o virtual. O diagrama da Figura 7 descreve o mecanismo.



**Figura 7. Diagrama de visão óptica direta (Azuma, 1997)**

Com o sistema de visão direta por vídeo o processo ocorre mediante o uso de capacetes adaptados com pequenas câmaras de vídeo. A cena real, que é capturada por essas câmaras, é misturada com elementos virtuais gerados por computador e, nesse caso, a imagem formada se apresenta para o usuário diretamente em seus olhos mediante pequenos monitores que também estão acoplados no capacete (Figura 8a).



**Figura 8. Dispositivos de visão óptica direta por vídeo (a) e sem vídeo (b); (PRINCE, 2002; OHSHIMA, 1998)**

O terceiro sistema é baseado em visão através de vídeo, e utiliza uma *webcam* para capturar a cena real. Uma vez capturada, os elementos da cena são misturados com outros do mundo real que previamente foram gerados por computador e o resultado é mostrado num monitor (BARAKONYI, 2003), conforme Figura 9.



**Figura 9. Sistema de RA baseado em monitor (BARAKONYI, 2003)**

O último tipo, sistema de visão ótica por projeção, é um mecanismo que aproveita as superfícies reais do mundo, onde são projetadas imagens dos objetos virtuais, cujo conjunto é mostrado ao usuário, sem a necessidade de equipamento auxiliar.

Para certas aplicações móveis, como dirigir um carro ou andar pela rua, a perda das imagens do mundo real pode representar um perigo. Para esses exemplos, os sistemas de visão direta são mais apropriados (KIRNER, 2005). No caso de ambientes mais restritos, onde o usuário tem controle da situação, o sistema de visão por vídeo não oferece perigo e pode ser mais adequado, conforme a situação. Sistemas baseados em visão por vídeo são mais baratos e geralmente apresentam manejos mais simples.

### **2.2.2 APLICAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA**

Quanto às áreas de atuação, as interfaces de RA têm resultados em diversas aplicações. Desde seu aparecimento, diversos projetos educacionais envolvendo livros tridimensionais têm surgido pelo mundo afora. Em comum, são projetos que tornam os atuais livros tradicionais mais atraentes, incorporando nestes recursos adicionais e característicos da RA, como o surgimento de objetos virtuais no cenário do livro comum, além da imersão e interatividade, características desses sistemas. A Figura 10 ilustra dois projetos similares de RA envolvendo livros 3D (BILLINGHURST, 2001); OLIVEIRA, 2005).



**Figura 10. Livros Virtuais MagicBook e LIRA (BILLINGHURST, 2001; OLIVEIRA, 2005)**

Os livros 3D dão margem para aplicações em outras áreas do conhecimento, como matemática, engenharia, arquitetura, medicina, visualização de dados e muitas outras.

## **2.3 ENSINO E APRENDIZAGEM**

### **2.3.1 MODALIDADES DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

Embora não exista uma classificação oficial quanto a presença ou não do educador, o ensino geralmente é dividido em três tipos, conforme Quadro 1.

**Quadro 1. Tipos e exemplos das três modalidades de Ensino**

<b>Tipo</b>	<b>Presença <i>in loco</i> do educador?</b>	<b>Exemplo</b>
Presencial	sim	ensino tradicional
Semipresencial	algumas vezes	reúne atividades presencias e a distância
A distância (EaD)	não	internet, TV, correspondência etc

O ensino presencial é a modalidade pedagógica mais antiga e, apesar dos avanços na área das diferentes modalidades de comunicação, certamente perdurará por muito tempo, ou talvez nunca deixe de existir. Nesse tipo, educadores e educandos compartilham o mesmo ambiente físico praticamente o tempo todo.

Semipresencial é a modalidade de aprendizado que reúne atividades tanto presenciais, quanto a distância. As presencias são teóricas ou práticas e sempre ocorrem na presença do professor. Já as não presenciais estão vinculadas com alguma estrutura de apoio, geralmente ferramentas *web* disponibilizadas para dar suporte às atividades que poderão ser realizadas em qualquer momento. Esses sistemas são bastante comuns e atualmente muitos são gratuitos e de excelente desempenho. Moodle (2009) e TelEduc (2009) são dois exemplos largamente utilizados no Brasil, especialmente o primeiro. São ferramentas que possuem a vantagem de fornecer aos alunos recursos adicionais que são acessados a qualquer momento e de qualquer lugar, quase sempre via internet. Para os educadores, representa uma ferramenta de apoio nos processos educacionais, como disponibilidade de material escolar e até mesmo avaliações.

O TelEduc é um projeto iniciado por um grupo de pesquisadores da Unicamp através do NIED (Núcleo de Informática Aplicada à Educação). É um ambiente para a criação, participação e administração de cursos através da internet, além de ser livre, de código aberto e permitir a sua utilização por qualquer pessoa. O sistema Moodle (*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*) também é livre e foi desenvolvido por Martin Dougiamas (DOUGIAMAS, 2008). Atualmente é disponibilizado em 77 idiomas (MOODLE LANGUAGE, 2009) e muito utilizado em instituições educacionais no Brasil.

Quanto ao EaD, a maior partes das atividades são realizadas remotamente, portanto, sem a presença do educador. Apoiada por uma comunidade cada vez maior, essa modalidade de ensino ganha espaço a cada ano, inclusive com amparo da Lei 9.394, de dezembro de 1996, a qual sofreu diversas atualizações amparadas pelo MEC nos anos seguintes (MARTINS, 2001).

Embora tenha surgido no século XIX mediante correspondências e posteriormente por meio do rádio e televisão, foi através dos avançados tecnológicos observados na computação que o EaD ficou mais

atraente. A Educação remota se mostra como tendência irreversível, já que não há como evitar a enorme dependência do homem atual quando se trata de vencer grandes distâncias em tempos cada vez mais curtos.

Praticamente todos os métodos de EaD surgidos na última década estão relacionados com a rede mundial de computadores, a internet. A maioria são cursos técnicos, de graduação e até mesmo de pós-graduação, os quais estão sendo realizados remotamente. Um dos motivos do crescimento desses cursos é a busca por atualizações profissionais, que nos últimos anos faz parte do cotidiano de muitos trabalhadores (MARTINS, 2001).

Uma vantagem imediata de um curso EaD é a possibilidade de adaptá-lo conforme as necessidades de horário de cada aluno. Assim, um determinado curso começa ao mesmo tempo para um grupo, mas cada um realiza suas obrigações conforme a disponibilidade de seu tempo. Quando comparado com os métodos anteriores de EaD, os atuais levam outra vantagem não suportada pelos demais, que é a colaboração. De fato, correspondências, rádio e televisão não são capazes de suportar processos colaborativos de forma eficaz.

### **2.3.2 OBJETOS DE APRENDIZAGEM**

Objetos de aprendizagem são referidos a diferentes áreas do conhecimento, existindo, portanto, inúmeros conceitos. Kay e Knaack (2005) esclarecem que existem duas frentes para conceituar os objetos de aprendizagem. A primeira está fundamentada na programação orientada a objeto. Nesse contexto, é definido como objetos reutilizáveis em sistemas daquele tipo, cujo propósito principal é buscar um custo-benefício satisfatório e que viabilize tais sistemas. A segunda está centrada no aprendizado e são diversos os conceitos encontrados na literatura, mas, no geral, são entidades, materiais ou não, que podem ser recuperadas ao longo de um processo de ensino.

Um conceito com estreita relação com os processos educacionais e largamente citado no mundo acadêmico, define objetos de

aprendizagem como qualquer entidade, digital ou não, que pode ser utilizada, reutilizada ou referenciada em processos de aprendizado suportados por tecnologia (WILEY, 2000; IEEE P1484.12.1, 2004). Na visão de Wiley, objetos digitais são representados por entidades arquivadas sob alguma forma de mídia, as quais podem ser resgatadas a qualquer momento; a modelagem de formas geométricas 3D abordada no presente trabalho é um típico exemplo (capítulo 4.2.2.3, pág. 49). Quando não digitais, os objetos de aprendizagem estão representados por instrumentos físicos, sendo esta basicamente a única diferença, já que do ponto de vista proposicional, ambos têm o mesmo objetivo. Por exemplo, um cubo virtual, assim como um cubo real, podem servir como suporte para o ensino da geometria espacial. Entretanto, em se tratando de EaD, seria altamente vantajoso dispor de meios digitais para a realização de tarefas a distância, uma vez que o objeto virtual pode “estar” em qualquer lugar e a qualquer tempo, o que torna difícil com objetos reais.

Um conceito mais abrangente e apoiado por Hodgins (2002), objetos de aprendizagem são comparados aos blocos de LEGO porque representam conteúdos cujo formato mínimo são reaproveitados na construção de outros formatos. Entende-se por formato mínimo as peças unitárias do entretenimento, as quais, em conjunto harmonioso, resultam em formatos definidos.

## **3 FERRAMENTAS E TRABALHOS RELACIONADOS**

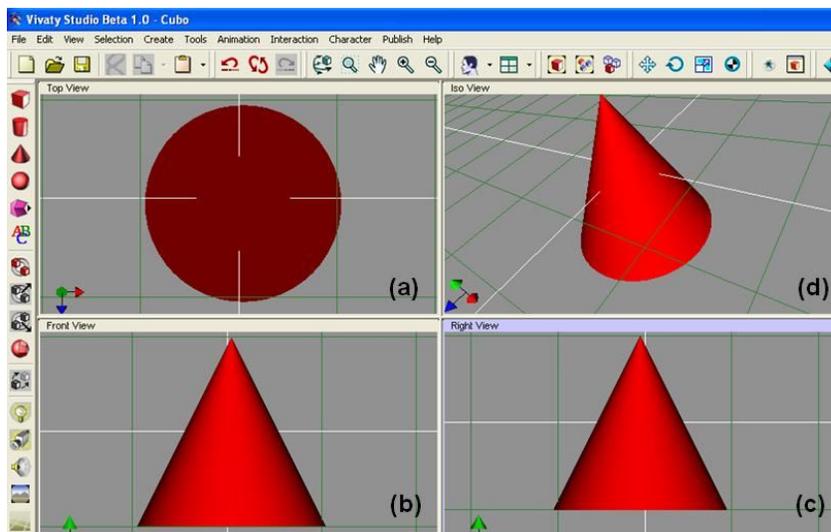
### **3.1 FERRAMENTAS**

As principais ferramentas utilizadas no desenvolvimento do projeto se dividem em dois grupos: as que estão voltadas para a RV e as que se relacionam com a RA. Os sistemas Vivaty Studio Beta (2008) e o VrmlPad 2.1 (PARALLELGRAPHICS, 2009) fazem parte do primeiro grupo, enquanto que o ARToolKit (2009), o NetARToolKit (OLIVEIRA, 2008) e o SACRA (SANTIN, 2008), do segundo. Os sistemas serão abordados a seguir, cuja ênfase será dada ao ARToolKit por ser o programa base para o desenvolvimento do trabalho.

#### **3.1.1 VIVATY STUDIO**

É um software livre e serve para modelar objetos e cenários tridimensionais. Possui uma interface aparentemente simples, mas é um programa capaz de criar ambientes bastante complexos, inclusive com adição de textura, áudio, animação etc. A ferramenta permite salvar o ambiente modelado nos principais formatos virtuais, como X3D e VRML, cujas extensões de arquivos são “.x3d” e “.wrl”, respectivamente. Sua importância para o trabalho figura na modelagem de diversos exemplos de formas geométricas, como esferas, cubos etc, além de figuras irregulares e textos 3D que fazem parte das aplicações realizadas. A Figura 11 mostra um cone sendo modelado no Vivaty Studio (VIVATY STUDIO, 2008). As quatro imagens desta Figura correspondem ao mesmo objeto virtual, sendo cada uma mostrada por um ângulo de visão diferente, sendo eles: superior (a), frontal (b), lateral direito (c) e diagonal (d).

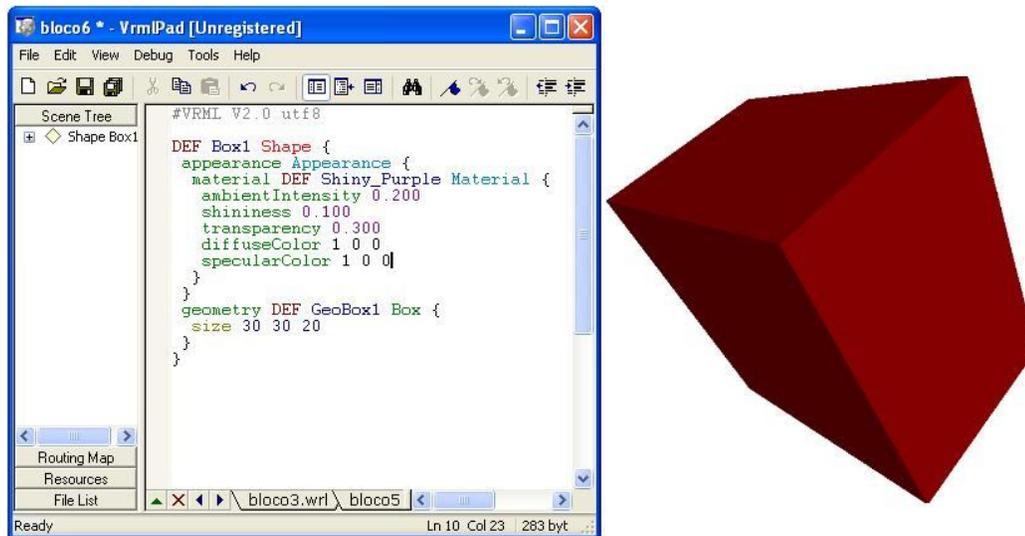
Como se verá no capítulo 4, o principal objetivo da ferramenta proposta é justamente a modelagem de figuras geométricas básicas, como a que é mostrada na Figura 11. Nesse sentido, o sistema Vivaty Studio foi extremamente útil para a criação dessas figuras e posterior comparação com o que era produzido pelo software.



**Figura 11. Modelagem de um cone pelo software Vivaty Studio**

### 3.1.2 VRMLPAD 2.1

Assim como o Vivaty Studio, o VrmlPad é um programa para a criação de mundos virtuais, porém muito mais simples que o anterior. Não possui uma interface gráfica sofisticada que permita modelar os objetos diretamente através de imagens e botões. Entretanto, sua importância no trabalho figura na facilidade que o programa oferece para a criação e alteração do código fonte de objetos mais simples, como cubos, esferas etc, coisa que o Vivaty Studio não oferece. A versão free do VrmlPad 2.1 (PARALLELGRAPHICS, 2009) não permite salvar objetos virtuais acima de 64 Kb, embora isso não tenha causado problemas porque todas as figuras virtuais geradas por este programa e utilizadas nas aplicações do projeto não ultrapassaram 10 Kb. A Figura 12 ilustra o VrmlPad com o código de um paralelepípedo vermelho. Depois de salvo, esse arquivo VRML apresentou algumas linhas de código e apenas 1 Kb de espaço em disco.



**Figura 12. Código VRML de um paralelepípedo modelado no VrmIPad 2.1**

### 3.1.3 ARToolKIT

Software livre e de código aberto, o ARToolKit foi desenvolvido pela Universidade de Osaka através do Dr Hirokazu Kato (ARTOOLKIT, 2009). O uso do sistema permite aplicações de RA já inclusas e pré-configuradas no pacote do programa. A ferramenta também permite o desenvolvimento de outras aplicações envolvendo a RA, bastando, para isso, conhecimentos em programação, preferencialmente nas linguagens C e C++.

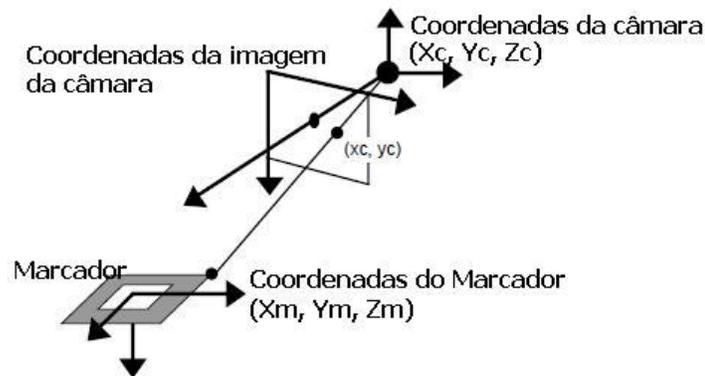
A finalidade básica do software é rastrear e posicionar os objetos 3D em relação à câmera através de uma forma conhecida. Portanto, é necessário conhecer uma determinada forma (padrão) para obter sua localização, de maneira que, sobre esse modelo, o objeto virtual possa ser sobreposto no mundo real. A forma, padrão ou modelo mencionado, é o marcador (placa), objetos físicos que fazem parte das aplicações de RA. Uma vez sobreposto sobre o marcador, o objeto 3D fica atrelado a ele e sofre os mesmos movimentos que o usuário aplica aos marcadores. É o mesmo que imaginar um jogo de pires com sua xícara, onde o primeiro seria a placa e o segundo, o objeto virtual. O marcador, conforme Figura 13, na maioria das aplicações com ARToolKit é constituído por um pedaço de papelão com uma moldura desenhada, tendo no seu interior um símbolo qualquer.



**Figura 13. Exemplo de marcador de RA de 80x80 (milímetros)**

O software é implementado nas linguagens C e C++. Sua versão *free* mais recente (ARTOOKIT 2.72.1) é de fevereiro de 2007 e pode ser obtida gratuitamente para as plataformas Windows, Mac OS, Linux e Irix (ARTOOKIT, 2009). Existem outras versões comerciais e pagas do ARToolKit que podem ser adquiridas na homepage da ARToolWorks (ARTOOLWORKS, 2009), mas o trabalho está estruturado na versão 2.72.1, ferramenta suficiente para o propósito da pesquisa em curso.

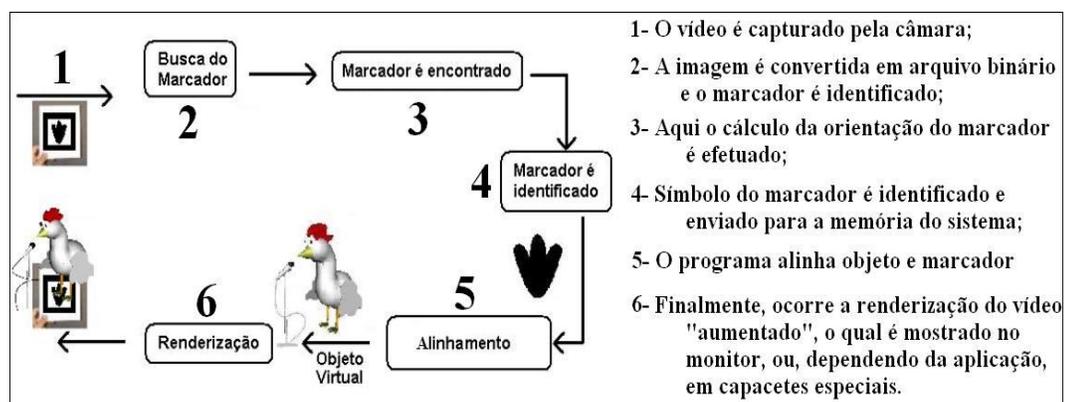
A ferramenta ARToolKit faz uso de técnicas de visão computacional para implementar o rastreamento óptico. O rastreamento é necessário para o processamento da imagem nos terminais de saída, que pode ser um monitor ou óculos especiais (KATO, 1999). Tem por finalidade identificar e estimar em tempo real a posição e orientação do marcador. Somente em base a esses dados é que as coordenadas da câmara poderão ser calculadas e renderizadas em planos bidimensionais, como é caso das telas dos monitores. Assim, a representação da projeção por coordenadas é útil porque nesse sistema de coordenadas um ponto no espaço (marcador) pode ser representado por outro no monitor (CONSULARO et al, 2004). O esquema da Figura 14 esclarece as relações entre as diferentes coordenadas (KATO, 1999).



**Figura 14. Rastreamento do marcador com os sistemas de coordenadas (KATO, 1999)**

A obtenção da coordenada bidimensional que será mostrada no monitor é obtida mediante cálculos matriciais constantes, isto é, em tempo de execução contínuo. Uma matriz de transformação  $3 \times 4$  é multiplicada por um ponto tridimensional localizado no marcador e o resultado é um ponto correspondente nos sistemas de coordenadas da câmera (KATO, 1999; SANTIN, 2008).

O esquema de funcionamento do ARToolkit é descrito no gráfico da Figura 15. As etapas ilustradas na Figura ocorrem sequencialmente e o tempo todo, e só termina quando a câmera é desconectada do sistema.



**Figura 15. Diagrama de funcionamento do ARToolkit**

O sistema ARToolkit dispõe de alguns exemplos de aplicação que são bastante úteis para o programador que deseje fazer ajustes ou adaptações conforme as aplicações de seu interesse.

## 3.2 TRABALHOS RELACIONADOS

A seguir são apresentados três trabalhos com alguma relação com o projeto proposto. Studierstube é um *framework* desenvolvido para soluções de RV e RA, o qual já estimulou o desenvolvimento de mais de quarenta outros projetos. Sua aplicação mais significativa está voltada para a construção e manipulação de figuras tridimensionais em ambientes colaborativos e distribuídos. O Construct3D é um software desenvolvido a partir do Studierstube e também está voltado para aplicações de RA, porém com ênfase em dispositivos mais complexos, como luvas e canetas virtuais. Quanto ao SACRA (Sistema de Autoria em Ambiente Colaborativo com RA), trata-se de outra ferramenta baseada em RA, cujo foco é a autoria, isto é, permite que pessoas leigas na área de programação sejam estimuladas a desenvolverem suas próprias aplicações de maneira mais intuitiva e sem depender de pessoal especializado (SANTIN, 2008).

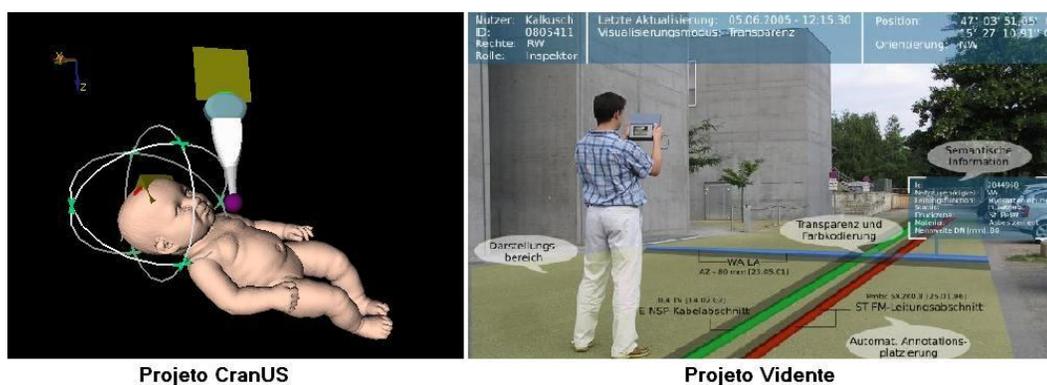
### 3.2.1 STUDIERSTUBE

Projeto iniciado em 1996 por um grupo de pesquisadores da Universidade de Tecnologia de Viena, o Studierstube (SCHMALSTIEG, 2002) é uma ferramenta para aplicações colaborativas e distribuídas com apoio da RA. O sistema permite a geração de imagens 3D que são compartilhadas tanto face a face, quanto de forma remota. O Construct3D (SCHMALSTIEG, 2002), descrito na Figura 16, é uma ferramenta baseada no Studierstube e projetada para modelar figuras tridimensionais em ambientes baseados em RA, onde as aplicações principais estão voltadas para o ensino de matemática e geometria. Como vantagem, o sistema permite ao estudante ver as imagens das figuras geométricas como objetos 3D, aumentando sua percepção na elaboração dos objetos geométricos tridimensionais. Uma desvantagem desse sistema é a exigência de dispositivos óticos não convencionais, o que não o torna popular como as aplicações mais simples de RA.



**Figura 16. Projeto Construct3D (SCHMALSTIEG, 2002)**

Outros projetos baseados no Studierstube estão em andamento. Um deles é o CranUS, *Cranial Ultrasound Simulation System* (CRANUS SYSTEM, 2008). O sistema é um simulador de ultrassonografia em crânios neonatais. Ultrassonografia é o método de diagnosticar partes do corpo humano mediante a emissão de ondas sonoras de alta frequência; é sinônimo de ecografia (FERREIRA, 1986b). Vidente é o nome de outro projeto estruturado no Studierstube e que se encontra em fase de conclusão (MENDEZ, 2006). Tem a finalidade de permitir a visualização de canais subterrâneos em tempo real através de sistemas móveis, similares aos celulares. Ambos os projetos têm a RA como ferramenta base e parte deles estão ilustrados na Figura 17. Outros projetos relacionados ao Studierstube podem ser acessados mediante sua home Page (STUDIERSTUBE, 2009).



**Projeto CranUS**

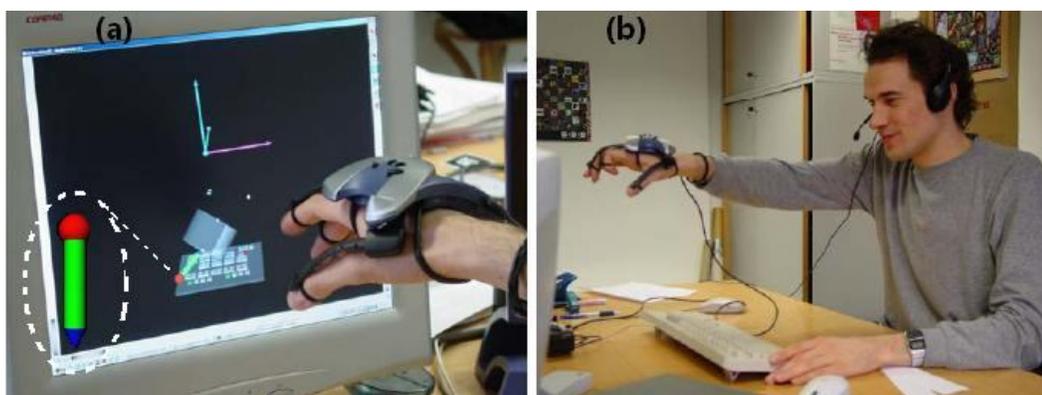
**Projeto Vidente**

**Figura 17. Projetos CranUS e Vidente (MENDEZ, 2006)**

### 3.2.2 CONSTRUCT 3D

Trata-se de um sistema desenvolvido a partir do Studierstube. O programa tem aplicações na construção de objetos virtuais voltados para o ensino de matemática e geometria (Figura 16). Assim como o Studierstube, o Construct 3D (SCHMALSTIEG, 2002; KAUFMANN, 2004), é baseado em RA mediante o uso de lentes e canetas especiais. De acordo com seus idealizadores, o sistema permite ao usuário construir formas 3D diretamente no espaço físico mediante canetas especiais, as quais, manipuladas pelas mãos, são movidas com liberdade suficiente para gerar diferentes formas geométricas, como esferas, cubos, cones etc.

Outras aplicações foram desenvolvidas com o Construct3D, como ilustra a Figura 18. Neste projeto, a caneta, que aparece sob a forma de objeto virtual no monitor (a), é manipulada por uma luva especial acoplada ao sistema. Com a luva, o usuário pode realizar algumas ações que normalmente seriam finalizadas com o mouse, como clicar e arrastar. Conforme Figura 18 (b), o usuário flexiona o dedo indicador, o que equivale a clicar com o botão esquerdo do mouse (para quem é destro). O objetivo dessa ação é selecionar pontos no espaço para a criação de formas geométricas, conforme mostrado na Figura 18a (KAUFMANN, 2004).



**Figura 18. Aplicação de luva (P5 Glove) no Construct3D para geração de formas geométricas (KAUFMANN, 2004)**

### 3.2.3 SACRA

Sistema de Autoria em Ambiente Colaborativo com Realidade Aumentada (SACRA), proposta por Santin (2008), é uma ferramenta baseada no ARToolKit (2009) e NetARToolKit (OLIVEIRA, 2008). O primeiro já foi abordado no capítulo 3.1.3. NetARToolKit é um programa de RA e faz uso das bibliotecas do ARToolKit para oferecer suporte em aplicações que envolvam alteração de cenas virtuais em ambientes de rede. Tem por objetivo atuar diretamente nas cenas pré-carregadas. O recurso é interessante para algumas situações, que, de outra forma, seria difícil de realizar; um exemplo é mostrado na Figura 19. O projeto descrito na Figura descreve dois sistemas NetARtoolKit interligados via rede. O experimento mostra o usuário A alterando a posição de um dos objetos do cenário que se encontra no computador do usuário B. Outra maneira de realizar essa tarefa seria trazer o cenário de B para A, proceder com a alteração de posição do cubo e voltar o cenário para seu local de origem. O problema é que todo esse processo causaria lentidão para os sistemas envolvidos com a rede. A primeira opção é mais eficiente, uma vez que bastou um comando para que o programa remoto realizasse a operação.

A Figura 19 mostra o cubo vermelho passando por uma translação negativa no eixo Y, mas poderia sofrer alteração de cor, tamanho, ou mesmo transformar-se em outra figura geométrica, como, por exemplo, prolongando uma de suas faces através do comando `set_scale` num dos três eixos, o que causaria o surgimento de um paralelepípedo reto, isto é, outra forma espacial.

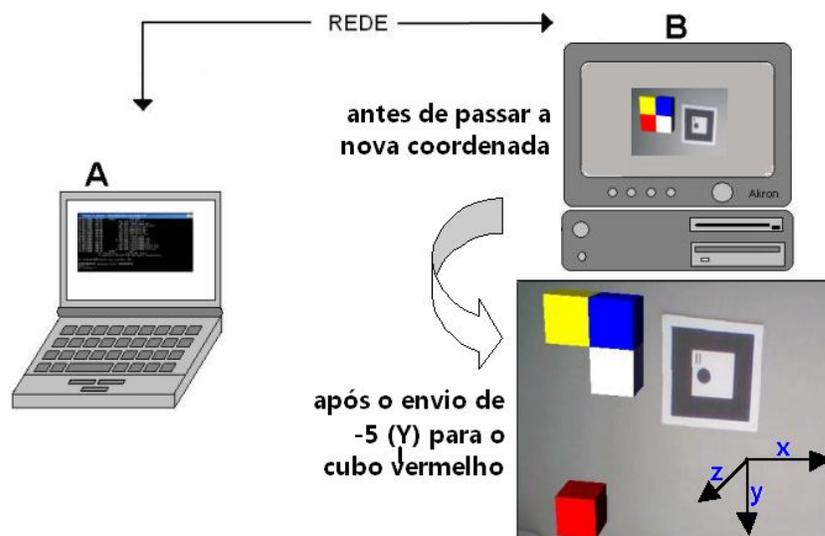


Figura 19. Alteração de cenário com o NetARToolKit (OLIVEIRA, 2008)

O sistema NetARToolKit é baseado no modelo cliente-servidor e envia os parâmetros mediante comandos simples, conforme descrito na Figura 20.

```

c:\> Prompt de comando - SimpleVRMLClient.exe servidor 1201
Microsoft Windows XP [versão 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\francisco>n:
N:\>SimpleVRMLClient.exe servidor 1201
##### programa certo #####
Argc: 3
0 - teste5 (<)
set_tranlation cr 0 -5 0
Comando: envia<25      set_tranlation cr 0 -5 0>
  
```

deslocamento no eixo Y de -5

Figura 20. Envio de parâmetros com o NetARToolKit (OLIVEIRA, 2006)

A ferramenta SACRA enfatiza o conceito de autoria, permitindo que usuários sem conhecimento de programação possam resolver seus problemas de forma isolada, isto é, sem ajuda de pessoal qualificado. Para isso, o sistema ARToolKit foi trabalhado e modificado para permitir diversas aplicações, envolvendo projetos locais e remotos; daí a importância do

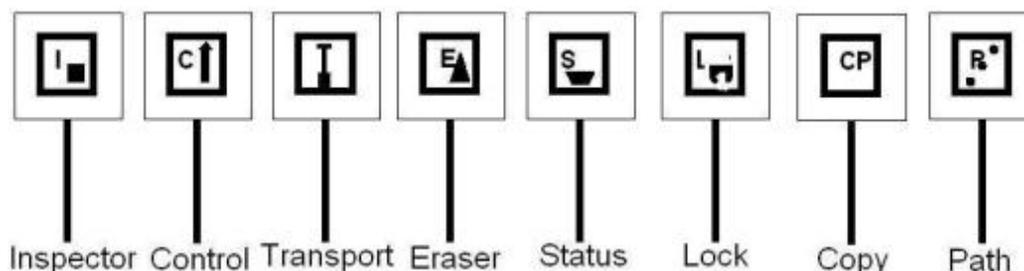
NetARToolKit nesse projeto. Ferramentas de autoria geralmente possuem interfaces gráficas, isso porque são mais estimuladoras para a maioria dos usuários. Por outro lado, o uso de uma interface tangível de RA em autoria permite a potencialização e o incremento da percepção do usuário, visto que utilizam a intuição natural para a manipulação de objetos virtuais (SANTIN, 2008). No contexto acima, o conceito tangível tem o propósito de eliminar a lacuna entre as interações de um ambiente natural e aquele mediado por computador, uma vez que o usuário, sobre todo o mais leigo, possui mais intimidade com objetos do mundo real (ULBRICHT, 2003).

As interações no SACRA ocorrem mediante interfaces tangíveis, as quais estão constituídas por diversos marcadores, onde cada um representa uma função no sistema. A autoria no sistema também oferece suporte à colaboração, de tal modo que ambientes virtuais se tornem objetos estimuladores em processos educacionais. Outro ponto de destaque do sistema é a colaboração, uma vez que possibilita aos usuários a realização de tarefas face a face, assíncrona, síncrona distribuída e assíncrona distribuída. O primeiro exemplo ocorre ao mesmo tempo e no mesmo local para todos os usuários envolvidos. É quando se tem um grupo de pessoas atuando no mesmo cenário. No tipo assíncrono, a colaboração ocorre em momentos diferentes. Como exemplo, um cenário virtual poderia ser montado por uma pessoa e posteriormente (e no mesmo local) ser analisado e redefinido por outra. O modelo síncrono distribuído é o tipo de aplicação que ocorre em tempo real para todo o grupo envolvido, independente de onde esteja localizado fisicamente cada membro desse grupo. Exemplo de sincronia são as teleconferências, as quais se tornam cada vez mais comum nas relações educacionais, empresariais, comerciais e outras modalidades. Um dos trabalhos (*Collaborative Learning Environments with Augmented Reality*) realizados durante o período do projeto foi apresentado via teleconferência (pág. 94). Esse artigo foi apresentado desde Piracicaba a um público situado na UFRGS, cidade de Porto Alegre.

Assíncrona distribuída é a modalidade de colaboração onde o trabalho realizado por um membro do grupo pode ser enviado por e-mail aos

demais grupos, por exemplo. Outras formas de envio também fazem parte desse processo, desde que os contatos com o conteúdo das informações ocorram em momentos distintos entre os participantes, daí o conceito de assincronia.

Os marcadores do SACRA são, inicialmente, em número de treze, mas essa quantidade pode aumentar com pequenos ajustes. Os oito primeiros são denominados marcadores de ações, enquanto que os demais, marcadores de referências. Desses, o primeiro (nono da contagem geral), representa o marcador de referência remota, o qual pode ser utilizado em aplicações de colaboração a distância, isto é, por meio de redes locais. A Figura 21 relaciona os marcadores de ação, enquanto que o Quadro 2 descreve a lista dos marcadores com uma breve explicação das funções de cada um.



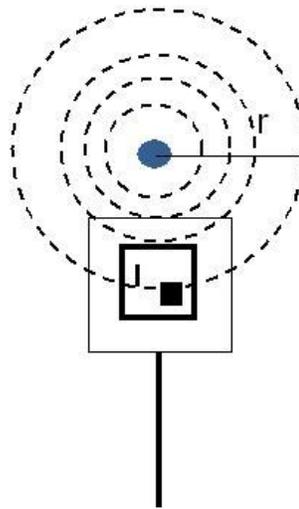
**Figura 21. Marcadores de ação do sistema SACRA (SANTIN, 2008)**

**Quadro 2. Funções dos marcadores de ação do SACRA**

PLACA	FUNÇÕES
Inspector	Inspeccionar ou recadastrar novos pontos
Control	fazer a troca dos objetos virtuais no ambiente
Copy	fazer cópias de objetos virtuais do cenário
Transport	reposicionar o ponto em novas orientações
Eraser	excluir os pontos e desalocar os objetos virtuais da memória
Status	mostrar ao usuário os valores das principais variáveis
Path	realizar percursos entre as REFs mediante rastros
Lock	permite o bloqueio e desbloqueio das operações remotas

Os marcadores de ações são configurados com pontos imaginários que estão próximos a eles. Estão representados por pequenas

esferas virtuais e são chamados de pontos de colisão. É através desses pontos que o marcador tem ação sobre os objetos no cenário de RA. Por exemplo, para que um objeto virtual consiga deslocar-se dentro do cenário 3D, utiliza-se o marcador de transporte, o qual, ao se aproximar do objeto, faz sua captura com posterior transporte para o local desejado (Figura 22). A captura ocorre graças à colisão entre ambos os objetos, isto é, entre a imagem 3D que se aproxima e a pequena esfera localizada no centro de atuação do marcador de ação.



**Figura 22. Raio de atuação de um marcador de ação (SANTIN, 2008)**

## **4 DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES EDUCACIONAIS INTERATIVAS E COLABORATIVAS COM REALIDADE AUMENTADA**

O capítulo descreve um sistema, cujas aplicações estão voltadas para duas disciplinas dos ensinos fundamental e médio: a Geometria Espacial e a Física. As aplicações estão centralizadas num único programa, denominado RA-Educacional. Primeiramente, será descrito o ambiente da ferramenta, seguido de suas implementações.

### **4.1 AMBIENTE DO RA-EDUCACIONAL**

O programa constitui-se numa ferramenta de apoio a professores e alunos, o que o coloca em estreita relação com processos de ensino/aprendizagem. Possui uma interface principal, a qual direciona o usuário às demais interfaces do programa. A interação com o sistema, além do mouse e teclado, é baseada em marcadores, itens fundamentais nas aplicações básicas de RA. Os marcadores utilizados em ambientes de RA permitem interações computacionais que não são suportadas por outros sistemas, daí o grande crescimento de tais ambientes observados nos últimos anos, inclusive no meio acadêmico mediante inúmeras pesquisas em diversas instituições de ensino no Brasil e outros países.

Na modalidade Geometria Espacial, o sistema permite a modelagem de cinco tipos diferentes de figuras espaciais (cubo, esfera, cone, cilindro e paralelepípedo reto). Para cada figura, é possível definir três parâmetros de configuração, sendo eles: medidas, transparência e cor. Definidos esses valores, a modelagem ocorre de duas formas: sólido ou aramado. Uma vez modelada, a figura poderá ser visualizada com o Internet Explorer (I.E.) ou ARToolKit. Num segundo momento, as figuras modeladas poderão ser visualizadas e alteradas por outros usuários da rede; as alterações referem-se às características do objeto, como cor, tamanho etc. Objeto sólido é aquele em que todos os pontos de seu espaço volumétrico são preenchidos, enquanto que aramado é o objeto constituído apenas por arestas; a Figura 41 (pág. 59), assim como o Apêndice 1, trazem exemplos de sólidos e aramados.

A modalidade de Física da aplicação oferece dois experimentos da disciplina, cujo objetivo é demonstrar uma visualização 3D de tais procedimentos, já que nem sempre isso é possível nos laboratórios escolares, principalmente nas instituições públicas. Assim como a modalidade anterior, a de Física fornece alguns campos para a entrada de dados, conforme o caso de lançamento vertical de um corpo no ar ou queda livre de um corpo no ar. Após a execução dos cálculos, o experimento poderá ser visualizado através de marcadores com o ARToolKit.

#### 4.2 IMPLEMENTAÇÃO DO RA-EDUCACIONAL

O software RA-Educacional foi elaborado com a ferramenta de programação Delphi 7. Sua interface principal direciona o usuário a uma das duas aplicações disponíveis: Geometria Espacial ou Física. A Figura 23 descreve o esquema de execução e as aplicações do programa.

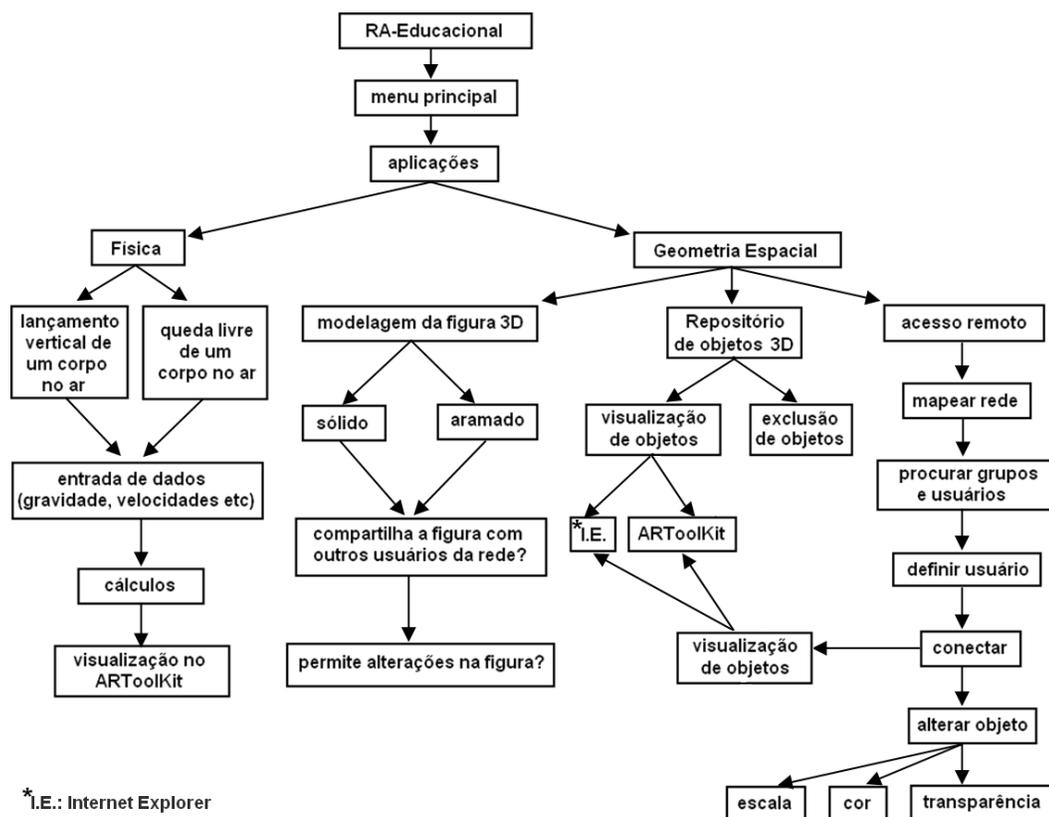


Figura 23. Esquema de execução do RA-Educacional

#### 4.2.1 IMPLEMENTAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE FÍSICA

As aplicações de Física têm por objetivo dar maior realismo aos experimentos realizados em sala de aula, uma vez que, na maioria das vezes, não são realizados em laboratórios. O usuário deve entrar com três dados para que o programa faça os cálculos e o experimento possa ser visualizado através do ARToolKit. O Quadro 3 relaciona as entradas de dados com o tipo de experimento.

**Quadro 3. Relação das entradas de dados com o tipo de experimento de Física**

	<b>Lançamento vertical</b>	<b>Queda livre</b>
<b>Entrada de dados</b>	gravidade	gravidade
	passo	passo
	velocidade de lançamento	altura da queda

Assim como no mundo real, o programa realiza cálculos aproveitando as mesmas leis da Física. Em ambos os experimentos, é necessário saber a posição que o corpo deverá ocupar no espaço 3D antes de cada renderização pelo ARToolKit. Renderização é o processamento digital de dados que culmina com algum produto final, geralmente imagens (2D ou 3D) ou som. A entrada “passo” indica o tempo entre uma posição e outra do objeto em movimento. Por exemplo, utilizando a fórmula do movimento uniformemente variado (MUV) com velocidade inicial 100 e gravidade 10, têm-se os seguintes resultados para as posições do objeto lançado (Tabela 1):

Analisando a Tabela 1 e relacionando-a com o conceito de passo descrito acima, conclui-se que foi utilizado passo 1, isto é, o programa calculará novas posições para cada segundo de movimento.

Para gerar essas posições através do RA-Educacional, foi utilizada a lógica descrita no Quadro 4.

**Tabela 1- As três primeiras posições de um corpo em MUV**

Fórmula do MUV de um corpo que sobe na vertical:
$S = V_0 * t - 0,5 * g * t^2$
S é o espaço
$V_0$ é a velocidade inicial (100)
t é o tempo
g é a gravidade (10)
Cálculo dos 3 primeiros instantes (segundos):
$S_1 = 100 * 1 - (10 * 1^2) / 2 = 95$
$S_2 = 100 * 2 - (10 * 2^2) / 2 = 180$
$S_3 = 100 * 3 - (10 * 3^2) / 2 = 255$
Obs.: Quando o corpo está em queda, troca-se o sinal - da fórmula por +

A primeira estrutura de repetição do Quadro 4 (linha 1) incrementa o valor de r, o qual representa cada renderização do objeto pelo ARToolKit. Portanto, se esse bloco do programa for executado cem vezes, este será o número de posições diferentes que o corpo em movimento ocupará no ambiente 3D de RA. A segunda estrutura (linha 4) analisa se o valor da altura do objeto ( $S_r$ ) para cada valor de r é maior ou igual a zero; valores abaixo de zero não seriam possíveis para esse tipo de movimento. Em caso positivo, o bloco calcula a posição de  $S_r$ , abre o arquivo exemplo01.txt e escreve duas linhas para cada valor de  $S_r$ .

**Quadro 4 – Estruturas de repetição para o cálculo das posições que o corpo ocupará no ambiente 3D**

<b>1</b>	<b>Para r = 1 até último r</b>	<b>Faça</b>
<b>2</b>	<b>Início</b>	
<b>3</b>	<b>Calcula <math>S_r</math>;</b>	
<b>4</b>	<b>Se <math>S_r \geq 0</math></b>	<b>Então</b>
<b>5</b>	<b>Início</b>	
<b>6</b>		<b>Abre o arquivo exemplo01.txt;</b>
<b>7</b>		<b>Escreve: Translation '+' <math>S_r</math>;</b>
<b>8</b>		<b>Pula 1 linha;</b>
<b>9</b>		<b>Escreve: Sleep '+' 100;</b>
<b>10</b>		<b>Fim</b>
<b>11</b>	<b>Fim</b>	

Na primeira linha é escrito a palavra *Translation* seguido do valor de  $S_r$ . *Translation* define cada posição que o objeto ocupará no espaço 3D, enquanto que o valor é sempre “0 0  $S_r$ ”, onde os dois primeiros zeros são fixos e correspondem aos eixos X e Y respectivamente, e o  $S_r$  ao eixo Z. Dessa forma, será no eixo Z que o corpo sofrerá o movimento de sobe e desce; exemplos desses movimentos são ilustrados na Figura 40, capítulo 5.1.1 (pág. 58).

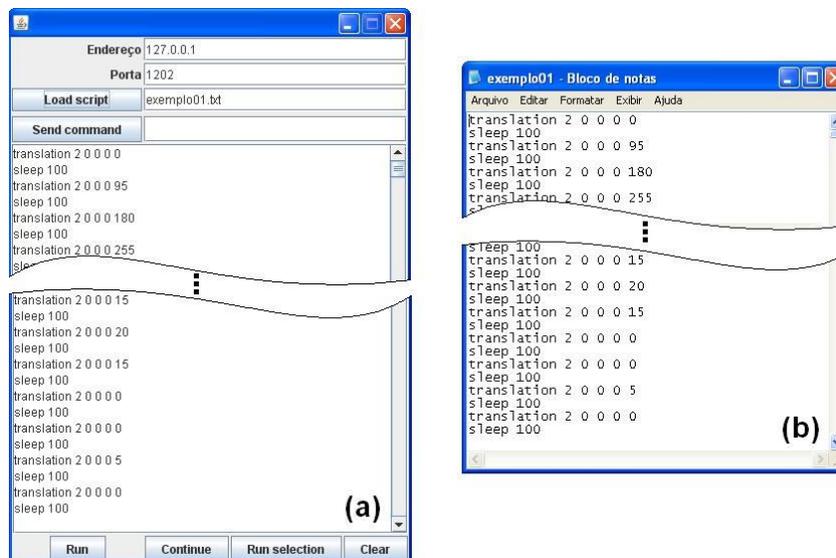
A segunda linha do arquivo texto (exemplo01.txt) recebe a palavra *Sleep* seguido do valor cem. Esse valor é constante e definido no código do programa, não podendo, portanto, ser alterado pelo usuário. O valor indica que a cada 100 milissegundos ocorrerá uma renderização do objeto virtual pelo ARToolKit. Levando em consideração as limitações de hardware, na prática, ocorrem distorções quanto a esse tempo, de maneira que equipamentos com melhores recursos de memória, processador e vídeo, conseqüentemente terão melhores resultados quanto à proximidade daquilo que ocorreria no mundo real.

Para o projeto, passo e *sleep* são conceitos diferentes, ainda que ambos se relacionem com o tempo, podendo, eventualmente, gerar dúvidas. A configuração do passo determina a ocorrência (tempo) de cada coordenada no espaço 3D. Por exemplo, no mundo real, um experimento de MUV poderia calcular as posições de um corpo para os tempos  $T_1$ ,  $T_2$  etc. Dessa forma, a variável passo calcula os tempos para cada renderização. Assim, esse tempo não deve ser confundido com o tempo entre as diferentes posições que o objeto assumirá quando o experimento for visualizado no monitor, já que este é dependente do *hardware*. Portanto, é através dessa variável que o programa calcula a sequência das diferentes posições que o objeto assumirá ao longo de seu movimento; isso ocorre até que o corpo (esfera virtual) assuma a última posição, que nada mais é que o repouso no solo (placa). Por outro lado, o *sleep* está relacionado com o tempo entre as renderizações efetuadas pelo programa. Trata-se de uma constante não observada nos experimentos da Física, porém, foi útil no programa para compensar diversidades de hardware. Após inúmeros testes, e considerando

uma configuração básica de equipamento, o valor cem foi a melhor opção que definiu a configuração para o *sleep*. Valores acima causariam sensação visual de aceleração, o que poderia ser comparado, por exemplo, quando o botão de avançar do videocassete é pressionado. Da mesma forma, *sleep* baixo desse valor causaria a sensação de movimentos lentos. Em ambos os casos, o virtual não estaria em concordância com o real, daí a necessidade de prover meios para a compensação desses problemas.

O procedimento para encontrar as posições que o objeto assumirá no cenário virtual serve tanto para objetos que sobem, quanto para os que descem, ou seja, em queda livre. A diferença está no cálculo do valor de  $S_r$ , que ora será para MUV e retardado (subida) e ora para MUV e acelerado (descida). As fórmulas desses movimentos somente diferem por um sinal, conforme observação feita na Tabela 1.

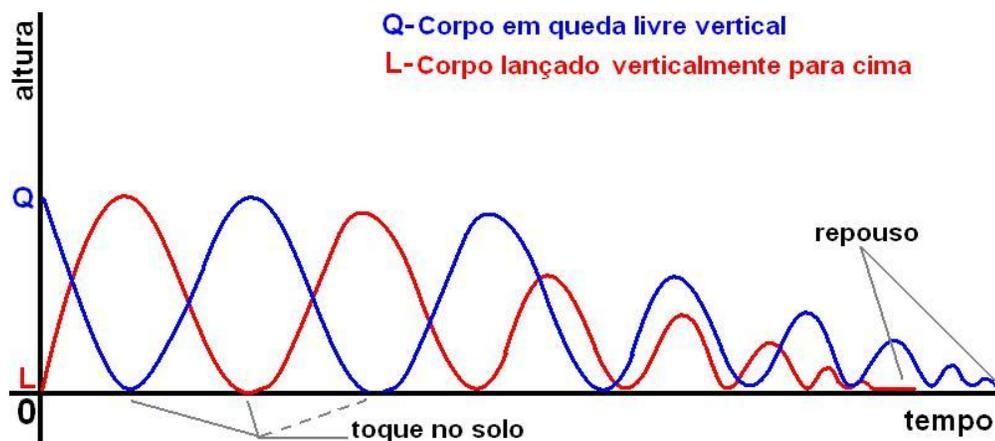
Com o auxílio dos sistemas NetARToolKit (OLIVEIRA, 2006) e SACRA (SANTIN 2008), foi criado um ambiente de RA para gerar os pontos e assim aplicá-los no ambiente virtual do RA-Educacional. A Figura 24 mostra a relação dos primeiros e últimos pontos gerados, os quais são repassados para o arquivo exemplo01.txt (b) através do botão *Load script* (a).



**Figura 24. Programa (a) gerador de coordenadas 3D (OLIVEIRA, 2006 e SANTIN, 2008); arquivo exemplo01.txt (b) com as mesmas coordenadas**

Comparando as três posições iniciais da Tabela 1 com o arquivo exemplo01.txt (Figura 24b), percebe-se que são idênticos, demonstrando que o programa calcula fielmente as mesmas posições de um experimento real. Entretanto, as renderizações das coordenadas pelo ARToolkit, quando comparadas com experimentos reais, estão vinculadas com as limitações de hardware e com o valor do *Sleep*, já vistos. Levando em consideração os avanços na área de hardware e sistemas, o problema maior ficou por conta de corrigir o *Sleep*. O valor de cem empregado para esse parâmetro foi o que melhor representou a realidade; para esse experimento foi utilizado um processador AMD de 1.9GHz, 2Gb de RAM e placa de vídeo de 512Mb.

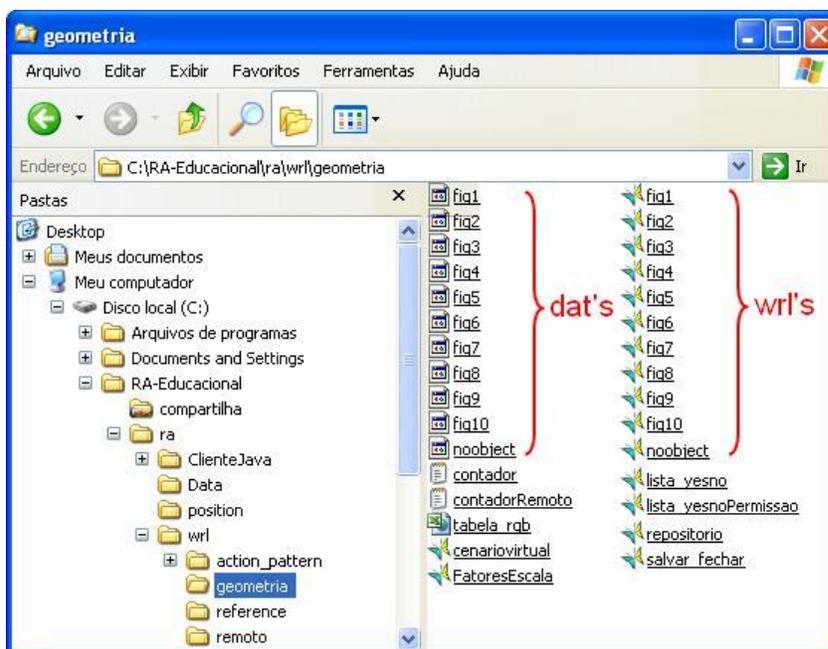
O gráfico da Figura 25 demonstra que os experimentos de lançamento e queda de corpos são diferentes somente nos primeiros instantes, uma vez que, enquanto um sobe, o outro desce. Quando o corpo que sobe atinge altura máxima, imediatamente começa a descer, executando, a partir daí, os mesmos movimentos de um corpo em queda livre. Portanto, um corpo que sobe também realiza movimentos de queda, assim como um corpo que cai tende a subir após tocar o solo. Os experimentos realizados consideram que a esfera virtual utilizada nas aplicações de Física possui coeficiente de elasticidade suficiente para provocar a reação de amortecimento, isto é, as aplicações consideram a esfera um objeto elástico.



**Figura 25. Comportamento de um corpo lançado para cima (L) e outro abandonado de certa altura (Q)**

## 4.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE GEOMETRIA ESPACIAL

As aplicações de Geometria Espacial correspondem às funções mais importantes da ferramenta proposta e depende da criação e modificação de diversos arquivos em tempo de execução. Esses arquivos correspondem às figuras de extensão wrl que são criadas, assim como outros arquivos de suporte à aplicação, os quais são alocados dentro da pasta geometria (Figura 26). A pasta principal e de mesmo nome do programa faz parte do diretório C:\. O diretório RA-Educacional possui duas pastas, sendo uma compartilhada (compartilha) e outra não (ra).



**Figura 26. Estrutura de diretórios do aplicativo RA-Educacional**

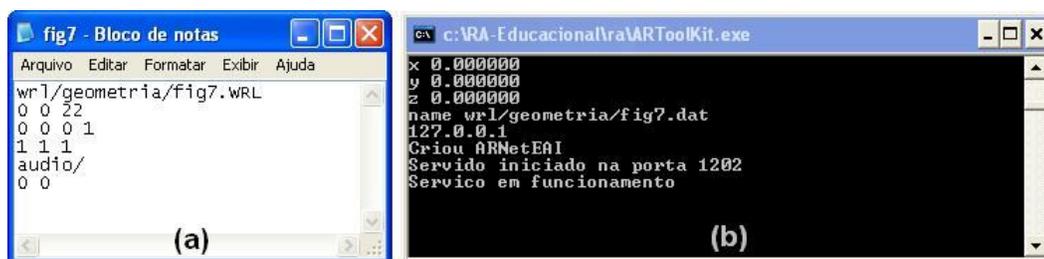
### 4.2.2.1 DIRETÓRIO NÃO COMPARTILHADO

O diretório “ra” contém as principais pastas, subpastas e arquivos do programa, inclusive para as aplicações de Física. A pasta mais importante das aplicações envolvendo a Geometria Espacial encontra-se no diretório “geometria”. Quanto às suas utilidades, os arquivos desta pasta são analisados conforme Quadro 5.

**Quadro 5. Arquivos da pasta geometria**

	Nome do arquivo	Extensão	Função
1	fig1 a fig10	.dat	usado pelo ARToolKit para executar o objeto correspondente
2	fig1 a fig10	.wrl	figuras espaciais
3	contador	.txt	conta o número de figuras modeladas
4	contadorRemoto	.txt	conta o número de figuras modeladas e compartilhadas
5	tabela_rgb	.htm	tabela com 456 cores no padrão RGB
6	cenariovirtual	.wrl	quando necessário, informa ao usuário se o sistema operacional possui um <i>plugin</i> instalado
7	FatoresEscala	.wrl	usado para as alterações das características dos objetos (serviço remoto)
8	lista_yesno	.wrl	lista os objetos compartilhados na rede
9	lista_yesnoPermissao	.wrl	lista os objetos compartilhados na rede e que possuem permissão para alterações
10	repositorio	.wrl	lista os objetos criados pelo usuário local
11	salvar_fechar	.wrl	lista e descreve os objetos criados pelo usuário local

Os arquivos de extensão dat são utilizados pelo ARToolKit para executar a renderização de determinado objeto. Por exemplo, no caso da Figura 27a, o arquivo dat (fig7.dat) está solicitando o objeto sete através de sua primeira linha (wrl/geometria/fig7.wrl). Se o usuário optar por visualizar a figura sete mediante o ARToolKit (Figura 27b), esse programa, então, renderizará o objeto correspondente ao arquivo dat, que para esse exemplo é o arquivo fig7.wrl. As demais linhas deste arquivo serão explicadas oportunamente. Os arquivos de extensão wrl correspondem aos objetos virtuais.

**Figura 27. Arquivo dat (a) e execução do ARToolKit (b)**

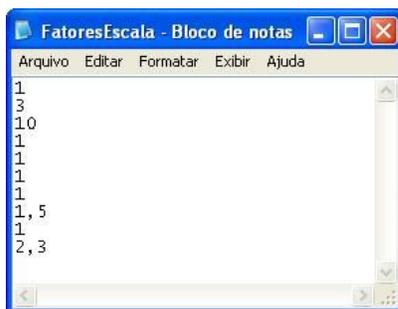
Os itens 3 e 4 do Quadro 5 são utilizados pelo RA-Educacional para armazenar duas variáveis do programa. Uma delas é a variável global “contador”, cuja função é contar o número de objetos modelados até determinado momento, ou seja, em tempo de execução. Quando o programa é

encerrado pelo usuário e caso este tenha armazenado um ou mais objetos, então a ferramenta carrega o arquivo contador.txt para que este receba o valor da variável contador. Dessa forma, se o programa for executado num segundo momento, a variável recebe o respectivo valor, portanto, com a quantidade de objetos anteriormente modelada. A variável global contadorRemoto tem a mesma função, porém com objetos que o usuário tem interesse em compartilhar com outros computadores da rede.

O item 5 (tabela\_rgb) corresponde ao arquivo HTML que traz consigo 456 opções de cores no padrão RGB. Este arquivo é acessado através de um botão durante o processo de modelagem dos objetos.

O arquivo “cenariovirtual” (item 6) é executado pelo programa quando o usuário necessita saber se o seu sistema operacional possui um *plugin* instalado, opção localizada no menu “Realidade Aumentada”, submenu “Sobre o *plugin*”. Tem a função de alertar quanto a falta do *plugin*. O manual do RA-Educacional (Apêndice 1) aborda o assunto de *plugins* com mais detalhes. No contexto do projeto, trata-se de um pequeno programa obrigatório para as visualizações dos objetos virtuais no I.E.

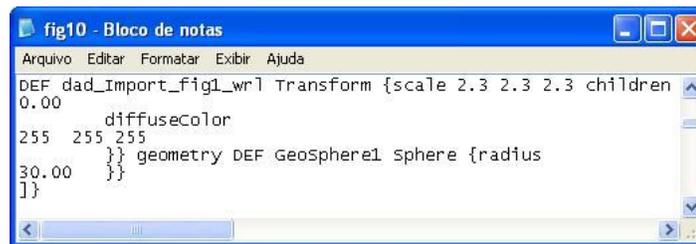
O programa RA-Educacional permite modificações nos objetos já modelados por outros usuários da rede. As alterações compreendem os parâmetros da escala, da transparência e da cor. Quando um objeto é modelado, sua escala recebe o valor 1 (um) e é repassada para o arquivo FatoresEscala (Quadro 5), o qual armazena dez valores (1 a 10) na vertical, conforme Figura 28.



**Figura 28. Arquivo FatoresEscala com os respectivos valores de escala**

Os dez valores correspondem à capacidade máxima de suportar figuras, que são dez objetos 3D. A ordem dos valores (de cima para baixo) corresponde aos objetos 1, 2, 3, e assim sucessivamente até o último objeto, caso ele exista. Todo objeto inicialmente modelado recebe o valor 1. Quando a escala é alterada por um usuário remoto, o valor é imediatamente atualizado no arquivo FatoresEscala, como é o caso das posições 2ª, 3ª, 8ª e 10ª do exemplo. Essas posições, de acordo com a Figura, correspondem aos valores 3, 10, 1,5 e 2,3.

A linguagem VRML não aceita a vírgula como separador de casas decimais. Para resolver esse problema, o programa realiza a troca da vírgula (,) pelo ponto (.) e, na sequência, salva o objeto com as novas alterações. A Figura 29 mostra o 10º objeto da lista, uma esfera sólida que inicialmente possuía raio 30 (*radius* 30). Com a alteração, a nova escala passou para 2.3 (*scale* 2.3 2.3 2.3). Se agora este arquivo for renderizado pelo programa, a esfera assumirá raio 69, equivalente a  $2.3 \cdot 30$  (raio\*escala). Como a escala fica gravada no arquivo VRML após cada alteração, a figura espacial estará sempre com suas dimensões atualizadas.



```

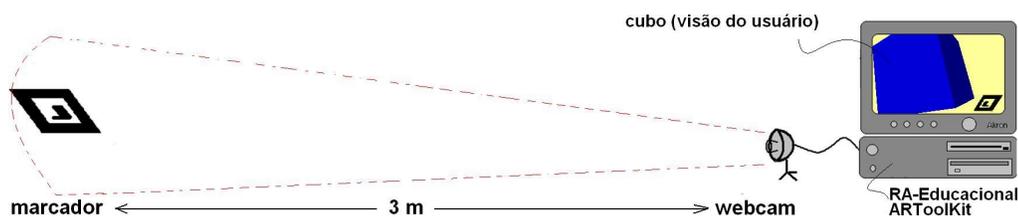
fig10 - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
DEF dad_Import_fig1_wrl Transform {scale 2.3 2.3 2.3 children
0.00
diffuseColor
255 255 255
}} geometry DEF Geosphere1 sphere {radius
30.00 }}
]}

```

**Figura 29. Objeto 3D com alteração de escala para 2.3**

Os três valores para o parâmetro *scale*, conforme ilustração de parte do código do 10º objeto (Figura 29), correspondem aos planos X, Y e Z. Dessa forma, quando o usuário remoto escolhe uma escala, esta é repassada para os três planos da figura espacial. Não fosse assim, a figura sofreria distorções entre os planos, o que poderia, inclusive, gerar outros volumes geométricos. O recurso de escala permite aumentar o objeto em dez vezes, assim como diminuí-lo na mesma proporção. Se o usuário desejar aumentar o

objeto cem vezes, por exemplo, terá que executar a mesma ação duas vezes. Em tese, o aumento poderia ser muito maior que isso, entretanto, quando o objeto se mostra muito grande, sua renderização pelo ARToolKit se torna difícil, ou mesmo impossível. Com o I.E. isso não ocorre porque o *plugin* consegue ajustar o tamanho do objeto com a tela do computador, independente de suas dimensões. A Figura 30 esclarece o motivo da impossibilidade de renderização através do ARToolKit para objetos muito grandes.



**Figura 30. Renderização de um cubo virtual com 999 de arestas**

O experimento da Figura 30 foi realizado nas mesmas condições apresentadas, onde o marcador precisou distanciar três metros para que o cubo sólido pudesse ser visto através do monitor. Com distância inferior, a visão que o usuário teria seria uma tela totalmente azul (cor do cubo), impossibilitando a identificação do objeto e, o que é pior, ocultando outras aplicações do usuário. Com distância superior a três metros, o foco da *webcam* não seria capaz de identificar o marcador, portanto, o programa não teria como renderizar o objeto. Por esse motivo, o programa não aceita medidas acima de 999 para quaisquer tipos de figura que são modeladas, a menos que seja mediante alterações via remota, onde não há limite algum.

O item 8 do Quadro 5 descreve o arquivo "lista\_yesno". A sua estrutura é semelhante àquela descrita para o arquivo FatoresEscala, porém com os caracteres "s", "n" ou "vazio" (Figura 31a). O primeiro caractere da lista (s) indica que o objeto foi compartilhado na rede, ou seja, poderá ser visto e, de acordo com outro arquivo que será visto mais adiante, talvez possa ser alterado. O "n" indica que o objeto não será compartilhado com outros usuários da rede, e as demais linhas ("vazio") indicam que essas figuras ainda não

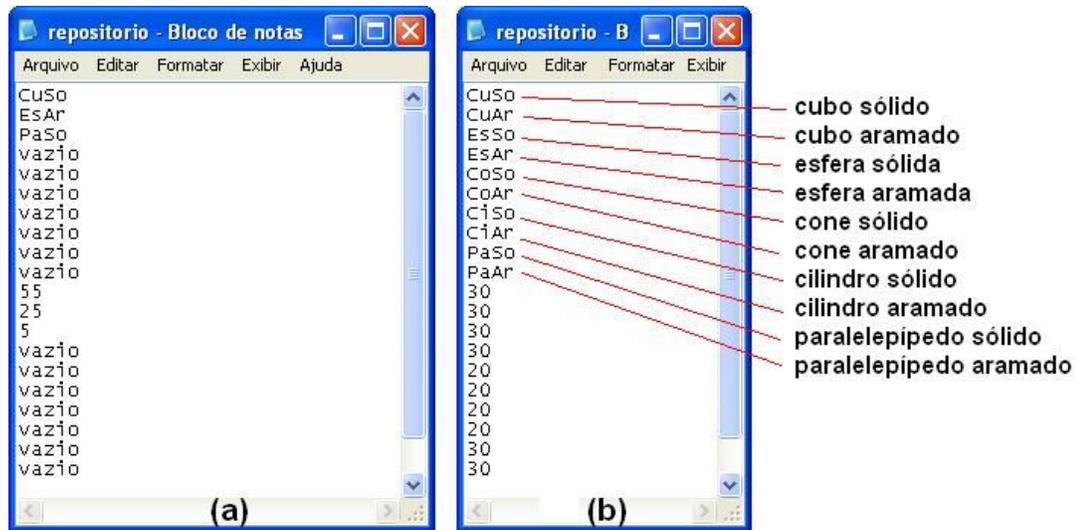
foram modeladas. A Figura 31a descreve uma situação em que os dois primeiros arquivos foram compartilhados e o terceiro não.



**Figura 31. Estrutura dos arquivos “lista\_yesno” e “lista\_yesnoPermissao”**

O arquivo “lista\_yesnoPermissao” (Figura 31b) aceita dados que definir  se o objeto modelado pelo seu autor terá ou não autoriza o para modifica es quanto aos parâmetros de escala, transparência e cor. Conforme Figura 31b, o arquivo apresenta uma sequência vertical de s, n e n, o que indica que somente o primeiro objeto tem permissão para ser alterado. Fazendo uma análise entre os dois arquivos (Figura 31), percebe-se que o primeiro objeto foi compartilhado e possui permissão para altera es (s-s). O segundo foi compartilhado, porém não possui permissão para modifica es, isto  , somente poderá ser visualizado (s-n). E o terceiro, e último objeto da lista, não foi compartilhado, não podendo, portanto, sofrer altera es quanto às suas características (n-n).

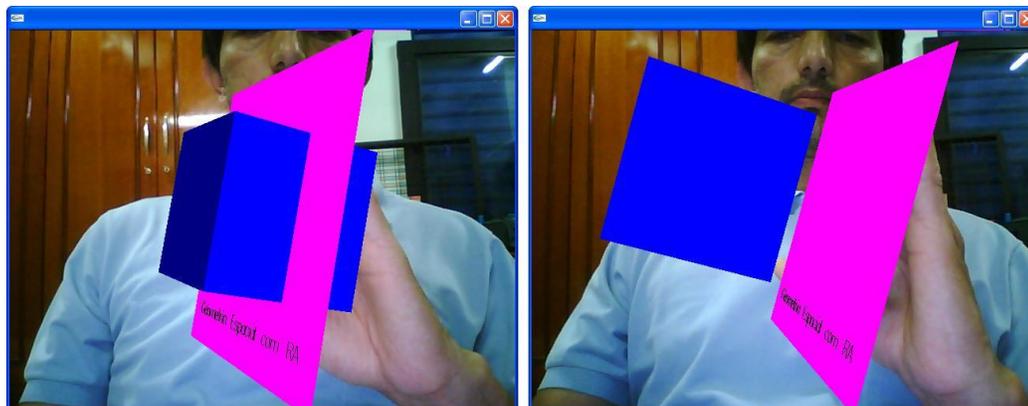
O arquivo “repositório” (item 10) possui três fun es. A primeira   associar o tipo de objeto com a posi o que este ocupa na lista dos objetos modelados (interface Repositório de objetos 3D). Para isso, são ocupadas as dez primeiras posi es verticais do arquivo, ou seja, as dez primeiras linhas (Figura 32a). Conhecer a posi o que o objeto ocupa na lista   útil para incluir e excluir novos objetos do Repositório, visualiza es pelos programas I.E. e ARToolKit, além de outras fun es.



**Figura 32. Estrutura do arquivo repositório**

Como segunda função, o arquivo ordena os objetos na lista como uma sequência de códigos, cuja utilidade é para identificações das figuras durante a execução do programa. Por exemplo, a sigla CuSo refere-se à figura cubo sólido, enquanto que CoAr indica a presença de um cone aramado.

A terceira função do arquivo é armazenar, a partir da 11ª linha, o valor da medida correspondente ao eixo Z de cada objeto modelado. Para o exemplo da Figura 32a, o primeiro objeto corresponde a um cubo sólido, cujo valor de Z é 55 (11ª linha). Este valor servirá de parâmetro para que o programa ajuste a posição do objeto em relação ao marcador e assim evite sobreposições entre ambos, efeito visual desagradável para quem utiliza o programa. A Figura 33 ilustra os dois exemplos: com (b) e sem (a) a correção da posição. Como se observa na Figura, o cubo azul se perde no cenário ao ser fundido com o suporte do marcador. Suporte é a figura virtual quadrangular e plana de cor magenta, cuja função é encobrir o marcador físico, aquele que o usuário segura com as mãos, e que não é visualizado nessa imagem (Figura 33).



**Figura 33. O mesmo objeto virtual com (b) e sem (a) correção de sua posição em relação ao marcador**

Para o exemplo dado, e conforme trecho de código descrito no Quadro 6, o valor 55 citado sofrerá um acréscimo de 20% (linha 2), e assim evitará que o objeto “toque” a placa (marcador físico). Após o cálculo, a sequência que o arquivo “dat” receberá em sua 2ª linha será “0 0 66”, onde o último valor corresponde ao produto de 55 por 1,2 (20%). Os dois primeiros zeros correspondem aos eixos X e Y, respectivamente. O valor 66 é o resultado que a variável “aux\_string” recebeu da variável “aux\_float” (linhas 3 e 8 do código). Dessa forma, independentemente do tamanho do objeto, ele sempre ficará a certa distância do marcador, de maneira que nunca o invada, assim como nunca fique tão distante a ponto de causar desconforto visual.

#### **Quadro 6. Código para evitar a sobreposição do objeto sobre o marcador**

```

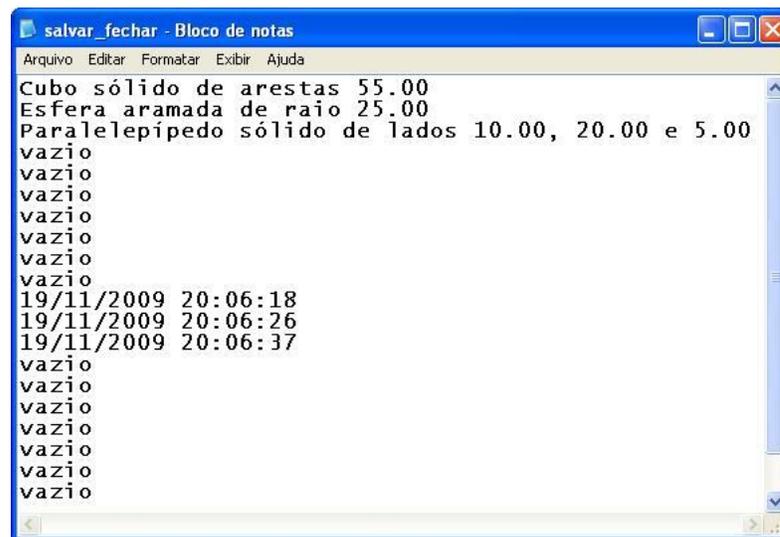
1 //-----REPOSICIONAMENTO DO OBJETO SOBRE A PLACA --> PARA EVITAR SOBREPOSIÇÃO
2 aux_float:=(StrToFloat(edt_aresta1.Text + ',' + edt_aresta2.Text))*1.2;
3 aux_string:=FloatToStr(aux_float);
4
5 if contador=0 then AssignFile(F,'C:\RA-Educacional\ra\wrl\geometria\fig1.dat')
6   Rewrite(F); //-----ABRE O ARQUIVO PARA ESCRITA
7   Writeln(F,'wrl/geometria/fig1.wrl')
8   Writeln(F,'0 0 ' + aux_string); //----ESCREVE NO ARQUIVO E PULA 1 LINHA
9   Writeln(F,'0 0 0 1');
10  Writeln(F,'1 1 1');
11  Writeln(F,'audio/');
12  Writeln(F,'0 0');
13  Closefile(f); //-----SALVA E FECHA O ARQUIVO

```

A linha 5 do exemplo acima indica que o programa está modelando sua primeira figura, uma vez que a variável contador está

recebendo o valor zero. As demais linhas do arquivo dat são constantes e não se aplicam às funções de Geometria Espacial. Definem a escala do cenário e a possibilidade de inserir áudio junto com a renderização dos objetos.

O 11º, e último item do Quadro 5, relaciona o arquivo salvar\_fechar, o qual armazena a descrição de cada objeto modelado conforme suas medidas e tipo, assim como o momento (data e hora) em que foram criados (Figura 34). Da mesma forma que os exemplos anteriores, a 1ª linha se relaciona com a 11ª, a 2ª com a 12ª, e assim por diante. O exemplo da Figura 34 indica que o segundo objeto, uma esfera aramada de raio 25, foi modelada no dia 19/11/2009 as 20:06:26 horas.



```

salvar_fechar - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Cubo sólido de arestas 55.00
Esfera aramada de raio 25.00
Paralelepipedo sólido de lados 10.00, 20.00 e 5.00
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
19/11/2009 20:06:18
19/11/2009 20:06:26
19/11/2009 20:06:37
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio
vazio

```

**Figura 34. Estrutura do arquivo salvar\_fechar**

#### 4.2.2.2 DIRETÓRIO COMPARTILHADO

Este diretório recebe o nome de “compartilha” é o único que deve ser compartilhado logo que o usuário instala a ferramenta no computador. Sua função é armazenar os objetos que o usuário aceita compartilhar na rede, quer seja para modificações, ou simplesmente para visualizações por outras pessoas. Assim, quando um usuário remoto solicitar ver ou alterar objetos de outros, é com esta pasta que o seu sistema irá se relacionar.

O diretório “compartilha” possui os mesmo arquivos que a pasta não compartilhada “geometria”, salvo algumas diferenças. Ele não possui os arquivos contador e contadorRemoto, já que eles são exclusivos nos processos de modelagens. Também não possuem os arquivos cenariovirtual e tabela\_rgb, uma vez que já estão disponíveis em outro diretório.

#### 4.2.2.3 MODELAGEM DOS ARQUIVOS VIRTUAIS

Para as ações de modelagem, o programa apresenta dez *procedures* diferentes, uma para cada tipo de figura espacial; a Figura 32b (pág. 46) descreve a lista destes objetos. Antes de analisar as *procedures*, convém compreender a estrutura do arquivo VRML, segundo o programa RA-Educacional (Quadro 7).

**Quadro 7. Forma padrão dos arquivos VRML modelados pelo RA-Educacional**

```

0 #VRML V2.0 utf8
1 #           ATENÇ Ã O!
2 #           ||
3 #           ||
4 #           ||
5 #           ||
6 #           ||
7 #           -----
8 #           \\\///
9 #           \\\//
10 #           \//
11 #           -V
12 # -----
13 # Se você estiver lendo esse arquivo é sinal de que teu sistema NÃO POSSUI
14 # um plugin instalado, o qual serve para visualizar objetos 3D através de
15 # seu navegador Internet Explorer. Caso necessite de um, acesse
16 # www.cortona3d.com/bin/cortona3d.msi e instale AUTOMATICAMENTE o programa
17 # em seu computador. Se tiver problemas com essa instalação, acesse
18 # www.cortona3d.com e preceda com o DOWNLOAD seguido da instalação MANUAL.
19 #           Desconsidere o restante desse documento!
20 # -----
21 DEF cone_solico Shape {appearance Appearance {material DEF Red Material {ambientIntensity 0.2
22 0 0 1
23           }} geometry DEF GeoCone1 Cone {height
24 30.00
25 bottomRadius
26 10.5 }}
27
28
⋮

```

Até a linha vinte, o código fonte de todas as figuras apresenta um texto explicativo sobre a falta do *plugin* no sistema operacional. Quando o usuário tenta abrir uma figura sem que tenha este programa instalado, o texto é

aberto com o próprio navegador e tem a função de orientar o usuário sobre o procedimento de instalação do *plugin*, uma vez que, sem ele, não é possível a visualização das figuras. Caso o sistema o possua, essas linhas do arquivo VRML são ignoradas, já que se tratam de comentários; para a linguagem VRML, o comentário é definido pelo caractere #. O código das figuras começa a partir da linha 21, que, na verdade, corresponde a linha 22 do arquivo. Isso ocorre porque a primeira linha é fixada como índice zero em matrizes de *string* para a linguagem Pascal.

O Quadro 8 exemplifica outra modelagem de objeto, onde as linhas 22, 24 e 26 correspondem às entradas que o usuário utilizou para configurar o objeto 3D, isto é, a cor, a transparência e as arestas do cubo, respectivamente.

#### Quadro 8 – Estrutura do código VRML de um cubo sólido

```

21 DEF box Collision {children [Transform {rotation 0 0 1 0} Shape {appearance Appearance
                                {material DEF cor Material {diffuseColor
22 1 0 0 ← -----┘
23     transparency
24 0.00 ← -----┘
25     }}geometry Box{ size
26 22.00 22.00 22.00 ← -----┘
27     }}}

```

O código VRML dos Quadros 7 e 8 são escritos pelo programa RA-Educacional conforme procedimento descrito no Quadro 9. O código descrito nesse Quadro está na linguagem Pascal e sua execução tem a finalidade de estruturar o código VRML. Dito de outra forma, utiliza-se um código para elaborar outro.

Ainda com o Quadro 9, sua 1ª linha carrega o 10º arquivo virtual (fig10.wrl), o que indica que até o momento já foram modelados 9 objetos. A 2ª linha inicia uma estrutura de repetição para alteração das linhas 21 a 27 do código VRML. As linhas 4 e 5 (21 do código VRML) descrevem parte da estrutura do objeto cubo sólido. As linhas 6 a 11 (22 do código VRML) se referem à cor do objeto.

Como se observa, é uma estrutura condicional *if* (se), que definirá a cor escolhida pelo usuário. As linhas 12 e 14 apontam para a transparência e tamanho do objeto, respectivamente. A linha 13 (24 do código VRML) recebe o valor da transparência através do campo `comboTransparencia`. A linha 15 (26 do código VRML) recebe as medidas da figura espacial. A linha 18 termina o arquivo VRML e a 20 inicia uma estrutura para limpar todas as demais linhas, caso exista algum conteúdo nelas. Esse procedimento é para evitar erros nas figuras espaciais que serão modeladas no futuro, já que parte da estrutura das figuras é sempre aproveitada em outras modelagens.

### Quadro 9 – Modelagem de um cubo virtual pelo RA-Educacional

```

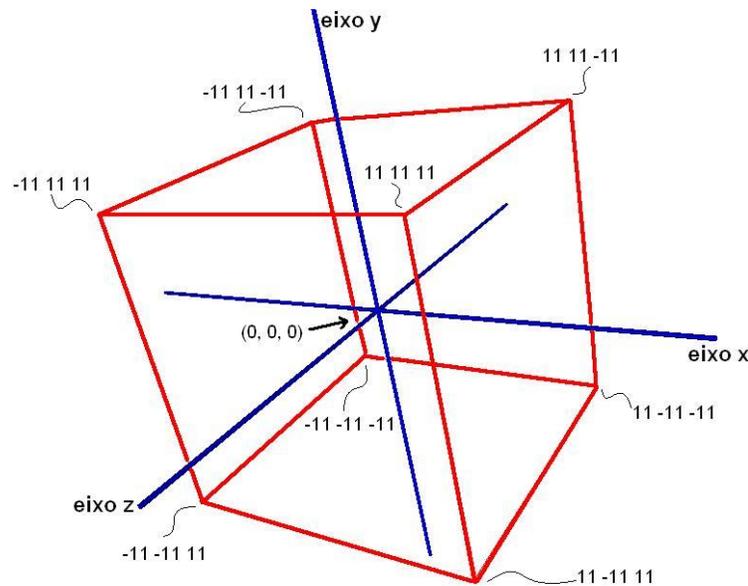
1 arquivo.LoadFromFile('C:\RA-Educacional\ra\Wrl\geometria\fig10.wrl');
2 for i := 0 to arquivo.Count - 1 do
3 begin
4   arquivo[21] := 'DEF box Collision {children [Transform {rotation 0 0 1 0}' + #10#13 +
5     'Shape {appearance Appearance {material DEF cor Material {diffuseColor';
6     if rdb_azul.Checked then arquivo[22] := '0 0 1'
7   else if rdb_vermelho.Checked then arquivo[22] := '1 0 0'
8   else if rdb_verde.Checked then arquivo[22] := '0 1 0'
9   else if rdb_preto.Checked then arquivo[22] := '0 0 0'
10  else if rdb_branco.Checked then arquivo[22] := '1 1 1'
11  else arquivo[22] := aux_R + ' ' + aux_G + ' ' + aux_B;
12  arquivo[23] := '  transparency';
13  arquivo[24] := '    comboTransparencia.Text; //transparencia
14  arquivo[25] := '    }geometry Box{size';
15  arquivo[26] := edt_aresta1.Text + '.' + edt_aresta2.Text + ' ' +
16    edt_aresta1.Text + '.' + edt_aresta2.Text + ' ' +
17    edt_aresta1.Text + '.' + edt_aresta2.Text + ' ' ;
18  arquivo[27] := '}}}}';
19end;
20 for i:=28 to arquivo.Count - 1 do arquivo[i] := ' ';
...

```

A modelagem dos demais tipos de figuras espaciais sólidas é semelhante ao descrito no Quadro 9. Pequenas variações são observadas quanto à estrutura de cada tipo de figura. Por exemplo, o cone e o cilindro possuem mais medidas (altura e base) que o cubo (aresta) e a esfera (raio), assim como o paralelepípedo reto possui mais medidas que todos (largura, altura e profundidade).

De maneira geral, os diferentes tipos de figuras aramadas apresentam uma estrutura de código VRML similar, principalmente no que se refere ao tipo de nó denominado *Coordinate*. Com esse nó é possível aplicar

uma propriedade geométrica onde a linguagem VRML define as posições que os pontos do objeto ocuparão no espaço 3D. Por exemplo, se o mesmo cubo do Quadro 8 for transformado para aramado, ganhará algumas linhas extras de código. No caso do cubo, essas linhas definirão os oito pontos necessários para demarcar o objeto no espaço (Figura 35).



**Figura 35. Cubo aramado de 22 de aresta com as oito coordenadas do espaço**

No caso do cubo sólido, para definir suas dimensões bastou atribuir “size 22 22 22” (Quadro 8). Já para transformá-lo em aramado, seria necessário trocar o tamanho (*size*) por uma sequência de coordenadas (Quadro 10).

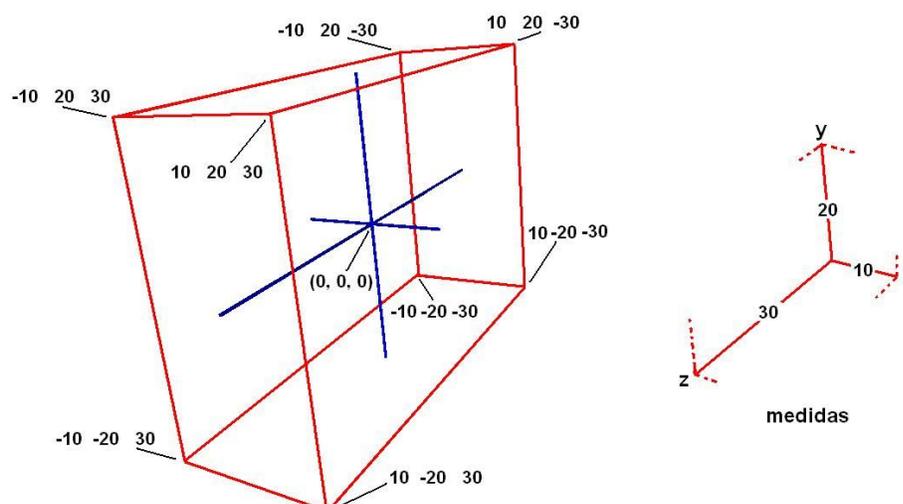
**Quadro 10 – Código das coordenadas de um cubo aramado de 22 de aresta**

```
coord Coordinate {point [-11 11 -11 -11 11 11
                        11 11 11 11 11 -11
                        -11 -11 -11 -11 -11 11
                        11 -11 11 11 -11 -11 ]}
```

Associando as coordenadas do Quadro 10 com o cenário virtual da Figura 35, e sabendo que se tratam do mesmo objeto, é possível

observar que o cubo se forma mediante os pontos definidos pelo nó *coord* *Coordinate*. O nó apresenta uma estrutura de oito coordenadas, onde cada uma recebe três valores (eixos X, Y e Z). Como o cubo é uma figura simétrica e sempre as figuras são modeladas inicialmente no centro do espaço tridimensional (0, 0, 0), os valores das coordenadas serão sempre os mesmos, com a diferença que ora serão positivos, ora negativos. Dessa maneira, para criar os valores do nó *Coordinate*, bastou dividir a entrada definida pelo usuário (aresta) por 2 ou -2, dependendo se as posições estão abaixo ou não dos zeros de cada eixo.

O procedimento para modelar um paralelepípedo aramado (Figura 36) é praticamente o mesmo do cubo, com a única diferença que o primeiro apresenta três dimensões que podem ou não ser iguais, o que não ocorre com os cubos, onde as oito dimensões (arestas) são sempre iguais.



**Figura 36. Paralelepípedo aramado com as oito coordenadas do espaço**

No caso do paralelepípedo aramado, não há necessidade de realizar cálculos com as entradas (largura, altura e profundidade). O procedimento é ainda mais simples, onde basta configurar o nó *Coordinate* do código VRML sempre com a mesma sequência, alterando apenas o sinal, conforme o caso. O Quadro 11 descreve a combinação de pontos que o nó *Coordinate* deverá receber.

**Quadro 11 – Nó *Coordinate* de um paralelepípedo aramado de lados  
10x20x30**

<code>coord Coordinate {point[</code>	<code>-10.00 20.00 -30.00</code>	<code>-10.00 20.00 30.00</code>
	<code>10.00 20.00 30.00</code>	<code>10.00 20.00 -30.00</code>
	<code>-10.00 -20.00 -30.00</code>	<code>-10.00 -20.00 30.00</code>
	<code>10.00 -20.00 30.00</code>	<code>10.00 -20.00 -30.00 ]}}}</code>

Uma comparação entre os nós do cubo e do paralelepípedo (Quadros 10 e 11) permite perceber que a sequência dos sinais de seus valores são idênticas. Por exemplo, os sinais da primeira linha de ambos os códigos são: negativo, positivo, negativo, negativo, positivo e positivo. O mesmo ocorre com as demais linhas do código. Com isso, conclui-se que, para modelar cubos aramados e paralelepípedos retos aramados, basta seguir uma sequência pré-definida de sinais, a qual nunca muda. Com um olhar ainda mais atento, ficará claro que a ordem de execução das coordenadas é primeiramente na porção superior das figuras e no sentido anti-horário, ocorrendo o mesmo com a porção inferior.

#### **4.2.2.4 CONEXÕES REMOTAS COM O RA-EDUCACIONAL**

Um dos recursos mais interessante da ferramenta é o compartilhamento de objetos. Para a implementação das conexões foi utilizado o componente `idCMP` da ferramenta Delphi. Os recursos oferecidos por este componente permitem contato com o usuário remoto mediante o conceito de “*ping*”, o qual se constitui num comando que usa protocolo específico para testar a conectividade entre equipamentos de uma rede. O Quadro 12 descreve esse procedimento, o qual se mostra bastante simples. Inicialmente, são criadas duas variáveis, *Host* e *Estacao* (linhas 3 e 4). A variável *Host*, mediante o componente `idCMP`, recebe o nome do computador remoto para ser testado na rede (linha 7). Em seguida, através da função *Ping*, o mesmo componente testa a conectividade com o computador remoto (linha 8). Por fim, a variável *Estacao* recebe o nome do computador remoto para que seja utilizado nas execuções seguintes do RA-Educacional. O trecho de código mostrado no Quadro 12 representa uma pequena parte de toda a *procedure* `BtnConectar`.

**Quadro 12 – Implementação do componente idCMP para testes de conectividade remota**

```
1  procedure TForm4.BtnConectarClick(Sender: TObject);  
2  
3  var Host: string;  
4      Estacao: string;  
5  
6  begin  
7      idCMP.Host:=EdtNomeComputador.Text;  
8      idCMP.Ping();  
9      Estacao:=EdtNomeComputador.Text;  
    .  
    .  
    end;
```

## 5 TESTES DE FUNCIONALIDADE E AVALIAÇÃO

### 5.1 TESTES DE FUNCIONALIDADE

A fim de analisar todas as etapas de execução do programa RA-Educacional, o teste seguiu cada passo de sua estrutura descrita na Figura 23. As aplicações de Física são extremamente simples e de fácil execução, bastando, para isso, a impressão do marcador (Apêndice 1). Quanto à Geometria Espacial, as aplicações são mais complexas porque envolvem três interfaces bem distintas: a modelagem das figuras espaciais, a interface que organiza os objetos já criados e armazenados e a interface de acesso remoto. A seguir, será analisada cada uma das funcionalidades.

#### 5.1.1 FUNCIONALIDADE DAS APLICAÇÕES DE FÍSICA

Tanto o lançamento, quanto a queda livre de corpos, estão centralizados numa única interface, a qual possui três campos para entrada de dados (Figura 37).

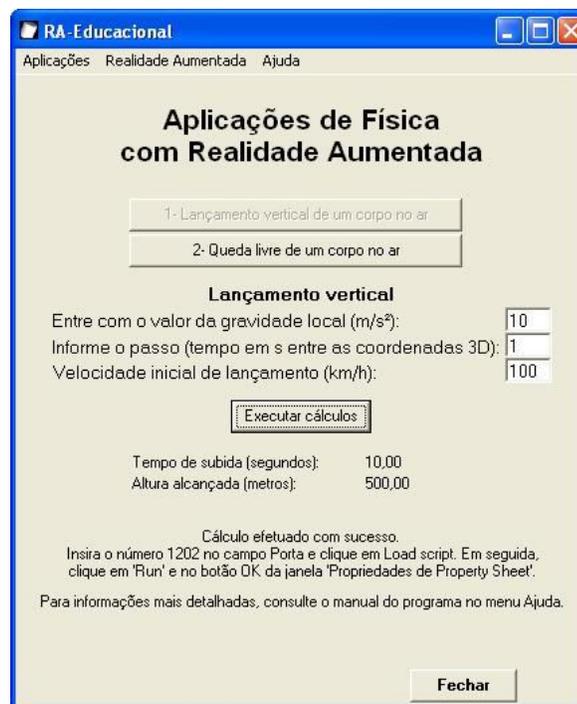


Figura 37. Interface da aplicação de Física

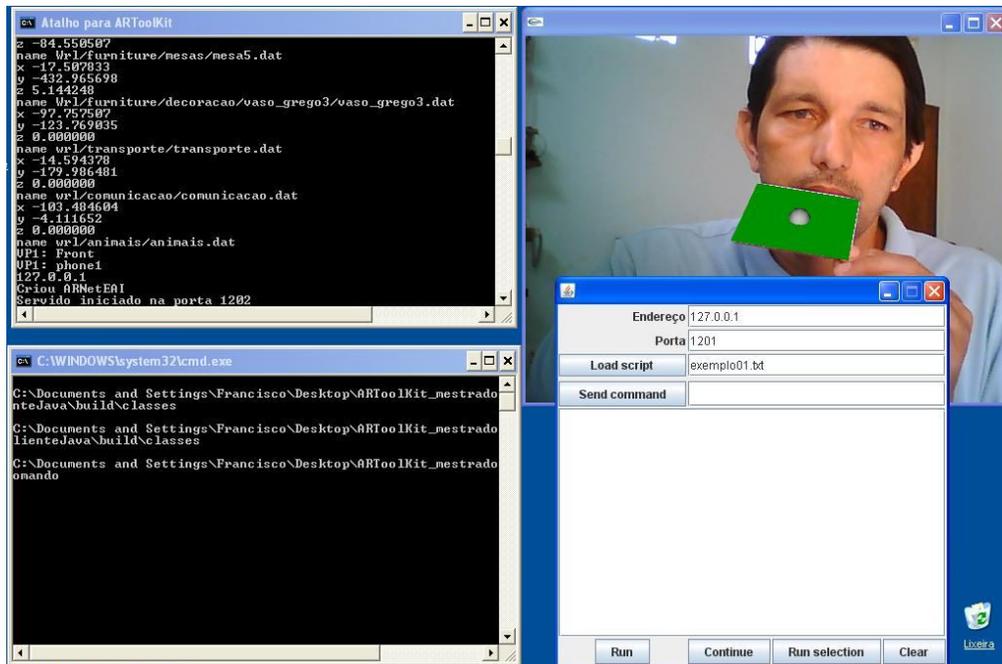
Num primeiro momento o programa só aceitava a vírgula como ponto flutuante, e durante as primeiras fases de teste ocorreram diversas entradas incorretas. Com o tempo, esse problema foi corrigido com uma sequência de tratamento de erros, inclusive para outros caracteres não aceitos em operações matemáticas. Tal procedimento facilitou em muito as entradas indevidas e, quando isso ocorre agora, em vez de causar erro no sistema, o usuário recebe uma mensagem que orienta mais que a anterior, conforme Figura 38.



**Figura 38. Erro causado antes (a) e depois (b) do tratamento de erros**

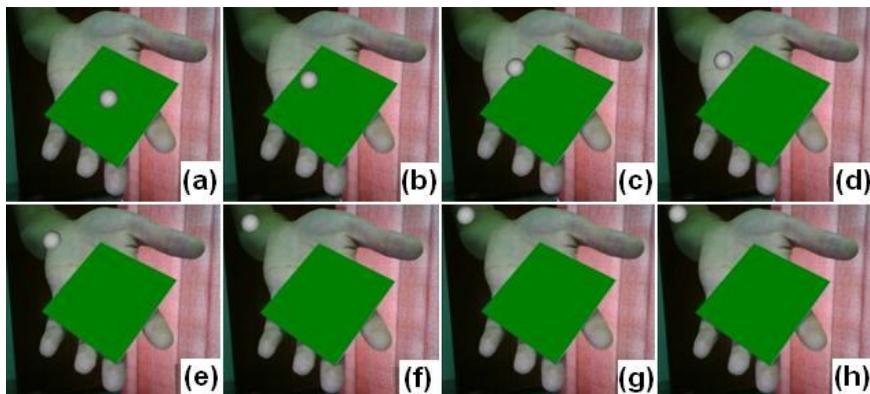
Preenchidos os campos, basta clicar no botão “Executar cálculos” para que os aplicativos ARToolKit e comando abram automaticamente; comando.exe é um dos arquivos executáveis do programa NetARToolKit (OLIVEIRA, 2006).

Conforme Figura 39, a execução da aplicação abre quatro janelas, o que pode confundir o usuário. Como forma de facilitar, é recomendável que as duas janelas DOS sejam minimizadas, uma vez que não serão utilizadas em nenhum momento. As aplicações DOS não podem ser fechadas enquanto se desejar visualizar o ambiente de RA através do ARToolKit.



**Figura 39. Execução das aplicações de Física do RA-Educacional**

Na última janela que se abre, o usuário deverá inserir o número 1202 no campo *Porta*, clicar nos botões *Load script* e *Run* e levar o marcador apropriado na direção da *webcam*. O resultado do experimento é a simulação de uma pequena esfera lançada verticalmente para cima (Figura 40). Assim como numa prática real, a esfera, que pode ser equiparada a uma bola de ping-pong, realiza movimentos contínuos de sobe e desce até que perde força e repousa no solo; para a aplicação, solo equivale ao marcador.



**Figura 40. Lançamento vertical de uma esfera virtual; NetARToolKit (OLIVEIRA, 2006); SACRA (SANTIN, 2008); OLIVEIRA (2008)**

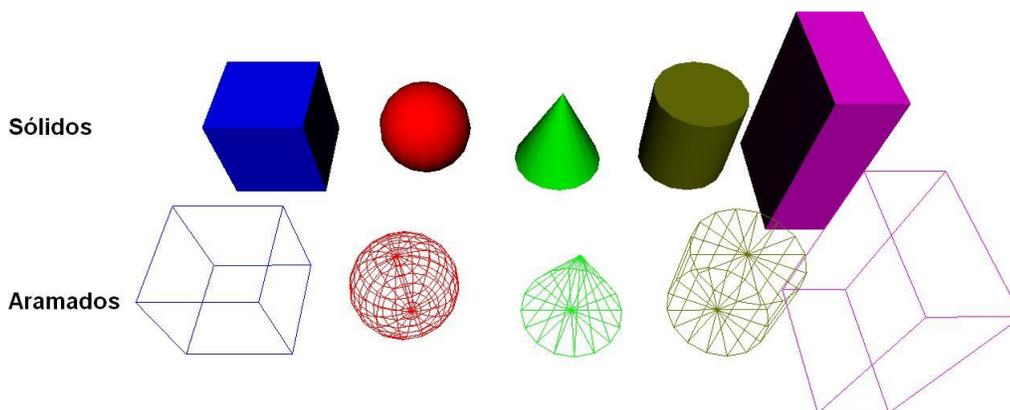
O experimento da Figura 40 é iniciado com o lançamento da esfera (b); a primeira posição (a) configura seu estado de repouso. Uma vez lançada, a esfera começa a subir e atinge seu ponto mais alto em (h). A partir desse ponto, a Figura 40 não ilustra os movimentos, uma vez que são muitos, porém o sobe e desce é constante até que a esfera ganha o repouso novamente.

### 5.1.2 FUNCIONALIDADE DAS APLICAÇÕES DE GEOMETRIA ESPACIAL

As aplicações de Geometria Espacial envolvem três interfaces independentes: Modelagem das figuras espaciais, Repositório de figuras 3D e Compartilhamento remoto dos objetos. O detalhamento de cada uma vem a seguir.

#### 5.1.3 INTERFACE DE MODELAGEM DE FIGURAS 3D

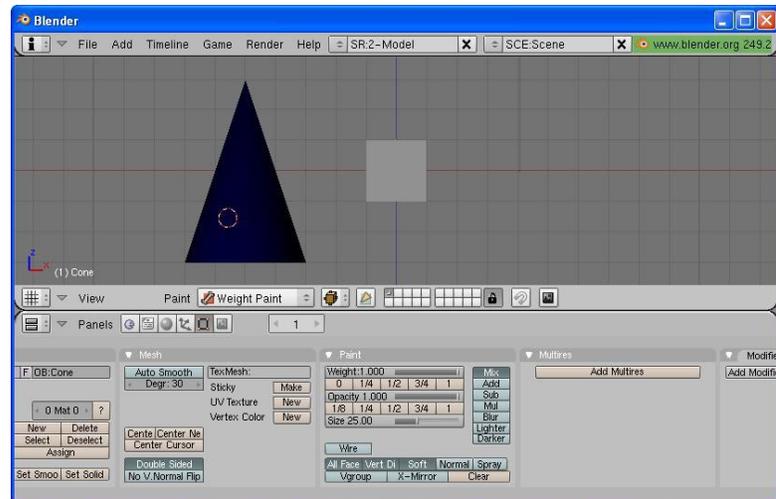
A modelagem de figuras espaciais envolve cinco tipos de objetos e, para cada um, a possibilidade de modelar sólido ou aramado. A Figura 41 ilustra os dez modelos de figuras.



**Figura 41. Os dez modelos de figuras espaciais do RA-Educacional**

Existem diversos softwares de modelagem de figuras espaciais, inclusive gratuitos, como o Blender 3D (2008) e o Vivaty Studio (2008). São programas que não requerem conhecimentos avançados de programação, porém possuem a desvantagem na medida em que exigem certo domínio sobre a ferramenta, ainda que, geralmente, possuam interfaces

gráficas. Outra desvantagem é que esses programas também exigem conhecimentos sobre modelagens, noções de espaço, sistema de eixos etc, o que dificulta em muito para usuários que não dominam esses conhecimentos. O Blender (Figura 42) é um típico exemplo no qual, embora se trate de uma ferramenta poderosa na modelagem de formas virtuais, é necessário que o usuário tenha certo domínio sobre a ferramenta.



**Figura 42. Interface gráfica da ferramenta Blender 3D**

O sistema proposto, ainda que modesto quando comparado com outros, procura estender a professores e alunos a possibilidade de construção de formas geométricas simples sem que estes dominem esta ou aquela ferramenta, uma vez que o RA-Educacional não exige conhecimento extra para sua execução.

Quanto às configurações das figuras, o sistema permite três entradas de dados: medidas (dimensões), transparência e cor. As medidas suportam valores de 0,01 a 99 para o campo das frações e de 1 a 999 para o campo dos inteiros.

O campo transparência já vem com os valores pré definidos, bastando optar por um deles, os quais variam de 0.00 a 1. Transparência 0.00 indica que o objeto será modelado sem grau de transparência, de forma que a luz não passará por ele, tornando-o 100% visível. À medida que esse valor

aumenta, os objetos se tornam menos opacos, isto é, cada vez mais invisíveis, até o ponto de total invisibilidade (transparência 1); exemplos de transparências são ilustrados na Figura 15 do Apêndice 1 (manual do programa).

A cor das figuras é configurada de duas formas. Uma, mais simples, mostra cinco cores predefinidas, as quais são escolhidas diretamente através de um clique. São elas: azul, vermelho, verde, preta e branca. A segunda opção é através de um arquivo HTML que ilustra 456 variações de cores no padrão RGB. O padrão HTML foi escolhido porque, necessariamente, o usuário deverá possuir em seu sistema um navegador (browser), de maneira que sempre terá acesso às cores. Para acessar o arquivo, basta clicar no botão correspondente. De posse das variações, basta copiar uma delas para o campo de canal RGB.

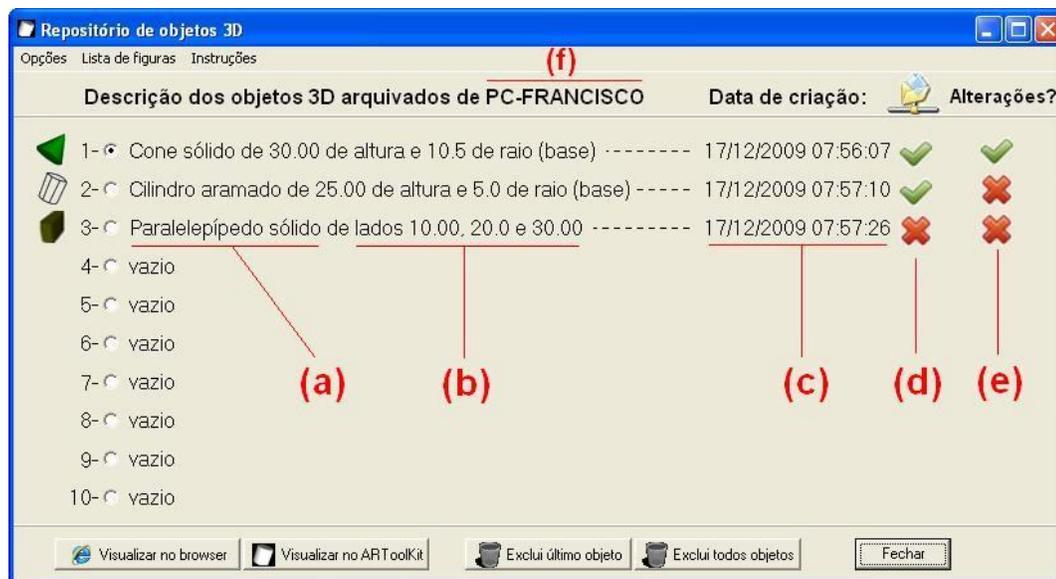
Uma vez escolhido o tipo de figura e sua configuração, o processo continua com sua modelagem. Como são duas modalidades, o sistema dispõe de dois botões: 'Modelar sólido' e 'Modelar aramado'. Feito isso, o objeto é criado e armazenado em arquivo WRL, o qual pode ser visualizado de duas maneiras. Uma é imediatamente após sua modelagem, isto é, na própria interface de Geometria Espacial. A segunda é mediante a interface Repositório, onde são armazenadas todas as demais figuras. As visualizações ocorrem de duas formas: através do I.E. ou ARToolKit.

#### **5.1.4 INTERFACE REPOSITÓRIO DE FIGURAS 3D**

Essa interface (Figura 43) possui três funções. A primeira é armazenar todo objeto modelado. Outra é permitir a visualização dos objetos em qualquer momento, independente da data de sua construção. E a última é a exclusão dos objetos.

Conforme a Figura 43, a descrição de cada objeto envolve o seu nome e se é sólido ou aramado (a), suas dimensões (b), sua data de modelagem (c), se está ou não compartilhado na rede (d) e se ele tem permissão para alterações por outros usuários (e). A interface também informa a fonte do lote de figuras através do nome do computador remoto (f). No

exemplo, são mostradas as três situações possíveis quanto ao compartilhamento.



**Figura 43. Descrição de três objetos armazenados na interface Repositório**

O cone sólido (objeto 1), além de estar compartilhado na rede, também pode ser alterado por outros usuários. O cilindro aramado (objeto 2) está compartilhado, mas não tem permissão para alterações. Quanto ao paralelepípedo sólido (objeto 3), como não está compartilhado na rede, obviamente não possui permissão para alterações. A visão da interface da Figura 43 é do usuário que criou as figuras. No próximo capítulo será mostrada a visão do usuário remoto, isto é, aquele que busca a visualização e/ou compartilhamento de objetos através da rede local.

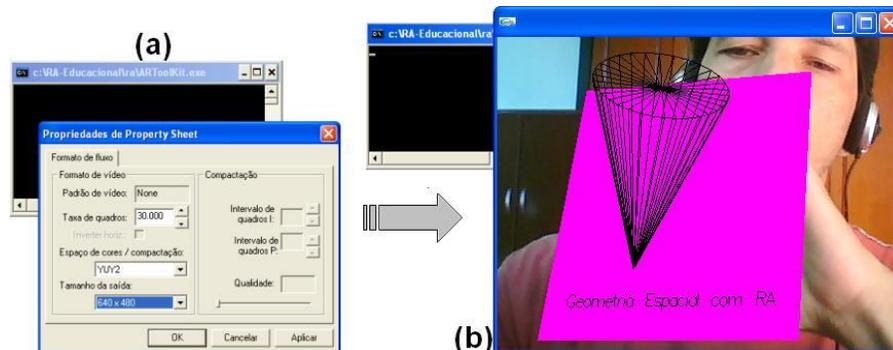
Outra função do Repositório é a visualização das figuras espaciais. Uma das modalidades é através do I.E. e, para isso, é preciso que ele possua instalado um *plugin* para VRML. Caso o sistema do usuário não possua esse programa, o menu Realidade Aumentada da interface principal do RA-Educacional informa como proceder com sua instalação, inclusive com links para esse fim. E como o usuário saberá se existe ou não o programa instalado em seu computador? Existem duas formas. Uma é imediata e ocorre quando o

usuário tenta visualizar objetos sem que seu sistema possua o *plugin*. Nesse caso, em vez do sistema retornar a imagem do objeto, também porque não há como fazê-lo, irá informá-lo da falta do programa. Com essa informação, o usuário terá meios para sanar o problema, lembrando que o *plugin* sugerido pelo sistema RA-Educacional é gratuito e encontrado facilmente na internet. A segunda forma de saber quanto a existência do *plugin* é clicando no menu Realidade Aumentada → Sobre o *plugin* → Meu sistema possui um *plugin*? Se possuir, o I.E. será aberto com um cenário contendo cinco figuras espaciais e com a frase “Este computador possui um *plugin* instalado”. Caso contrário, o I.E. será aberto com um texto informando dessa situação. Esses dois exemplos são ilustradas no Apêndice 1; o manual do programa também está disponível através de *link* no menu Ajuda.

A outra maneira de visualizar objetos é mediante o ARToolKit, cujo botão de acesso encontra-se ao lado do botão I.E.. Ao ser pressionado, abrem-se, inicialmente, duas janelas. Uma corresponde a uma aplicação DOS e a outra leva o nome de Propriedades de *Property Sheet*. Esta traz os parâmetros de configuração da câmara (*webcam*), sendo eles a taxa de quadros, o espaço de cores e o tamanho da saída do vídeo. A maioria dos computadores, mesmo os que possuem alguns anos de uso, permitirá a taxa máxima de quadros, cujo valor é de trinta por segundo. Uma taxa dessas indica que a cada segundo o sistema tem condições de suportar até trinta renderizações. O espaço de cores lista os padrões aceitáveis pelo ARToolKit, como RGB, YUY2, CMYK, dentre outros. A saída do vídeo define com qual tamanho a tela da *webcam* deverá operar. Esse valor é dependente da resolução da placa de vídeo do computador. Atualmente, a maioria dos equipamentos suportam resoluções de 640x480 pixels, tamanho mais que suficiente para as aplicações com o RA-Educacional.

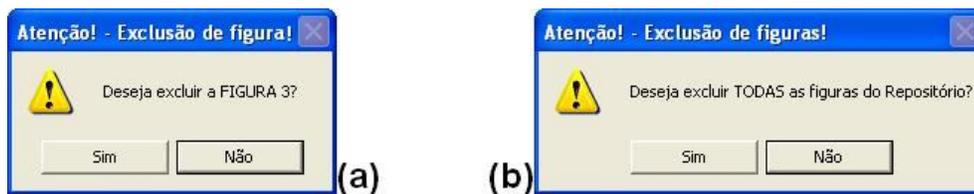
O aplicativo *Property Sheet* pertence ao ARToolKit e em raras situações deve ser alterado. Portanto, para os três parâmetros citados, o próprio sistema detectará o hardware e se encarregará de fornecer as melhores opções de configuração; esta não deve ser uma preocupação do usuário. Assim sendo, basta aceitar as configurações para que o sistema

disponibilize uma terceira janela, a da *webcam* já com a captura da imagem. As três janelas são mostradas na Figura 44.



**Figura 44. Configuração da webcam (a) e execução do ARToolKit (b)**

A terceira, e última função dessa interface é a exclusão de objetos. O sistema permite excluir somente a última figura modelada ou todas de uma só vez. De uma forma, ou de outra, o usuário sempre será alertado antes de confirmar as exclusões. Uma vez excluído um ou todos, não há como retroceder. Por esse motivo, o sistema dispõe de confirmações para tais procedimentos (Figura 45).



**Figura 45. Exclusão da última (a) ou todas (b) figuras do Repositório**

### 5.1.5 INTERFACE COMPARTILHAMENTO REMOTO DE ARQUIVOS 3D

São quatro as funções desta interface. Duas delas correspondem às visualizações dos objetos pelo I.E. ou ARToolKit, as quais já foram abordadas em capítulos anteriores. A diferença é que aqui os objetos são remotos, mas os procedimentos de visualização são os mesmos. Para que um usuário possa ser encontrado na rede, faz-se necessário a conexão com o mesmo, que é realizado através da função Mapear rede. A quarta, e última função, é a possibilidade de alterar as características de um objeto remoto,

desde que ele esteja disponível para tal fim. As quatro funções são disponibilizadas mediante botões localizados na parte inferior da interface

Quando solicitada, a função Mapear rede disponibiliza uma pequena janela, cujo objetivo é procurar grupos de trabalho e seus respectivos usuários (Figura 46). A ação de procurar grupos normalmente é rápida, levando frações de segundo, embora possa demorar algum tempo, a depender das condições de tráfego da rede. Nos experimentos com o acesso remoto, esse tempo nunca excedeu trinta segundos e, quando isso ocorreu, o usuário foi alertado com uma mensagem diagnosticando o tipo de problema.

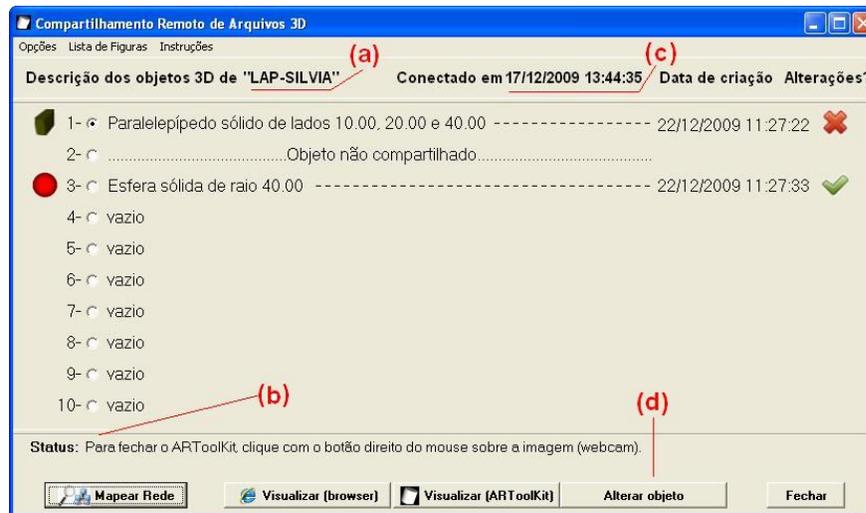


**Figura 46. Mapeamento da rede em busca de usuários conectados**

A Figura 46 mostra as três etapas para acessar os objetos de outro usuário. Da esquerda para a direita, o primeiro passo é procurar os grupos, seguido da escolha de um que se encontre na lista. Depois é só clicar uma única vez em algum usuário da lista. Esse procedimento transporta o nome do usuário para o campo "Nome do computador". Como último passo, basta clicar no botão Conectar. Fechando a interface de mapeamento de rede, o usuário volta na tela anterior, agora com a lista de objetos preenchida.

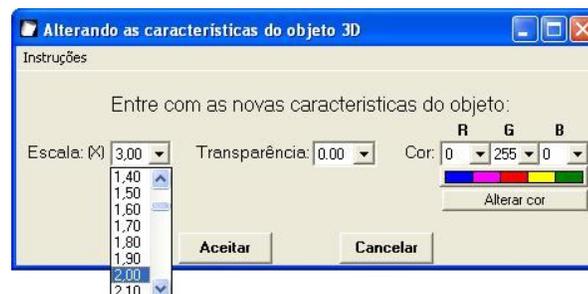
A interface de Compartilhamento remoto (Figura 47) é similar ao Repositório, com algumas diferenças. Não existe a coluna de permissão para compartilhamento, uma vez que tal recurso somente cabe ao autor do objeto. Possui o botão Alterar objeto (d). Informa o nome do proprietário (a) das

figuras remotas. Disponibiliza uma área para informações úteis durante a execução do programa (b). Inclui a data e hora da conexão (c); essa data é diferente daquela da criação dos objetos.



**Figura 47. Acesso remoto com dois objetos compartilhados**

E como última função, o compartilhamento remoto permite modificações nos objetos que possuem essa permissão. Se o usuário tentar alterar alguma figura não permitida, por exemplo, o objeto 1 da Figura 47, receberá um alerta sobre essa impossibilidade. Caso se trate de um objeto com permissão para alterações, o programa retorna uma tela para o procedimento das modificações das características iniciais do objeto (Figura 48). São três os parâmetros de configuração: escala, transparência e cor. Para que as alterações surtam efeito, basta preencher os campos e aceitar com o botão correspondente, ou, se o usuário mudar de idéia, cancelar a operação.



**Figura 48. Interface de alteração das características do objeto remoto**

Durante as fases de testes foi induzido ao programa a ação de alterar objetos sob duas condições. Uma quando o usuário remoto se desconectava da rede e outra quando ele excluía o objeto após a conexão por parte de quem desejava alterar. Para as duas situações, presume-se que o usuário requisitante chegava até a fase da Figura 48, uma vez que isso somente é possível quando o usuário requisitado é encontrado na rede. Para a primeira situação (desconexão), o sistema operacional informava ao requisitante que o caminho especificado não se encontrava mais disponível, mensagem mostrada na Figura 49. No segundo (exclusão), nada ocorria em termos de mensagens, porém o objeto continuava sem alterações, enquanto o usuário requisitante seguia acreditando no contrário.



**Figura 49. Mensagem de caminho não encontrado fornecida pelo sistema operacional**

A questão da desconexão foi melhorada com a inserção de outra mensagem mais convincente que a anterior, já que aquela pouco ou nada informava. Para evitar a mensagem de erro do sistema operacional, foi introduzido no botão Aceitar (Figura 48) um recurso para verificar se a conexão entre os usuários ainda existe. Conforme código (Quadro 13), “Estacao” é a variável que recebe o nome do computador remoto, enquanto que a terceira linha testa se o arquivo remoto.txt existe; ele sempre existirá se o computador remoto estiver conectado. Se o usuário requisitado estiver conectado, o bloco seguinte não é executado, do contrário, a mensagem é disponibilizada para o usuário requisitante antes que o sistema operacional acuse erro.

### Quadro 13 – Implementação da mensagem de falha de conexão mediada por teste de conectividade

```

Estacao:=Form3.EdtNomeComputador.Text;
//PARA SABER SE O USUÁRIO REMOTO ESTÁ CONECTADO
if not (FileExists('\'+Estacao+'\compartilha\remoto.txt')) then
begin
  MessageBox(Application.Handle, PChar('Ocorreu um desses 3 problemas:' + #10#13+
' ' + #10#13+
' 1-Você não tem permissão para acessar o usuário remoto;' + #10#13+
' 2-O usuário não possui o RÁ-Educacional instalado em seu sistema;' + #10#13+
' 3-O usuário foi desconectado da rede recentemente.'), 'Problema com a conexão!',
  MB_ICONINFORMATION + MB_OK);
end;

```

## 5.2 AVALIAÇÃO

O software foi avaliado por dois grupos de usuários, sendo eles alunos e professores. Os alunos foram avaliados no Colégio Portal do Engenho de Piracicaba, localizado em Piracicaba-SP na Avenida Américo Brasiliense, 195, bairro Vila Rezende. A avaliação dos professores ocorreu na Escola Estadual de 1º e 2º Graus Monsenhor Jeronymo Gallo, situada na Avenida Valença, 518, bairro Vila Rezende, Piracicaba-SP.

As avaliações foram realizadas mediante a metodologia de Rensis Likert, conhecida por escala Likert de cinco pontos, ou, como preferem alguns autores, escala de cinco níveis, uma das mais empregadas em pesquisas para o mesmo tipo de produto a que se dispõe o projeto.

### 5.2.1 ABORDAGEM DA FERRAMENTA PELOS ALUNOS

O protótipo foi avaliado pelos alunos mediante duas etapas. A primeira representa a utilização do software. A segunda, que ocorre imediatamente após a outra, envolve um questionário onde o usuário responde doze questões, entre perguntas e afirmativas. As nove primeiras perguntas estão relacionadas com a usabilidade do programa e sua relação com processos de ensino e aprendizagem; essas questões serão analisadas quantitativamente pela metodologia de Likert. As três últimas perguntas são mais objetivas e apresentam como possíveis respostas um 'sim' ou 'não', e estão relacionadas com fatores estatísticos. O Quadro 14 mostra o questionário apresentado aos alunos.

**Quadro 14. Questionário de avaliação da ferramenta (aluno)**

**Avaliação do software RA-Educacional – jan/2010**  
**Curso avaliado: 8ª série do ensino fundamental do Colégio**  
**Portal do Engenho de Piracicaba**

**Para responder as perguntas, considere o seguinte critério:**

	A	B	C
1 →	Discordo totalmente	Péssimo	Muito difícil
2 →	Discordo parcialmente	Ruim	Difícil
3 →	Indiferente	Regular	Regular
4 →	Concordo parcialmente	Bom	Fácil
5 →	Concordo totalmente	Ótimo	Muito fácil

↑  
 Leia com **ATENÇÃO** cada pergunta. Em seguida, com o **NÚMERO** adequado, preencha a área circular com o que melhor justifica sua resposta. As letras A, B e C são para facilitar a busca da resposta no quadro acima.

- I) A instalação do programa é um procedimento ... (C)
- II) Para você, imprimir um documento é uma tarefa ... (C)
- III) Modelar figuras espaciais representou uma tarefa simples. (A)
- IV) Os marcadores (placas) foram manuseados sem grandes dificuldades. (A)
- V) O áudio ajudou na identificação da figura 3D. (A)
- VI) O programa auxilia no aprendizado de sólidos geométricos. (A)
- VII) O programa deve auxiliar no aprendizado de outras disciplinas. (A)
- VIII) De maneira geral, como você avalia o programa? (B)
- IX) Independente do programa que está sendo avaliado, softwares similares auxiliam no processo de ensino/aprendizagem. (A)

Para as três perguntas finais responda com 'S' para sim ou 'N' para não.

- X) Antes de conhecer o programa, você sabia o que era Realidade Virtual?
- XI) E Realidade Aumentada, você sabia o que era?
- XII) Você gostaria de utilizar o programa na escola ou em casa?

Para comentários, críticas ou avaliações adicionais sobre o programa, utilize o verso desta folha.

Se desejar obter o programa, acesse [www.franciscocesar.com/RA-Educacional.zip](http://www.franciscocesar.com/RA-Educacional.zip).

*Obrigado por responder o questionário.*

O método de Likert permite cinco níveis de avaliação para cada questão. Por exemplo, dependendo da pergunta (ou afirmativa), o nível cinco pode ter como resposta um 'concordo totalmente', 'ótimo' ou 'muito fácil'. O mesmo ocorre com os demais níveis, conforme Quadro 14. A resposta para cada questão é preenchida mediante números que variam de 1 a 5. Para evitar que o usuário confundisse a resposta (número) com a numeração das perguntas, estas foram numeradas de I a XII, isto é, com a utilização de algarismos romanos. Para facilitar a busca da resposta correta segundo o parecer do usuário, cada questão apresenta uma letra maiúscula junto com a área circular para o preenchimento das respostas. Por exemplo, a questão I apresenta o seguinte conteúdo: A instalação do programa é um procedimento... (C) . Consultando a coluna C da tabela inserida no questionário, o usuário perceberá mais rapidamente que deverá responder com 'muito difícil', 'difícil', 'regular', 'fácil' ou 'muito fácil'. Encontrada sua resposta, basta olhar mais a esquerda e verificar qual o número correspondente. Assim, se o aluno julgar que a instalação do programa é um procedimento fácil, por exemplo, deverá inserir na área circular o número 4 (Quadro 14).

A avaliação do programa foi realizada por duas turmas: 8ª série do ensino fundamental e 1ª série do ensino médio, as quais foram denominadas de turma 1 e turma 2, respectivamente. Cada turma passa por dois intervalos (recreio) durante as aulas e nenhum deles coincidem entre si. Tal fato possibilitou a avaliação da ferramenta num único dia em quatro momentos sucessivos.

A escolha dos alunos participantes de cada turma foi realizada da seguinte forma. Considerando os quatro computadores disponíveis para o teste e acreditando que dez minutos seriam suficientes para modelar alguns objetos, foi determinado que cada turma seria dividida em quatro grupos, dois para serem avaliados no primeiro intervalo e os outros dois no segundo. Por sugestão da coordenadora do Colégio, ficou estabelecido que as turmas fossem divididas entre homens e mulheres e assim evitar possíveis descontentamentos por parte dos alunos. Como os intervalos possuem vinte minutos e o número de alunos para cada turma foi estipulado em dezesseis,

eles foram divididos em oito para cada intervalo. Como são quatro intervalos no total, foi possível avaliar a ferramenta através de 32 alunos, sendo 16 de cada turma. Os intervalos ocorreram entre 07H50 as 08H10 e 09H50 as 10H10 para a turma 1 e 08H40 as 09H00 e 10H45 as 11H00 para a turma 2. No total, foram 75 minutos de avaliação, sendo 35 para a turma 2 e 40 para a turma 1.

O problema maior ficou por conta da escolha dos candidatos, já que a maioria demonstrou interesse em participar da avaliação. Como cada turma possui em média quarenta alunos e somente dezesseis seriam chamados, optou-se por escolher aleatoriamente oito mulheres e oito homens de cada uma. A escolha foi realizada pela coordenadora e pelo autor da avaliação de forma equitativa. O Quadro 15 relaciona a quantidade de alunos e o tempo das avaliações para cada grupo.

**Quadro 15. Quantidade de alunos e o tempo das avaliações para cada grupo e intervalo (recreio)**

	Intervalo 1	Intervalo 2	Tempo	Alunos
Turma 1	4A + 4A 20 min	4A + 4A 20 min	40	16
Turma 2	4A + 4A 20 min	4A + 4A 15 min	35	16
*A: alunos	Totais		75	32

A formação dos quatro grupos, dois de cada turma, foi realizada minutos antes dos dois primeiros intervalos, onde o primeiro corresponde ao recreio da turma 1 e o segundo ao recreio da turma 2. Definido os participantes de cada grupo, os alunos foram orientados a se apresentar no laboratório de informática de acordo ao seu horário e grupo.

O tempo de pesquisa estimado de dez minutos para avaliação do aluno foi considerado satisfatório levando em conta a simplicidade das aplicações do programa. Os cinco minutos faltantes para o segundo intervalo da turma 2, que é de 15 minutos, foram compensados após o seu término.

Com o propósito de reservar o tempo disponível exclusivamente para os testes, os alunos passaram por uma orientação prévia sobre os temas envolvidos na pesquisa e, conseqüentemente, sobre o potencial da ferramenta. Também foram orientados quanto aos objetivos de uma pesquisa científica e como proceder para as respostas. Por fim, os alunos entenderam que uma pesquisa desse tipo não visa avaliar o aluno, e sim a ferramenta.

Os alunos da turma 1 possuem idades entre 14 e 15 anos, e os da turma 2 entre 15 e 16 anos. Os computadores foram colocados um na frente do outro, como numa fila indiana (Figura 50).



**Figura 50. Disposição dos quatro computadores utilizados na avaliação do RA-Educacional pelos alunos**

O propósito dessa medida foi para evitar que os alunos fossem influenciados entre si, estando lateralmente próximos. Como é de se esperar, pessoas diferentes tendem a comportar-se de maneiras distintas umas das outras quando estão diante de novas tecnologias. Em se tratando de jovens adolescentes, foi pensando que teriam ainda mais motivos para que um

tentasse ajudar ou influenciar o trabalho do outro. Além da separação física dos alunos, eles também foram orientados no início de cada bateria de testes a realizarem o experimento de forma totalmente isolada, o que foi cumprido na medida do possível. Alguns alunos que tentaram desobedecer a essas regras, foram imediatamente alertados quanto a importância de se realizar o teste de forma isolada.

Cada um dos quatro grupos que participaram da avaliação recebeu nove orientações imediatamente antes de iniciar os testes com o programa. Elas foram proferidas em voz alta, cujo conteúdo de cada uma é descrito no Quadro 16.

**Quadro 16. Lista das orientações que foram proferidas aos alunos quanto aos objetivos do questionário**

1-	Seus nomes não serão publicados ou utilizados para nenhum fim, também porque não será solicitado que preencham o nome.
2-	Suas imagens também não serão publicadas ou utilizadas para nenhum fim, a menos que sejam tomadas de tal forma que não comprometa a identidade do aluno.
3-	Se, durante quaisquer etapa da avaliação, o aluno se sentir constrangido por algum motivo, poderá deixar a sala sem dar nenhuma explicação.
4-	As respostas deverão expressar a maior sinceridade possível.
5-	Embora as perguntas sejam as mais objetivas possíveis, caso o aluno tenha dúvida, deve interromper e questionar junto ao pesquisador.
6-	O principal objetivo da pesquisa é avaliar se o programa pode representar uma ferramenta de apoio para a educação, além de verificar que melhorias poderiam incrementar o sistema.
7-	Que, diante da ótica anterior, nenhum aluno deverá sentir-se constrangido a responder positivamente a todas as perguntas ou parte delas; definitivamente esse não é o propósito dos testes.
8-	Que o teste não é para avaliar a minha condição ou competência na instituição onde estudo.
9-	O teste não é para avaliar o aluno. Por exemplo, ao não saber imprimir um documento (pergunta II), o questionário não está avaliando o aluno, e sim o próprio programa, isto é, a competência de prever que um percentual de usuário pode não saber imprimir deve ser presumida por quem desenvolve o software.

O Colégio Portal do Engenho colocou a disposição um laboratório com 22 computadores (Figura 50) para a realização dos testes e demais, no entanto, os equipamentos não possuem *webcam*. Com essa falta,

foi providenciado quatro laptops com as configurações descritas no Quadro 17. Os computadores IBM possuem como sistema operacional o Windows XP Professional SP3, enquanto que os de marca Acer, o sistema Windows XP Home Start Edition. Todos possuem o *plugin*, assim como o I.E. 8 instalados.

**Quadro 17. Computadores utilizados na avaliação do software**

Marca	Processador	Memória RAM	Placa de Vídeo	Webcam
Acer Modelo 5420-5687	Turion64 1.9Ghz	1GB	256MB	Crystal Eye embutida 1.3 Pixel
Acer Modelo 5520-5334	Athlon64 1.9Ghz	2GB	256MB	Crystal Eye embutida 1.3 Pixel
IBM ThinkPad T43	Centrino 2.0Ghz	1.5GB	512MB	Creative NX Pro 1.3 Pixel
IBM ThinkPad T40	Centrino 1.5Ghz	768MB	32MB	Bright 1.3 Pixel

### 5.2.2 FUNDAMENTO DAS QUESTÕES

O RA-Educacional não requer uma instalação propriamente dita, já que o programa vem pronto para ser utilizado. Entretanto, a versão inicial da ferramenta somente pode ser executada quando a sua pasta principal é copiada para o diretório C:\ do computador. Com o propósito de avaliar se o usuário apresentaria dificuldades para esse procedimento, foi elaborada a questão I. Para tanto, o usuário foi instruído a copiar a pasta para o diretório especificado.

A questão II analisa se o usuário apresenta dificuldades para imprimir um documento. Para a visualização dos objetos 3D através do ARToolKit é necessário a impressão de uma placa, cujo desenho se encontra no manual do programa (menu Ajuda) ou em seu diretório principal (arquivo marcador.jpg). Portanto, o aluno deverá ser capaz de imprimir um documento para ter acesso às visualizações por meio do ARToolKit e assim usufruir dos recursos da RA.

A principal funcionalidade do programa é a ação de modelar uma das cinco formas geométricas. Assim, a questão III visa analisar as dificuldades para esse fim. A modelagem de objetos envolve a escolha da figura, suas medidas, a cor e a transparência. Uma vez modelada, o processo pode ser continuado com a visualização das formas 3D.

As aplicações envolvendo o ARToolKit são altamente dependentes do marcador. Sua utilização requer basicamente dois conhecimentos prévios: a não obstrução do espaço físico existente entre a *webcam* e a placa e os problemas de excesso de iluminação. Se ocorrer obstrução total ou parcial da placa, o ARToolKit, através da *webcam*, não poderá “enxergar” o desenho de seu interior, o que ocasionaria o desaparecimento temporário do objeto virtual na tela do computador. Excesso de luz pode ocasionar o ofuscamento da placa, dificultando a operação do ARToolKit. A questão IV analisa o manuseio dos marcadores.

A questão V procura analisar se o recurso de áudio disponibilizado pelo programa é capaz de auxiliar na identificação das formas geométricas após sua modelagem. Toda vez que o usuário visualiza um objeto, seja pelo navegador ou ARToolKit, o programa emite um som, cujo conteúdo representa o nome da figura geométrica recém modelada.

A questão VI analisa se o programa é capaz de auxiliar no processo de aprendizagem de sólidos geométricos. A pergunta seguinte (VII) faz o mesmo, porém abrangendo outras disciplinas.

A avaliação da ferramenta num sentido mais amplo é medida pela questão VIII. A questão IX não tem relação direta com o software apresentado. Ela procura saber se programas similares ao RA-Educacional são capazes de auxiliar em processos de ensino/aprendizagem. Esse parâmetro pode ser útil para analisar se programas com o mesmo propósito são bem vistos na comunidade educacional.

As três últimas perguntas serão comentadas mais adiante e não serão avaliadas pela metodologia de Likert.

### 5.2.3 ABORDAGEM DA FERRAMENTA PELOS PROFESSORES

A proposta inicial de avaliação dos professores seria com voluntários da Escola Estadual Francisca Elisa da Silva, situada na cidade de Piracicaba. Entretanto, a instituição somente oferece cursos para os quatro primeiros anos do ensino fundamental, o que desmotivou tal opção. Com isso, optou-se por outra escola, a qual oferece cursos nos três períodos, além de abranger professores mais centrados com o programa, o que facilitou em muito todo o processo.

A avaliação do programa pelos professores foi realizada nos mesmos moldes que aquela feita com os alunos, salvo algumas diferenças. Para esta foi preciso três dias, enquanto que a primeira, apenas um. A maior dificuldade foi conseguir a colaboração de quinze participantes, já que o único tempo que dispunham foi o momento durante o intervalo, ocasião que, geralmente, o professor se dedica para tomar um lanche ou outros afazeres, como preenchimento do diário de classe etc. Com a devida autorização do diretor do colégio, foi disponibilizado dois computadores na sala dos professores; os primeiros que são listados no Quadro 17. Os equipamentos ficaram disponíveis nos períodos matutino e vespertino durante os três dias de avaliação. Enquanto que com os alunos as orientações quanto ao questionário e o programa foram de forma coletiva, com os professores foi praticamente individual, o que levou muito mais tempo. Dessa forma, cada interessado que se aproximava lhe era relatado sobre a pesquisa e demais. A vantagem é que tais orientações foram mais rápidas no contexto individual, uma vez que se trataram de usuários adultos e muitos deles já conhecedores de rotinas de pesquisas desse tipo.

Algumas características do grupo de usuários são descritas a seguir. Do total de quinze, onze foram homens e quatro mulheres. Todos possuem o magistério e especialização em alguma área, como Matemática, Física, História etc. A maioria são concursados, enquanto que dois ou três trabalham sob regime temporário.

O questionário dos professores sofreu pequenas modificações. Por se tratarem de profissionais que utilizam computadores em suas funções diárias, as duas primeiras perguntas foram excluídas; a primeira sobre a instalação do programa e a outra sobre impressão de documentos. O Quadro 18 ilustra o questionário apresentado aos professores. As dez perguntas desse questionário já foram comentadas no capítulo anterior.

### Quadro 18. Questionário de avaliação da ferramenta (professor)

**Avaliação do software RA-Educacional – fev/2010**  
**Usuários: professores do 5º ao 9º ano do ensino fundamental e do ensino médio da E.E. Jeronymo Gallo**

**Para responder as perguntas, considere o seguinte critério:**

A	B	C
1 → Discordo totalmente	Péssimo	Muito difícil
2 → Discordo parcialmente	Ruim	Difícil
3 → Indiferente	Regular	Regular
4 → Concordo parcialmente	Bom	Fácil
5 → Concordo totalmente	Ótimo	Muito fácil

↑  
 Leia com **ATENÇÃO** cada pergunta. Em seguida, com o **NUMERO** adequado, preencha o campo circular com o que melhor justifica sua resposta. As letras A, B e C são para facilitar a busca da resposta no quadro acima.

I) Modelar uma figura espacial representou uma tarefa simples. (A)

II) Os marcadores (placas) foram manuseados sem grandes dificuldades. (A)

III) O áudio ajudou na identificação da figura espacial. (A)

IV) O programa auxilia no aprendizado de sólidos geométricos. (A)

V) O programa deve auxiliar no aprendizado de outras disciplinas. (A)

VI) De maneira geral, como você avalia o programa? (B)

VII) Independente do programa que está sendo avaliado, softwares similares auxiliam no processo de ensino/aprendizagem. (A)

Para as 3 perguntas finais responda com 'S' para sim ou 'N' para não.

VIII) Antes de conhecer o programa, você sabia o que era Realidade Virtual?

IX) E Realidade Aumentada, você sabia o que era?

X) Você gostaria de utilizar o programa na escola ou em casa?

Para comentários, críticas ou avaliações adicionais sobre o programa, utilize o verso desta folha.

Se desejar obter o programa, acesse [www.franciscocesar.com/RA-Educacional.zip](http://www.franciscocesar.com/RA-Educacional.zip).  
**Obrigado por responder o questionário.**

## 5.2.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS QUESTÕES

A seguir, serão analisados os resultados quantitativos dos questionários de acordo com a metodologia de Likert. Como forma de otimizar os resultados, e levando em conta a grande quantidade de dados obtidos, para cada questão, os três grupos de usuários serão colocados num mesmo gráfico. Por exemplo, o gráfico observado na Figura 53 (pág. 81) corresponde à questão I do questionário dos professores e questão III dos alunos.

As três Tabelas a seguir descrevem toda a coleta de dados obtida com os três grupos de usuários. A partir dessas Tabelas, foram gerados doze gráficos, os quais serão abordados mais adiante. Na Tabela 2 estão inseridas as respostas dos quinze questionários avaliados pelos professores. Para cada questão, identificada com algarismo romano, existem quinze respostas, ou seja, uma para cada professor. Na parte central da mesma Tabela são calculadas as médias ponderadas (MP) conforme os cinco níveis da escala de Likert. Por exemplo, a MP 28 corresponde a  $7 \cdot 4$ , onde o sete representa a quantidade de professores que escolheram o nível quatro como alternativa. O cálculo do *ranking* médio (RM) para cada questão corresponde à soma das médias ponderadas dividida pelo universo de entrevistados que, para esse grupo, será sempre quinze.

**Tabela 2. Simplificação das respostas dos questionários (professores)**

Média Ponderada =  $4 \cdot 7 = 28$

Questão	Professor															Níveis Likert					Nº Avaliações = 15					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5	Média Ponderada	RM				
I	5	4	4	5	4	3	4	5	5	5	4	5	4	4	5	0	0	1	7	7	0	0	3	28	35	4,40
II	5	4	2	4	4	4	4	4	5	5	4	5	4	3	5	0	1	1	8	5	0	2	3	32	25	4,13
III	5	3	1	3	4	5	2	2	5	5	4	5	4	1	5	2	2	2	3	6	2	4	6	12	30	3,60
IV	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	0	0	0	5	10	0	0	0	20	50	4,67
V	5	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	3	4	0	0	2	9	4	0	0	6	36	20	4,13
VI	5	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	4	4	0	0	1	10	4	0	0	3	40	20	4,20
VII	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	0	0	0	3	12	0	0	0	12	60	4,80
VIII	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	15	n	0							
IX	n	n	s	n	n	s	n	n	n	n	n	n	n	s	s	s	4	n	11							
X	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	15	n	0							

RM Geral = 4,28  
RM-Ranking Médio

Ranking Médio =  $4,80 = \frac{(0+0+0+12+60)}{15}$

As Tabelas 2 e 3 correspondem às respostas dos grupos dos alunos. No mais, são idênticas à dos professores. As questões VIII a X do questionário dos professores e X a XII dos alunos correspondem às três perguntas finais e não serão avaliadas pela metodologia de Likert.

**Tabela 3. Simplificação das respostas dos questionários (Turma 1)**

Questões	Alunos (Turma 1)																Níveis Likert					Nº Avaliações = 16					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	Média Ponderada		RM			
I	5	5	3	4	3	5	3	4	3	4	4	4	4	4	3	5	0	0	5	7	4	0	0	15	28	20	3,94
II	5	4	5	4	5	5	5	5	3	5	5	4	5	4	5	5	0	0	1	4	11	0	0	3	16	55	4,63
III	5	4	5	4	5	5	5	4	5	4	5	5	3	4	5	5	0	0	1	5	10	0	0	3	20	50	4,56
IV	4	4	5	4	5	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	0	0	0	10	6	0	0	0	40	30	4,38
V	4	4	5	4	3	3	1	5	3	5	1	5	1	5	1	3	4	0	4	3	5	4	0	12	12	25	3,31
VI	5	5	4	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	3	3	0	0	1	6	9	0	0	3	24	45	4,50
VII	5	5	4	4	4	5	4	5	5	5	2	5	2	4	2	3	0	3	1	5	7	0	6	3	20	35	4,00
VIII	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	0	0	0	1	15	0	0	0	4	75	4,94
IX	5	5	4	4	2	5	3	4	4	5	4	5	4	5	4	5	0	1	1	7	7	0	2	3	28	35	4,25
X	s	n	s	n	n	n	n	s	s	s	n	s	s	n	s	n	s	s	8	n	8						
XI	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	s	1	n	15						
XII	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	16	n	0							

RM-Geral = 4,28

**Tabela 4. Simplificação das respostas dos questionários (Turma 2)**

Questões	Alunos (Turma 2)																Níveis Likert					Nº Avaliações = 16					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	Média Ponderada		RM			
I	4	4	4	4	4	4	5	5	4	5	3	5	5	5	4	5	0	0	1	8	7	0	0	3	32	35	4,38
II	5	5	4	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	0	0	0	5	11	0	0	0	20	55	4,69
III	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	3	5	0	0	1	4	11	0	0	3	16	55	4,63
IV	5	4	5	4	5	4	4	3	5	4	5	4	4	5	4	3	0	0	2	8	6	0	0	6	32	30	4,25
V	4	2	4	3	5	3	3	3	4	1	5	4	3	5	2	3	1	2	6	4	3	1	4	18	16	15	3,38
VI	5	4	5	4	5	4	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	0	0	0	8	8	0	0	0	32	40	4,50
VII	3	5	4	3	5	3	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	0	0	3	9	4	0	0	9	36	20	4,06
VIII	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	0	0	0	5	11	0	0	0	20	55	4,69
IX	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	3	5	4	4	5	5	0	0	1	5	10	0	0	3	20	50	4,56
X	s	s	s	n	n	n	s	n	n	s	n	n	s	s	s	n	s	8	n	8							
XI	n	n	n	n	n	n	s	n	n	s	s	n	n	s	n	n	s	4	n	12							
XII	s	s	s	s	s	s	s	n	s	s	s	s	s	s	s	s	s	15	n	1							

RM-Geral = 4,35

Na porção inferior da coluna dos níveis de Likert das três Tabelas existe uma área retangular com a quantidade de respostas para cada caso. Por exemplo, na Tabela 4 acima, a segunda linha dessa área é descrita como s 4 n 12, o que equivale dizer que para a questão XI, quatro alunos optaram pelo sim, enquanto que doze, pelo não.

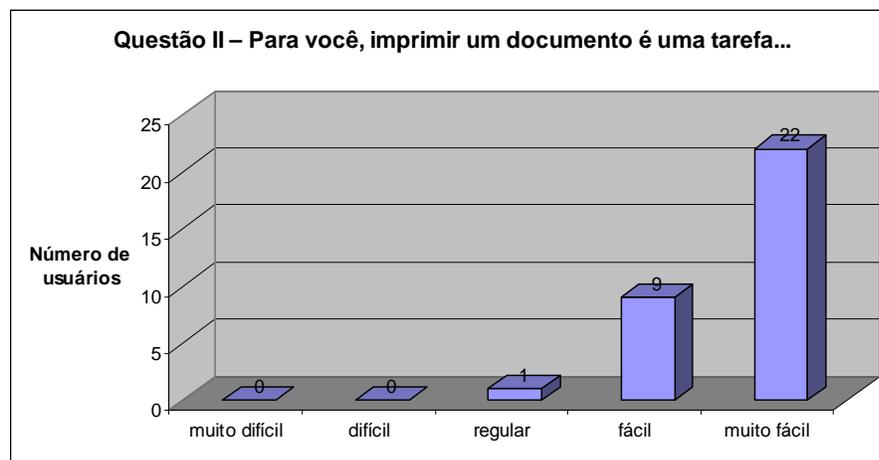
A seguir serão analisadas todas as questões mediante gráficos para cada uma. A abordagem com relação ao grau de concordância ou não para cada questão abrangerá o total de alunos, o que será sempre 32. A primeira questão do grupo dos alunos aborda a facilidade ou não quanto à

instalação da ferramenta. O gráfico da Figura 51 engloba as duas turmas de alunos, perfazendo um total de 32 usuários. Como se observa, a maioria (81,2%) considera a instalação uma tarefa fácil ou muito fácil.



**Figura 51. Questão I do questionário dos alunos**

A questão da Figura 52 analisa possíveis dificuldades para a impressão dos marcadores, lembrando que eles são necessários para a completa funcionalidade do ARToolKit. Apenas um usuário considerou uma tarefa regular, enquanto que os demais a consideraram fácil ou muito fácil.

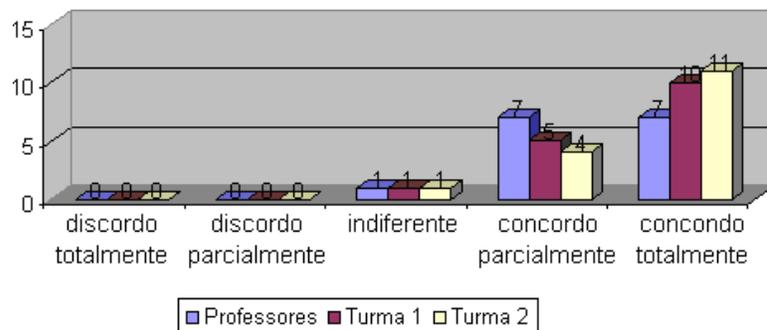


**Figura 52. Questão II do questionário dos alunos**

As dez questões seguintes serão analisadas pelos três grupos de usuários, isto é, por 47 avaliadores (16+16+15). Pouco mais de 34% dos

entrevistados concordaram parcialmente que a modelagem de figuras pelo RA-Educacional é uma tarefa simples (Figura 53). Quase 60% deles concordam totalmente, ou seja, modelar figuras 3D representou um trabalho simples para os três grupos.

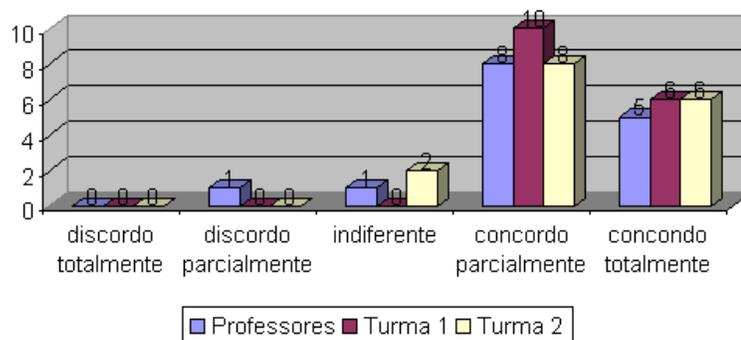
**Questões I e III - Modelar figuras espaciais representou uma tarefa simples.**



**Figura 53. Questões I (professores) e III (alunos)**

Quanto à usabilidade dos marcadores, a maioria (55%) concorda parcialmente que não ocorreram dificuldades para o manuseio das placas (Figura 54); 23% concordaram totalmente. De maneira geral, observou-se durante os testes que o usuário demora certo tempo para operar com eficácia o marcador; esse tempo figura em segundos ou minutos, dependendo da habilidade do usuário. A maioria desses problemas ocorreu por obstrução da placa, geralmente com o dedo polegar.

**Questões II e IV - Os marcadores (placas) foram manuseados sem grandes dificuldades.**



**Figura 54. Questões II (professores) e IV (alunos)**

Ao contrário do que se presumiu anteriormente aos testes, o retorno auditivo não causou o impacto esperado com os participantes, inclusive, 14,9% deles discordam totalmente que o som tenha auxiliado na identificação das figuras 3D (Figura 55). Apesar disso, os RM's (*ranking* médio) ainda ficaram ligeiramente acima dos três pontos, condição mínima para a concordância quando se trata da escala de Likert. Conforme Tabelas 2, 3 e 4, os valores dos RM's foram, respectivamente: 3,60 (professores), 3,31 (turma 1) e 3,38 (turma 2).

#### Questões III e V - O áudio ajudou na identificação da figura 3D.

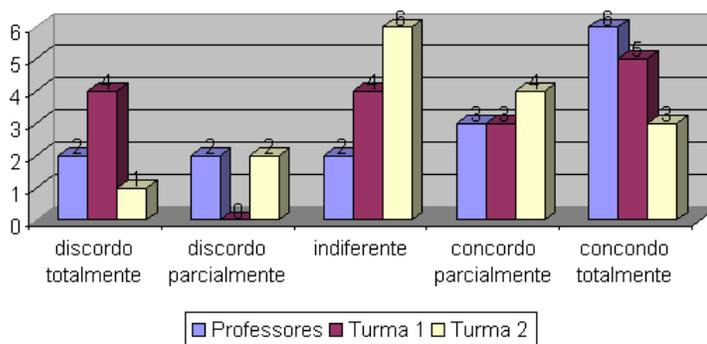


Figura 55. Questões III (professores) e V (alunos)

Dos 47 usuários, 27 (57,4%) concordam totalmente que a ferramenta deva auxiliar no aprendizado de sólidos geométricos. Apenas 1 aluno ficou na indiferença e nenhum usuário discordou da afirmativa (Figura 56).

#### Questões IV e VI - O programa auxilia no aprendizado de sólidos geométricos.

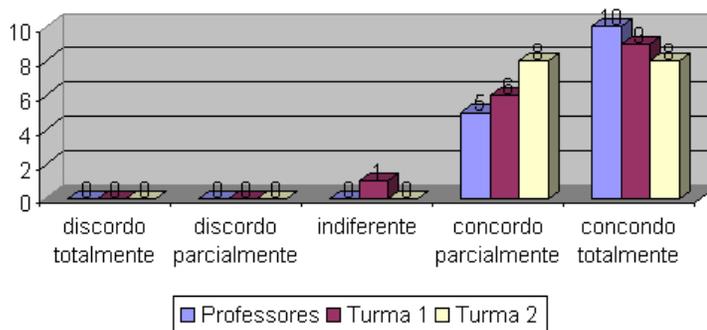
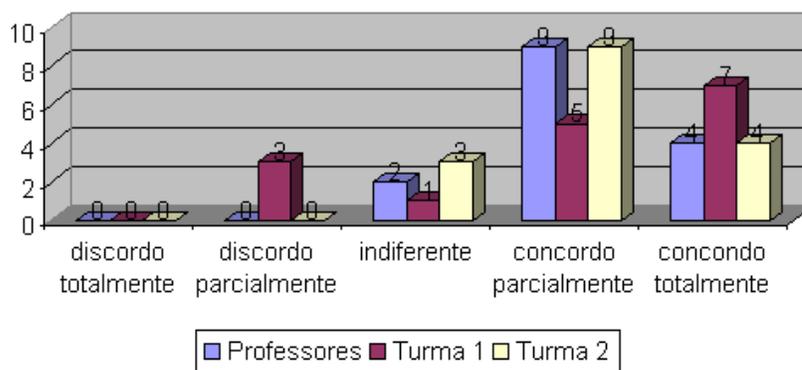


Figura 56. Questões IV (professores) e VI (alunos)

Já com relação ao aprendizado de outras disciplinas, três alunos discordaram da afirmação e quatro deles se mostraram indiferentes (Figura 57). Apesar disso, 86,7% entre os professores e 78,1% entre os alunos concordam parcial ou totalmente que a ferramenta também pode auxiliar em outras áreas.

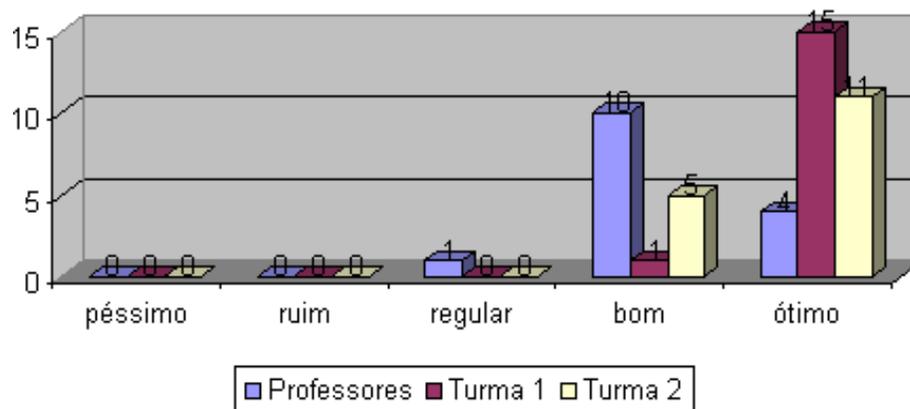
**Questões V e VII - O programa deve auxiliar no aprendizado de outras disciplinas.**



**Figura 57. Questões V (professores) e VII (alunos)**

A questão do gráfico da Figura 58 demonstra o grau de satisfação em relação à ferramenta. De maneira geral, o software foi bem avaliado, com 97,8% dos usuários o considerando como bom ou ótimo.

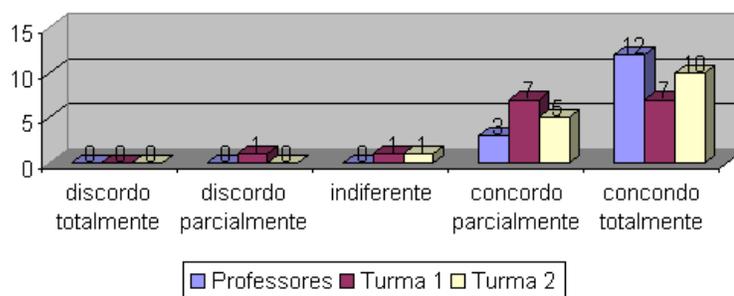
**Questões VI e VIII - De maneira geral, como você avalia o programa?**



**Figura 58. Questões VI (professores) e VIII (alunos)**

A questão seguinte (Figura 59) busca saber com os entrevistados se eles consideram que softwares similares auxiliam no processo de ensino e aprendizagem. Como era de se esperar, a maioria (93,6%) concorda parcial ou totalmente com essa afirmação.

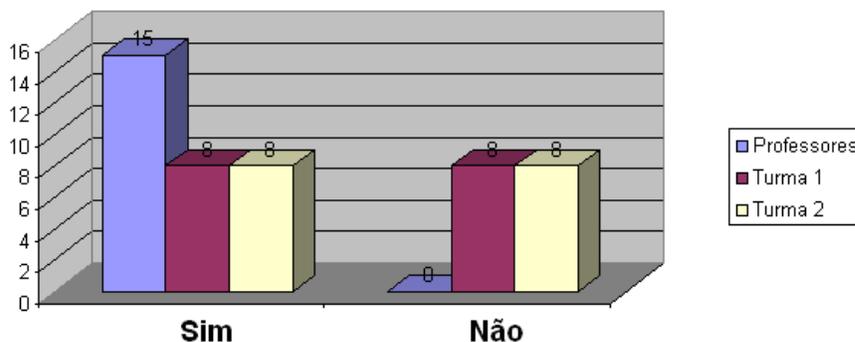
**Questões VII e IX - Independente do programa que está sendo avaliado, softwares similares auxiliam no processo de ensino/aprendizagem.**



**Figura 59. Questões VII (professores) e IX (alunos)**

As três perguntas seguintes não foram analisadas pela escala de Likert. A primeira (Figura 60) quer saber se o usuário conhece a Realidade Virtual. O grupo dos alunos ficou dividido entre o sim e o não, isto é, 50% deles (16) alegou conhecer o assunto. Quanto aos professores, todos afirmaram conhecê-la. Embora metade dos alunos tenha optado pelo não conhecimento da RV, percebeu-se que alguns deles até conheciam algumas práticas dessa ferramenta, porém não souberam vincular o nome às aplicações.

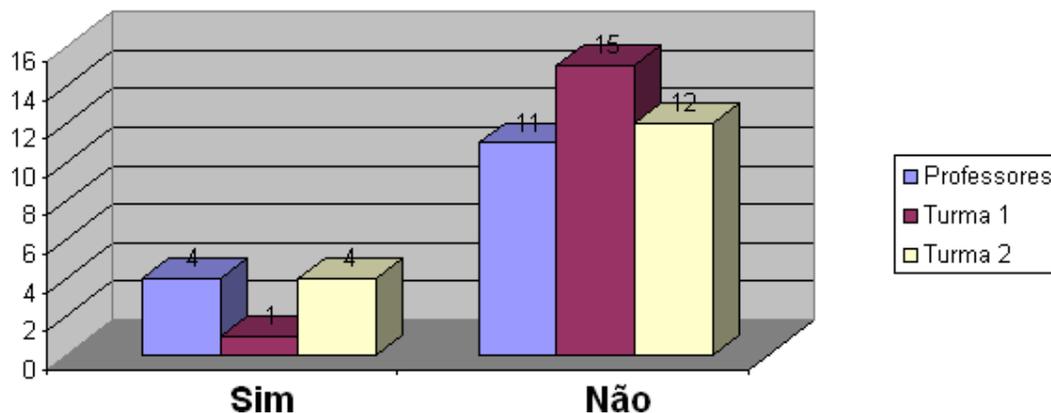
**Questões VIII e X - Antes de conhecer o programa, você sabia o que era Realidade Virtual?**



**Figura 60. Questões VIII (professores) e X (alunos)**

Quanto à Realidade Aumentada, do total de 47, apenas nove usuários (19,1%) afirmaram conhecer o assunto (Figura 61).

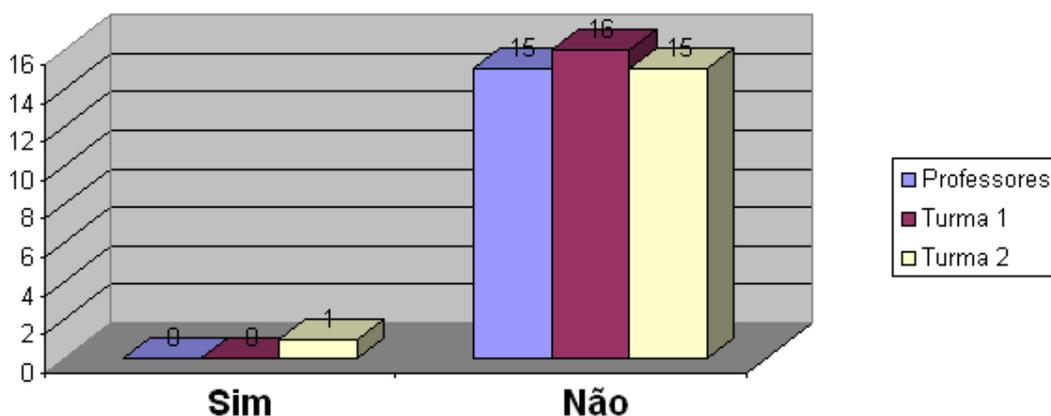
**Questões IX e XI - E Realidade Aumentada, você sabia o que era?**



**Figura 61. Questões IX (professores) e XI (alunos)**

E como última pergunta, o questionário procura saber se o usuário teria interesse em utilizar o programa em casa ou na escola. Apenas 1 estudante do ensino médio (turma 2) respondeu que não gostaria de utilizá-lo, conforme gráfico da Figura 62.

**Questões X e XII - Você gostaria de utilizar o programa na escola ou em casa?**



**Figura 62. Questões X (professores) e XII (alunos)**

### 5.2.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Após análise de todos os gráficos e as Tabelas de avaliação pelo método de Likert, foi possível presumir que, num contexto mais amplo, a ferramenta pode servir de apoio em processos de ensino/aprendizagem, principalmente para a modelagem de sólidos geométricos (Figura 56). Não houve casos de RM abaixo dos três pontos, ou seja, exemplos de discordância, e o RM-Geral ficou em 4,28 para os professores, 4,28 para a turma 1 e 4,35 para a turma 2.

Os testes e questionários não avaliaram os recursos de rede oferecidos pelo RA-Educacional. Dois motivos levaram a essa decisão. Primeiro que demandaria muito mais tempo, além da complexidade do sistema computacional envolvido. O segundo motivo é o fato da primeira versão do programa não se preocupar com recursos avançados de rede, também porque não existe um sistema de banco de dados para gerenciar os objetos modelados.

A avaliação também não se preocupou com as aplicações de Física oferecidas pelo programa, já que seu foco é a modelagem de formas geométricas. Essas aplicações, que são muito mais simples, foi uma forma de demonstrar que a ferramenta também pode servir para outras áreas nos processos de ensino e aprendizagem.

Mediante conversas informais com os alunos, ficou caracterizado o grande entusiasmo por parte deles com relação à Realidade Aumenta. Como a maioria (84,3%) não a conhecia, houve até certo tumulto entre os jovens adolescentes quando perceberam que podiam manipular objetos recém criados por eles mesmos. A Figura 63 ilustra o momento em que um aluno da turma 1 procura visualizar com o marcador uma figura espacial recém criada.

O mesmo ocorreu com o grupo de professores. Dois deles, inclusive, mostraram-se interessados em utilizar a ferramenta no ambiente de ensino. Um desses professores relatou que até meados da década de 80 os

alunos do ensino público possuíam a disciplina Desenho Técnico, o que facilitava em muito os conceitos abstratos da geometria sólida. Nesse contexto, o mesmo professor acredita que o RA-Educacional poderia auxiliar na compreensão de tais conceitos.



**Figura 63. Aluno da turma 1 visualizando uma figura 3D recém criada**

Outro professor da área de exatas recomendou que também fossem inseridos outros volumes geométricos, como prismas e trapézios. Ao manipular um cubo aramado, um terceiro professor comentou que o estudo das partes internas de sólidos é um tema difícil de compreender para muitos alunos, por exemplo, noções da diagonal existente entre dois vértices opostos de um cubo. Nesse contexto, o professor sugeriu que fosse inserido no programa a possibilidade de visualizar e calcular essas diagonais, as quais poderiam, através da Realidade Aumentada, ser vistas e manipuladas pelo próprio aluno. Segundo esse professor, seria um meio de compreender as diagonais de forma mais eficaz, já que no plano 2D se torna mais difícil.

## 6 CONCLUSÕES

O surgimento de novas tecnologias, associado com a popularização dos sistemas computacionais têm incentivado o desenvolvimento de muitos programas voltados para o ensino. As atividades pedagógicas atuais se dividem em ensino presencial, semipresencial e a distância (EaD). Apesar dos avanços na área da comunicação, a modalidade presencial ainda é a mais comum. Dentre as diversas inovações tecnológicas, a Realidade Aumentada se apresenta como ambiente diferenciado, pois oferece recursos não suportados por outras ferramentas, como interatividade e alto grau de percepção por quem a pratica. Processos de ensino e aprendizagem, assim como outras áreas, sofrem fortes influências de novas tecnologias. A forma de ensinar mudou e continua mudando, e isso não ocorre somente no país, é tendência mundial. Existem diversos sistemas que utilizam a Realidade Aumentada para promover aplicações educacionais, como o Studierstube e o Construct3D. No entanto, apesar de se mostrarem eficientes, são ferramentas que exigem equipamentos diferenciados e geralmente caros, como canetas virtuais, dispositivos móveis, luvas especiais, dentre outros.

Dentro deste contexto, a ferramenta RA-Educacional aqui apresentada, oferece um ambiente de fácil manejo por qualquer pessoa que saiba operar um computador. O sistema possui duas aplicações, sendo a de Geometria Espacial a mais importante na medida em que capacita o usuário a modelar formas espaciais básicas, como cubos, esferas, cones, cilindros e paralelepípedos retos. Mais que criar tais formas, o sistema, em conjunto com o ARToolKit, permite que o usuário manipule com as mãos (através do marcador), ele mesmo, suas construções, despertando maior interesse e motivação nos processos de ensino. A ferramenta inclui funções com estreita relação com as tendências de ensino atual, pois é capaz de compartilhar conteúdo tridimensional nas modalidades face a face, assíncrona, síncrona distribuída e assíncrona distribuída. A colaboração, outra tendência global nas relações entre as pessoas, é evidenciada na ferramenta na medida em que os usuários podem cooperar entre si, por exemplo, na construção de volumes sólidos com posterior compartilhamento do conteúdo. A concepção do sistema

também envolveu uma aplicação simples sobre dois experimentos comuns da Física, onde se observam comportamentos de corpos em velocidades verticais (caindo ou subindo). Tais experimentos são encarados pelos próprios profissionais da área como altamente abstratos, sendo de difícil compreensão. Nesse sentido, a RA pode servir de ferramenta para estimular os alunos, pois ela permite alto grau de interação e percepção.

Inúmeros testes foram realizados desde a concepção do primeiro *Form*. Muitos problemas encontrados, foram sanados, outros, ainda não, por exemplo, o tempo de espera de vinte a trinta segundos para conexões inexistentes. O programa suporta dez objetos virtuais, porém, dependendo da aplicação, poderia ser adaptado para armazenar muito mais. Somente é permitido excluir a última figura modelada, mas com uma estrutura de seleção adequada, poderia excluir qualquer uma da lista. Hoje, a ferramenta atua a nível de redes locais, mas com alterações devidas, poderia atuar num servidor web. A atual estrutura de arquivamento do conteúdo virtual é de forma não segura, pois um usuário mal intencionado poderia causar algum tipo de dano. Entretanto, com a implementação de um banco de dados, certamente o produto ficaria mais seguro e atraente. Com modificações, o ambiente facilmente poderia modelar moléculas químicas básicas, por exemplo, onde o aluno poderia interagir com tais ambientes de forma local ou remota, reforçando a tendência dos cursos de EaD. O projeto inicial da ferramenta é voltado para plataformas Windows com I.E. instalado. Outros sistemas operacionais não foram testados, mas é uma possibilidade que deixa margem para futuros testes e, se for o caso, adaptações para outros sistemas.

Como contribuição, espera-se que a ferramenta sirva de aliada a disciplinas com temas relacionados com a geometria espacial, volumes sólidos, noções de medidas e espaço tridimensional. Como trabalha com conteúdo compartilhado, abre frente para aplicações distribuídas, recurso utilizado cada vez mais em processos de ensino. Por fim, diferente de outros ambientes de RA, a ferramenta exige um computador básico com uma *webcam* e, para casos de compartilhamento de objetos, também uma rede local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSOLUT TECHNOLOGY.** Visualizações Inteligentes. <<http://www.abs-tech.com/>> Acesso em 01/09/2008.
- ARTOOLKIT SYSTEM.** <<http://www.hitl.washington.edu/artoolki>> Acesso em 11/01/2009.
- ARTOOLWORKS. ARTOOLKIT PROFESSIONAL.** <[www.artoolworks.com](http://www.artoolworks.com)> Acesso em 11/01/2009.
- AZUMA, R.** A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v.6, n.4, August, p.355-385, 1997.
- AZUMA, R. et al.** Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v .21, n.6, p. 34-47, 2001.
- BAJURA, M. NEUMANN, U.** Dynamic Registration Correction in Video-based Augmented Reality Systems In: *Computer Graphics and Applications*, IEEE Volume 15, Issue 5, Sep 1995, Pages: 52–60, 1995.
- BARAKONYI, I. et al.** “Augmented Reality Videoconferencing for Collaborative Work.” In: 2<sup>nd</sup> Hungarian Conference on Computer Graphics and Geometry. University of Technology. Budapest. 2003.
- BILLINGHURST, M.** A Wearable Spatial Conferencing Space In: *Proceedings of the Second International Symposium on Wearable Computers (ISWC '98)*, Oct 19<sup>th</sup>-20<sup>th</sup>, 1998, Pittsburgh, Penn., USA.
- BILLINGHURST, M.; kato, H. & Poupyrev, I.** – The MagicBook-Moving Seamlessly between Reality and Virtuality, *IEEE Computer Graphics and Applications*, May/June 2001, p. 2-4
- BLACKWELL, Alan; RODDEN, Kerry.** Sketchpad: A man-machine graphical communication system. Technical Report Number 574. University of Cambridge, September/2003. Disponível em <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>. Acesso em 02/03/2010.
- BLENDER 3D.** 2008. <<http://www.blender.org>> Acesso em 13/09/2008.
- BURDEA, G. C.** *Virtual Reality Technology*. Ed Wiley-Interscie, New Jersey, 444p, 2003.
- CONSULARO, L. et al.** ARToolKit: Aspectos Técnicos e Aplicações Educacionais In: *VII Symposium on Virtual Reality*, São Paulo, 2004, Cap. 6, p.188.
- CRANUS System.** Cranial Ultrasound Simulation System. <<http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/New%20Folder/CranUS.php>> Acesso em 02/09/2008.
- DOUGIAMAS.** Personal Home Page. <<http://dougiamas.com/>> Acesso em 12/11/2008.

- ESTADÃO. **Jornal O Estado de São Paulo.** <[http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080624/not\\_imp194666,0.php](http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080624/not_imp194666,0.php)> Acesso em 12/01/2010 .
- FEINER, S. et al. A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment In: Proc ISWC '97 (Int. Symp. on Wearable Computing), Cambridge, MA, October 13–14, 1997, pages 74–81.
- FERREIRA, A. (a). **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. 2.<sup>a</sup> ed.** São Paulo. FTD. 1986, p.1009.
- FERREIRA, A. (b). **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. 2.<sup>a</sup> ed.** São Paulo. FTD. 1986, p.1735.
- HODGINS, H. W. "The Future of Learning Objects" In: "e-Technologies in Engineering Education: Learning Outcomes Providing Future Possibilities", Jack R. Lohmann and Michael L. Corradini Eds, ECI Symposium Series, Volume P1 (2002).
- IEEE P1484.12.1. **Learning Object Metadata (LOM).** 2004. Disponível em <<http://ltsc.ieee.org/news/20021210-LOM.html>> Acesso em 02/11/2008.
- KATO, H.; BILLINGHURST, M. Marker Tracking and HMD Calibration for a Videobased Augmented Reality Conferencing System. In: Proceedings of the 2nd IEEE and ACM Internationall Workshop on Augmented Reality, San Francisco, CA,USA, p85-94, 1999.
- KAUFMANN, H. **Geometry Education with Augmented Reality.** Dissertation; 2004, Vienna University of Technology.
- KAY, R., KNAACK, L. Developing Learning Objects for Secondary School Students: A Multi-Component Model In: *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, Vol. 1, 2005.
- KIRNER, C.; ZORZAL, E. **Aplicações Educacionais em Ambientes Colaborativos com Realidade Aumentada.** In: XVI Simpósio Brasileiro sobre Informática na Educação, 2005, Juiz de Fora - MG. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Porto Alegre - RS : Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 2005. v. 1. p. 114-124.
- KIRNER, C., SISCOOTTO, R. (a). **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações** In: VII Symposium on Virtual Reality, Livro do Pré-Simpósio, Cap.1, p7, Petropolis-RJ, 2007.
- KIRNER, C, SISCOOTTO, R. (b). **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações** In: VII Symposium on Virtual Reality, Livro do Pré-Simpósio, Cap.1, p5, Petropolis-RJ, 2007.
- KIRNER, C, SISCOOTTO, R. (c). **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações** In: VII Symposium on Virtual Reality, Livro do Pré-Simpósio, Cap.1, p10, Petropolis-RJ, 2007.
- KISMET. **Virtual Endoscopic Surgery Training.** 2001. <<http://www-kismet.iai.fzk.de/KISMET/VestSystem.html>> Acesso em 05/01/2009.

- LSI. Laboratório de Sistemas Integráveis. Escola Politécnica de São Paulo (USP) <<http://www.lsi.usp.br/interativos/nrv/caverna.html>> Acesso em 27/11/2008.**
- MARTINS, O. Experiências em Educação a Distância no Brasil In: 3ª JORNADA CAERENAD - Seminário de Educação, 2001, UFMT. A Educação e as Novas Tecnologias. UFMT, 2001.**
- MENDEZ, Erik; WAGNER, Daniel; SCHMALSTIEG; Dieter: Vidente: A glance at AR on the UMPC and Smartphone Platform Demonstration at IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), Vienna, Austria, October 2006.**
- MILGRAM, P. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays In: IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, No.12 December 1994.**
- MOODLE. Modular Object-Oriented Dynamic Learning. <<http://moodle.org/>> Acesso em 27/02/2009.**
- MOODLE LANGUAGE. Moodle Language Packs. <<http://download.moodle.org/lang16/>> Acesso em 28/02/2009.**
- NUNES, F. et al. Aplicações Médicas usando Realidade Virtual e Realidade Aumentada. Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações In: VII Symposium on Virtual Reality, Livro do Pré-Simposio, Cap.1, p7, Petrópolis-RJ, 2007. Cap.11; p223.**
- OHSHIMA, T. et al. "AR2 Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality", Proc. IEEE VRAIS'98, 1998, p. 268-275.**
- OLIVEIRA, F; KIRNER, C. Projeto LIRA - Livro Interativo com Realidade Aumentada. In: WARV05, 2005, Uberlândia. I Workshop de Aplicações de Realidade Virtual. Uberlândia: Editora UFU, 2005. v. 1. p. 1-4.**
- OLIVEIRA, L. A. Desenvolvimento do NetARToolKit: Um Sistema Distribuído de Realidade Aumentada. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba. 2008.**
- PARALLELGRAPHICS. <<http://www.parallelgraphics.com/products/vrmlpd/download/>> Acesso em 12/03/2009.**
- PLAYSTATION. Playstation Home Page. <<http://www.playstation.com/>> Acesso em 15/01/2009.**
- PRINCE, S. et al. "3D Live: Real Time Capture Content for Mixed Reality", IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR'02, 2002, p. 7-13.**
- RUSSO, E. et al. A Realidade Virtual na Indústria de Exploração e Produção de Petróleo. Realidade Virtual: Conceitos e Tendências – Livro do Pré-Simposio SVR 2004, Cap. 21, p.283-288. Ed Mania de Livro, São Paulo, 2004.**

- SANTIN, R. Sistema de Autoria Em Ambiente Colaborativo com Realidade Aumentada. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba. 2008.**
- SCHMALSTIEG, D. et al. The Studierstube Augmented Reality Project PRESENCE - Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 11, No. 1, pp. 32-54, MIT Press, February 2002.**
- SMITH, B., MACGREGOR, J. "What is collaborative learning?" In: Goodsell, A. S., Maher, M. R., and Tinto, V. (Eds.), Collaborative Learning: A Sourcebook for Higher Education. National Center on Postsecondary Teaching, Learning, & Assessment, Syracuse University. 1992.**
- STUDIERSTUBE. Studierstube Home Page. <<http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/>> Acesso em 19/01/2009.**
- TELEDUC. Educação a Distância. <<http://teleduc.nied.unicamp.br/>> Acesso em 28/02/2009.**
- TORI, R; KIRNER, C; SISCOOTTO, R. (a). Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada In: Livro do Pré-Simposio VII Symposium on Virtual Reality Belém – PA; 2006a, Capítulo 1, p.4.**
- TORI, R; KIRNER, C; SISCOOTTO, R. (b). Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada In: Livro do Pré-Simposio VII Symposium on Virtual Reality Belém – PA; 2006b, Capítulo 1, p.8.**
- ULBRICHT, C.; SCHMALSTIEG, D. Tangible augmented reality for computer games. Technical report, The 3rd IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing (VIIP 2003), September 2003.**
- VIDENTE. Vidente Project. <<http://www.vidente.at/>> Acesso em 27/02/2009.**
- VINCE, J. Virtual Reality Systems. Ed. ACM, New York, 388p, 1995.**
- VIVATY. Vivaty Studio Beta. 2008. <<http://www.vivaty.com/>> Acesso em 13/09/2008.**
- XBOX. Xbox 360 Home Page <<http://www.xbox.com>> Acesso 12/02/2009.**
- WII. Wii Home Page. <<http://wii.com/>> Acesso em 12/03/2009.**
- WILEY, D. Learning Object Design and Sequencing Theory. Dissertation; junho/2000; Brigham Young University; Jerusalém.**

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1 – PUBLICAÇÕES**

O Anexo relaciona os trabalhos publicados durante o período de pesquisa do projeto (2008 a 2009).

OLIVEIRA, F. C.; KIRNER, Cláudio; SANTIN, R.; FORTE, C.. Collaborative Learning Environments with Augmented Reality. *RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 6, p. 1-9, 2008.

OLIVEIRA, F. C.; KIRNER, Cláudio; FORTE, C.; SANTIN, R.. GERADOR DE TRAJETÓRIAS EM AMBIENTES DE REALIDADE AUMENTADA. In: V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2008, Bauru. V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada. Bauru : Unesp Editora, 2008. v. 1. p. 1-4.

FORTE, C.; OLIVEIRA, F. C.; KIRNER, Cláudio; SANTIN, R.. IMPLEMENTAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS EM REALIDADE AUMENTADA PARA EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA. In: V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2008, Bauru. V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada. Bauru : Unesp Editora, 2008. v. 1. p. 20-28

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – MANUAL DO RA-EDUCACIONAL

## Manual do RA-Educacional Dez/2009

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - O PROGRAMA RA-EDUCACIONAL .....	02
CAPÍTULO 2 - REALIDADE AUMENTADA.....	02
CAPÍTULO 3 - REQUISITOS DAS APLICAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA ..	03
3.1 - LINGUAGEM VRML .....	03
3.2 - CÓDIGO VRML DE UM CUBO.....	04
CAPÍTULO 4 - ARTOOLKIT .....	05
CAPÍTULO 5 - REQUISITOS DO RA-EDUCACIONAL.....	05
5.1 - PLUGIN .....	05
5.2 - MARCADORES .....	07
CAPÍTULO 6 - INSTALAÇÃO DO RA-EDUCACIONAL .....	08
CAPÍTULO 7 - GEOMETRIA ESPACIAL COM O RA-EDUCACIONAL.....	09
7.1 - SIMULANDO A CRIAÇÃO DE UM CONE.....	11
7.2 - VISUALIZAÇÃO DO OBJETO 3D ATRAVÉS DO NAVEGADOR.....	14
7.3 - VISUALIZAÇÃO DO OBJETO 3D ATRAVÉS DO ARTOOLKIT .....	15
7.4 - EXCLUSÃO DE OBJETOS 3D .....	16
REFERÊNCIAS.....	18

## CAPÍTULO 1 – O PROGRAMA RA-EDUCACIONAL

O programa RA-Educacional representa o trabalho de mestrado de Francisco César de Oliveira, discente da Universidade Metodista de Piracicaba-Unimep. O software faz uso da Realidade Aumentada (RA) e tem como objetivo demonstrar a potencialidade da RA no ensino e aprendizado de algumas disciplinas fortemente dependentes da intuição, como é o caso da Geometria Espacial e alguns experimentos de Física.

Desenvolvido com a ferramenta Delphi 7, o programa utiliza a RA e o software ARToolKit como ferramentas de apoio em processos de ensino e aprendizado. Devido às dificuldades de percepção relacionadas com essas disciplinas, a RA se mostra motivadora na medida em que o aprendizado de formatos espaciais pode ocorrer de maneira interativa e intuitiva, possibilitando ao aluno a construção e manipulação de diferentes tipos de figuras geométricas, como cubos, esferas, cilindros etc.

## CAPÍTULO 2 – REALIDADE AUMENTADA

Realidade Aumentada é a sobreposição de objetos virtuais no mundo real mediante algum dispositivo tecnológico, incrementando, dessa forma, a visão do usuário (Bajura, 1995). Trata-se de um mecanismo computacional que possibilita ao usuário interagir com objetos 3D inseridos no mundo real. Objetos tridimensionais gerados por sistemas computacionais geralmente apresentam vantagens quando comparados às imagens tradicionais, uma vez que causam maior interesse devido à facilidade no manuseio desses objetos, o que não é possível com imagens bidimensionais. A Figura 1 ilustra algumas aplicações de RA.

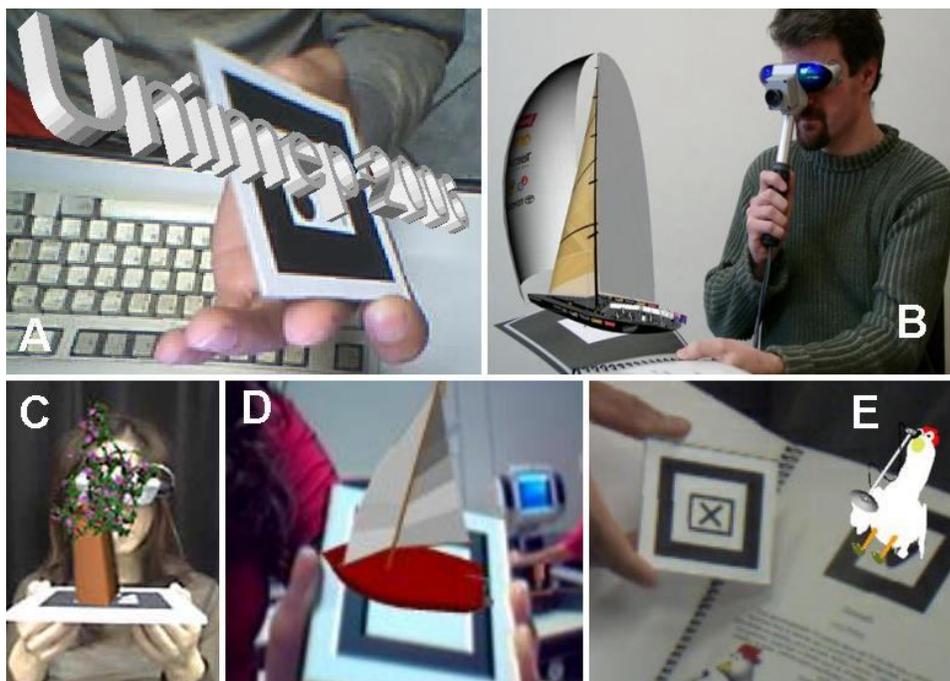


Figura 1 - Aplicações de Realidade Aumentada, A e E (Oliveira, 2006), B e C (Billingham, 2001), D (Santin, 2004)

Para conhecer outros projetos de RA e Realidade Virtual (RV), acesse os links [www.realidadevirtual.com.br](http://www.realidadevirtual.com.br) e [www.realidadeaugmentada.com.br](http://www.realidadeaugmentada.com.br).

### CAPÍTULO 3 – REQUISITOS DAS APLICAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA

Aplicações básicas de RA exigem um computador de configuração doméstica, um sistema operacional (Microsoft, Linux ou Mac), uma webcam, um software de RA, que pode ser o ARToolKit e pequenas placas de papelão com desenhos em seus interiores, as quais são direcionadas para a webcam; são conhecidas como marcadores ou placas. A imagem observada no monitor (chave de cano) da Figura 2 corresponde ao objeto 3D de uma aplicação típica de RA.

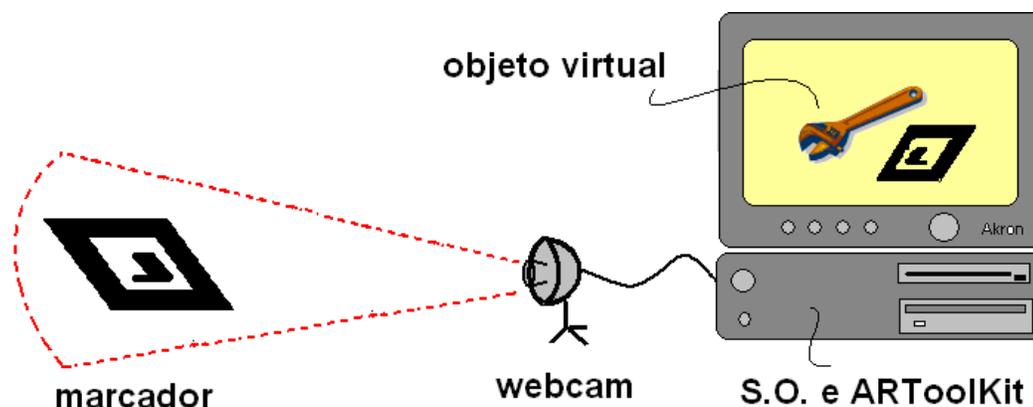


Figura 2 - Hardware e softwares utilizados numa aplicação básica de RA

Os objetos virtuais utilizados nas aplicações de RA geralmente são modelados na linguagem VRML, a qual é descrita a seguir.

#### 3.1 – LINGUAGEM VRML

*Virtual Reality Modeling Language* (VRML) é uma linguagem de programação para modelagem de objetos virtuais. A linguagem é utilizada em aplicações de RV e RA. Para escrever um código em VRML, basta um editor de texto, como o Bloco de Notas do Windows, embora existam outros meios mais fáceis para a modelagem dos objetos, principalmente para o usuário que não domina programação. São programas sofisticados para a elaboração de mundos virtuais, os quais exigem conhecimentos de espaço, sistemas de eixos (X, Y e Z) etc. Alguns desses programas são pagos, enquanto que outros, gratuitos, como o Blender 3D, Vivaty Studio, VRMLPad, além de outros.

Os objetos 3D são criados mediante o conceito de malhas poligonais, as quais, combinadas, dão o formato do objeto. Objetos simples, como um cubo ou esfera, são modelados com apenas algumas linhas de código fonte, enquanto outros, mais complexos, exigem um empenho maior. Assim, quanto mais detalhe possuir o objeto, mais extenso e complexo será o seu código fonte.

Além dos objetos, mediante a linguagem VRML é possível acrescentar interatividade ao cenário virtual, como som, movimentos (animação), taxa de iluminação e outros recursos que incrementam os mundos virtuais.

Para entender melhor como funciona essa linguagem, é possível criar objetos simples, como um cubo. Para isso, copie o código abaixo num editor de texto qualquer, como o Bloco de Notas. Em seguida, salve o arquivo com a extensão ".wrl". Se tiver dificuldades nesse processo, basta atribuir um nome arbitrário seguido dessa extensão no momento de salvar o arquivo, por exemplo, "cubo.wrl". Ao fazer isso, repare que o arquivo não levará mais o ícone típico do Bloco de Notas, aquele "caderninho espiral branco de anotações". Mas, para que isso ocorra, é necessário que o sistema possua um plugin, que pode ser conseguido gratuitamente na internet. Para saber mais sobre plugins e sua instalação, consulte o Capítulo 5.

### 3.2 – CÓDIGO VRML DE UM CUBO

Copie o código da Figura 3, cole num editor de texto (Bloco de Notas) e salve com a extensão wrl, por exemplo "cubo.wrl".

```
#VRML V2.0 utf8
DEF Box1 Shape {
  appearance Appearance {
    material DEF Red Material {
      diffuseColor 1 0 0
    }
  }
  geometry DEF GeoBox1 Box {
    size 10 10 10
  }
}
```

Figura 3 – Código fonte de um cubo vermelho

Se o procedimento foi realizado corretamente e o sistema operacional possuir um plugin instalado, ao ser executado, o arquivo cubo.wrl será aberto no Internet Explorer, conforme Figura 4. Se o sistema operacional não possuir um plugin, consulte o Capítulo 5.1. Neste último caso, o sistema informará ao usuário sobre a falta desse programa (plugin).

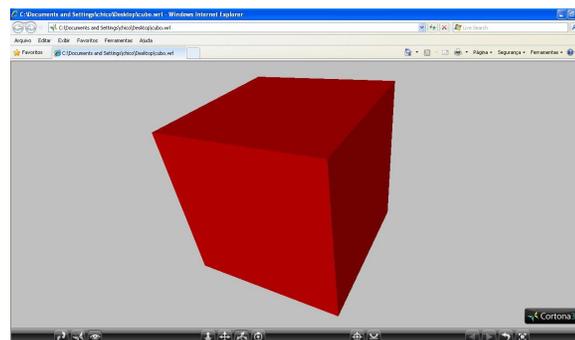


Figura 4 - Visualização do cubo virtual, cujo código fonte é descrito na Figura 3

## CAPÍTULO 4 – ARTOOLKIT

ARToolKit (*Augmented Reality Tool Kit*) é uma ferramenta largamente utilizada para implementações de RA. O programa RA-Educacional já vem com o ARToolKit devidamente configurado para funcionar com o marcador localizado na pasta RA-Educacional; o Capítulo 5 aborda esse assunto com detalhes.

A função desse programa é rastrear o marcador o tempo todo e assim fazer com que o objeto virtual, previamente modelado pelo RA-Educacional, fique atrelado a ele. Para o bom funcionamento do programa, é importante destacar pelo menos duas situações que podem causar problemas. Uma é que a placa deve estar dirigida para a câmara o tempo todo, pelo menos enquanto o usuário desejar visualizar o objeto. Caso a imagem seja "perdida" durante a execução do programa, basta reposicionar a placa na direção da webcam. Da mesma forma, se o marcador for obstruído, por exemplo, com os dedos do usuário, isso fará com que a webcam deixe de "enxergar" o desenho estampado nele, o que acarretará no desaparecimento temporário do objeto. Para corrigir o problema, basta desobstruir o marcador.

Outra situação que pode causar algum inconveniente é a iluminação, ainda que as últimas versões do ARToolKit tenha melhorado significativamente essa questão. O problema maior é o excesso de luz, e não a sua falta. A última versão, inclusive, chega a operar com pouca iluminação. O ideal é manter uma iluminação intermediária e assim evitar esses problemas. Para saber mais sobre a ferramenta ARToolKit, acesse <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/> ou os links de Realidade Virtual e Aumentada: [www.realidadevirtual.com.br](http://www.realidadevirtual.com.br) e [www.realidadeaumentada.com.br](http://www.realidadeaumentada.com.br).

## CAPÍTULO 5 – REQUISITOS DO RA-EDUCACIONAL

A execução do programa RA-Educacional depende dos seguintes requisitos:

1. Um computador de configuração básica.
2. Sistema Operacional Windows XP SP3 ou Vista.
3. Uma webcam devidamente instalada no computador.
4. Um plugin instalado no Internet Explorer.
5. Marcadores para a webcam.
6. Uma rede Windows com dois ou mais computadores conectados.

Os itens 1, 2, 3 e 6 deverão estar instalados e devidamente configurados, não cabendo, para o presente tutorial, maiores detalhes quanto à suas configurações. O item 6 é obrigatório somente se o usuário for trabalhar em grupo, ou seja, se desejar visualizar e manipular objetos de outros usuários do programa RA-Educacional.

Alguns arquivos específicos (DLL's etc) serão instalados automaticamente quando o usuário executar o RA-Educacional pela primeira vez. Esses arquivos serão copiados no diretório WINDOWS\System32 e não afetará o sistema operacional em outras atividades, já que são arquivos que afetam somente os programas ARToolKit e RA-Educacional.

## 5.1 – PLUGIN

Geralmente são programas simples, porém com a importante função de adicionar diversos recursos a outros programas maiores, beneficiando-os com alguma funcionalidade específica.

No caso do plugin para VRML, um bastante utilizado é o Cortona VRML Client, que atua diretamente no navegador do sistema operacional; para mais detalhes sobre VRML, consulte o Capítulo 3.

Após a instalação do plugin, os objetos virtuais serão visualizados diretamente no navegador, ou seja, no Internet Explorer, ou browser, como também é conhecido.

Antes de instalar o Cortona VRML Client, é conveniente saber se o teu sistema já não possui um (ou outro qualquer), e assim evitar perda de tempo. Para saber isso, clique em "Meu sistema possui um plugin?", localizado no menu "Realidade Aumentada", seguido do submenu "Sobre o plugin". Se o sistema já possuir o plugin, após o clique o navegador será aberto com um cenário virtual contendo 5 figuras espaciais, conforme ilustra a Figura 5.

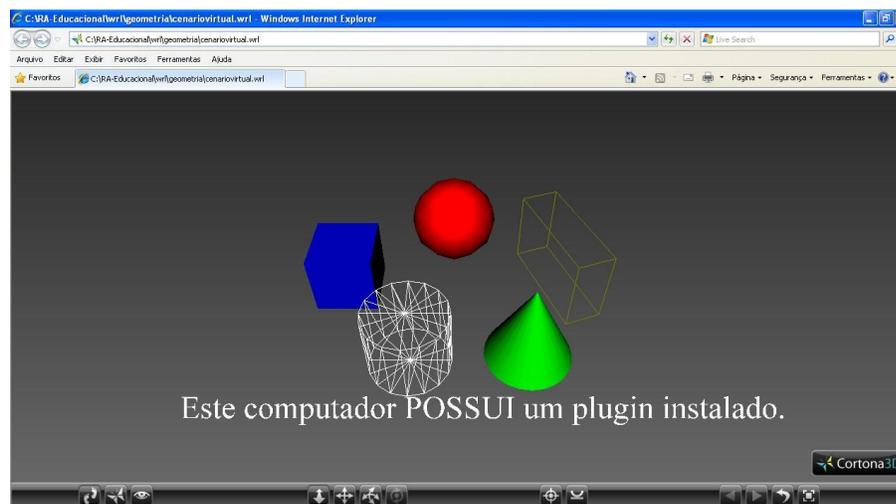


Figura 5 – Visualização de um cenário virtual quando o Internet Explorer já possuir um plugin instalado

Caso o teu sistema não possua um plugin instalado, o navegador será aberto e lhe informará sobre essa situação com um pequeno texto, de maneira que, de uma forma ou de outra, você saberá se existe ou não esse programa em seu computador. A Figura 6 ilustra essa situação.

Caso necessite instalar o programa Cortona 3D Client, acesse <http://www.cortona3d.com/install/win.php> e clique em Download para salvar o programa em seu computador. Feito isso, basta executar o arquivo cortona3d e aceitar as configurações propostas.

Outra opção é fazer o download através do menu Realidade Aumentada → Sobre o plugin → Download do Cortona 3D. Após o download, basta executar o arquivo cortona3d. Durante a instalação, aceite todas as sugestões sugeridas pelo instalador. Com isso, o sistema operacional estará apto para visualizações 3D através do RA-Educacional.

```

C:\RA-Educacional\wrl\geometria\cenariovirtual.wrl - Windows Internet Explorer
C:\RA-Educacional\wrl\geometria\cenariovirtual.wrl
Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda
Favoritos C:\RA-Educacional\wrl\geometria\cenariovirtual.wrl
#VRML V2.0 utf8
#
#                               A T E N Ç Ã O !
#                               ||
#                               ||
#                               ||
#                               ||
#                               ||
#                               -----
#                               \\\ \\\ \\\
#                               \\\ \\\ \\\
#                               \\\ \\\ \\\
#                               \\\ \\\ \\\
#                               -----
#
# Se você estiver lendo esse arquivo é sinal de que teu sistema NÃO POSSUI
# um plugin instalado, o qual serve para visualizar objetos 3D através de
# seu navegador Internet Explorer. Caso necessite de um, acesse
# www.cortona3d.com/bin/cortona3d.msi e instale AUTOMATICAMENTE o programa
# em seu computador. Se tiver problemas com essa instalação, acesse
# www.cortona3d.com e preceda com o DOWNLOAD seguido da instalação MANUAL.
#
# Desconsidere o restante desse documento. O código abaixo representa o
# cenário virtual quando o sistema operacional possui o plugin instalado.
#-----
WorldInfo {
  title "form2"

```

Figura 6 – Texto fornecido quando o Internet Explorer não possui um plugin instalado

## 5.2 – MARCADORES

São os itens fundamentais nas aplicações envolvendo o RA-Educacional. O primeiro passo é montar um marcador. Para isso, imprima e recorte a imagem da Figura 7. Essa imagem também pode ser impressa diretamente através do arquivo marcador.jpg, localizado na pasta RA-Educacional, principal diretório do programa.

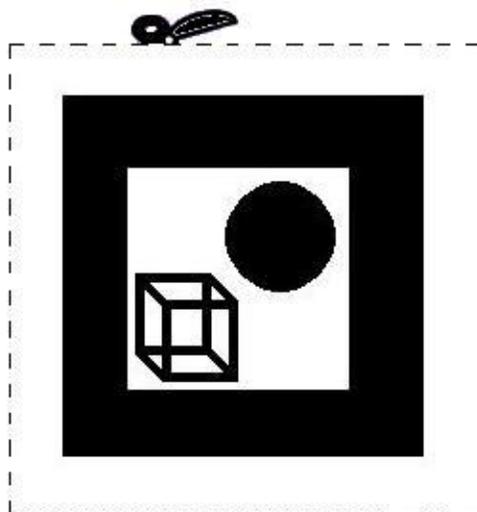


Figura 7 - Arquivo marcador.jpg localizado na pasta AR-Educacional

Depois de imprimir e recortar, consiga um pedaço de papelão, o que pode ser aproveitado de caixas de embalagem. Recorte o papelão e deixe-o com a mesma medida da impressão do marcador (pontilhado). Finalmente, cole a impressão no pedaço de papelão. Isso fará do marcador uma estrutura mais resistente, condição necessária para que o ARToolKit funcione corretamente, pois a imagem inserida nele não pode sofrer distorções. Após sua montagem, o marcador deverá ter a aparência da placa ilustrada na Figura 8.

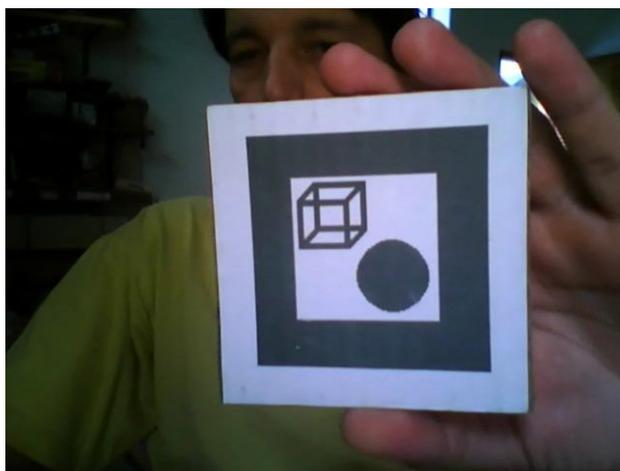


Figura 8 - Marcador de RA utilizado no programa RA-Educacional

## CAPÍTULO 6 – INSTALAÇÃO DO RA-EDUCACIONAL

Acesse o endereço [www.franciscocesar.com/RA-Educacional](http://www.franciscocesar.com/RA-Educacional) e baixe o pacote RA-Educacional.zip. Descompacte-o e coloque no diretório C:\ de seu sistema operacional. É importante saber que o programa somente funciona nesse diretório. Uma vez no diretório indicado, os arquivos do programa apresentarão a estrutura descrita conforme Figura 9.

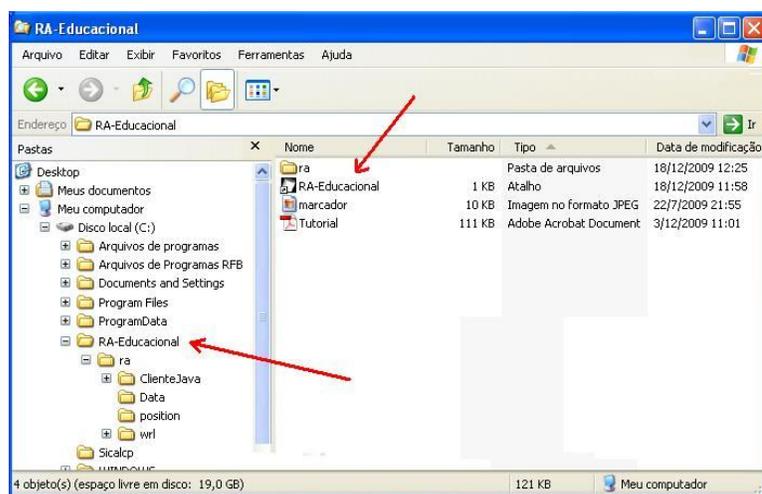


Figura 9 - Estrutura de diretório do programa RA-Educacional

A última etapa é compartilhar o diretório principal do programa. Para isso, clique com o botão direito sobre a pasta RA-Educacional; uma das opções que surgirá será “Compartilhamento e segurança”. No menu “Compartilhamento” marque a caixa “Compartilhar esta pasta na rede”. Em seguida, aceite a alteração e feche a janela. Com isso, o programa está pronto para ser utilizado, bastando um clique no ícone correspondente, conforme seta indicativa na Figura 9.

## CAPÍTULO 7 – GEOMETRIA ESPACIAL COM O RA-EDUCACIONAL

O atalho para abrir o programa está localizado no diretório principal (pasta RA-Educacional). Uma vez executado, o programa “perguntará” ao usuário se ele já conhece o programa (Figura 10).

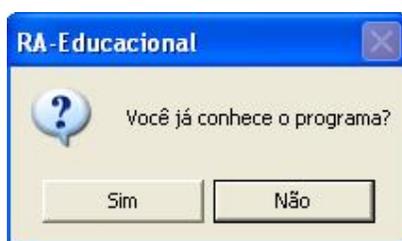


Figura 10 – Primeira interface do programa RA-Educacional

Caso o usuário já conheça o programa, a pergunta inicial (Figura 10) evita diversas janelas informativas durante as aplicações do RA-Educacional. São procedimentos respectivos às configurações e visualizações dos objetos, informações dispensáveis para o usuário conhecedor do sistema.

Clicando em Sim ou Não, a próxima e principal interface do programa é a ilustrada na Figura 11.

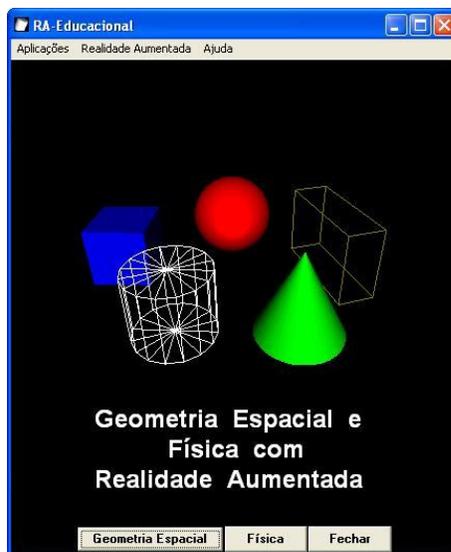


Figura 11 - Interface principal do Programa RA-Educacional

Para a aplicação de Geometria Espacial, clique no botão correspondente ou utilize o menu Aplicações. Se não existir objetos virtuais armazenados no sistema, ou seja, se o Repositório estiver sem estoque de arquivos, surgirá a tela ilustrada na Figura 12.



Figura 12 – Tela da aplicação Geometria Espacial com RA

Entretanto, caso exista uma ou mais figuras 3D previamente armazenada(s), então o usuário visualizará uma janela intermediária alertando-o dessa situação (Figura 13).

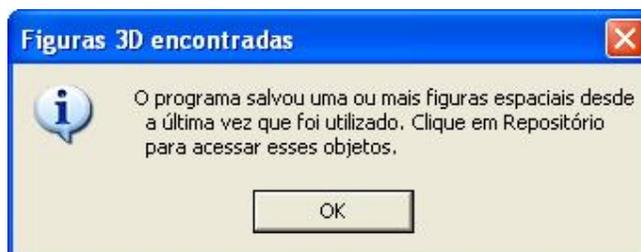


Figura 13 - Alerta de figuras 3D previamente armazenadas

Clicando em OK, a janela ativa volta a ser a da Figura 12. A seguir, e para dar um exemplo mais didático, vamos simular a modelagem de um cone.

## 7.1 – SIMULANDO A CRIAÇÃO DE UM CONE

Após clicar no botão Cone, a mesma janela será acrescentada com outras informações e funções relacionadas à configuração do objeto virtual que será modelado. Conforme indica a Figura 12, as características dos objetos 3D são três: medidas, cor e transparência.

As medidas variam de acordo com o tipo da figura. Por exemplo, o cubo possui somente as arestas, bastando, para isso, uma única entrada de dados para suas medidas. O mesmo acontece com as esferas, que somente possuem o raio como medida. Dessa forma, para cada tipo de figura, uma combinação diferente de medidas surgirá na janela. Experimente clicar em todos os botões para analisar suas diferentes medidas, conforme Tabela 1. Como nosso exemplo é a criação de um cone, seguiremos com ele.

Tabela 1 – Figuras espaciais e suas medidas da interface Geometria Espacial

Figura	Medidas
Cubo	Arestas
Esfera	Raio
Cone	Raio da base e altura
Cilindro	Raio da base e altura
Paralelepípedo	Largura, altura e profundidade

O sistema RA-Educacional já vem com os campos das medidas preenchidas, os quais poderão sofrer alterações a qualquer momento. Por exemplo, o cone da Figura 14 possui raio 20, altura 30 e transparência 0 (zero). Os campos das medidas somente aceitam valores de 0 a 999 para os inteiros e de 0 a 99 para os campos das frações. Este recurso é para evitar valores incoerentes, os quais poderiam ser digitados acidentalmente, como números negativos ou muito elevados. Da mesma forma, esses campos não aceitam nenhum caractere que não seja número, evitando erros no sistema. Assim, se o usuário acidentalmente digitar um colchete no campo raio do cone, o sistema irá alertá-lo que essa possibilidade não existe, e na sequência o cursor voltará no mesmo campo para esperar outro valor até que este seja válido.

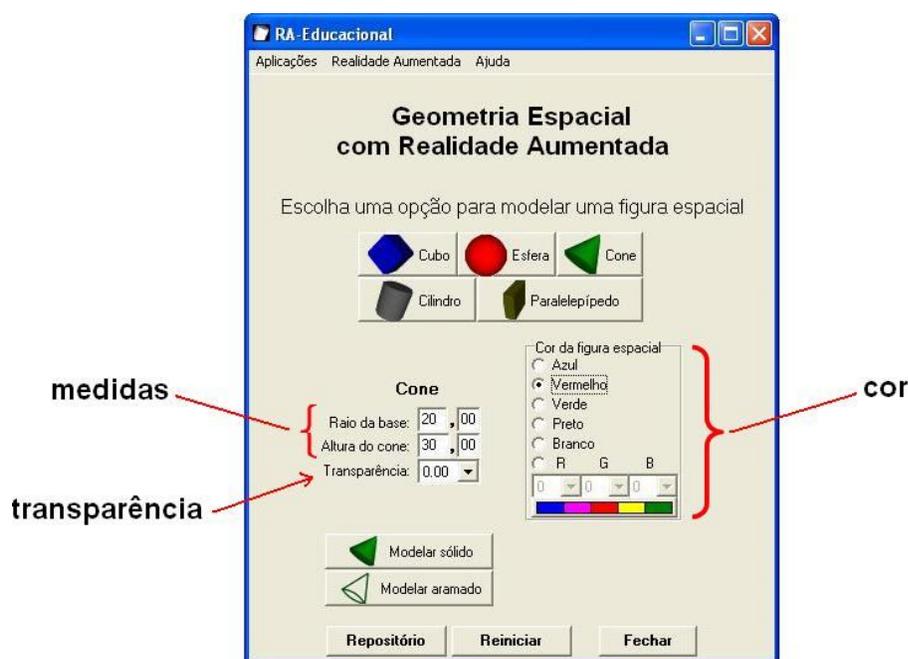


Figura 14 – Configuração de um cone

O campo transparência vem com o valor 0, o que significa dizer que o objeto será modelado sem nenhum grau de transparência. Nesse caso, a luz não passará pelo objeto, tornando a figura 3D opaca. Os valores para o campo transparência variam de 0.00 a 1.00, mas poderia suportar milhares de valores. No entanto, uma divisão em 100 (cem) partes é mais que suficiente. Com isso, a transparência no sistema RA-Educacional pode assumir 101 valores, onde o primeiro é 0.00 e o último 1.00, passando por 0.01, 0.02, 0.03 etc.

Se o valor 0.00 indica ausência de transparência (opacidade), 1.00 torna os objetos invisíveis. A Figura 15 ilustra 5 situações de transparências para o mesmo objeto; são valores que oscilam de 0.00 a 0.90. Mediante a Figura 15 é possível perceber que para o valor 0.90 o objeto está próximo da invisibilidade.

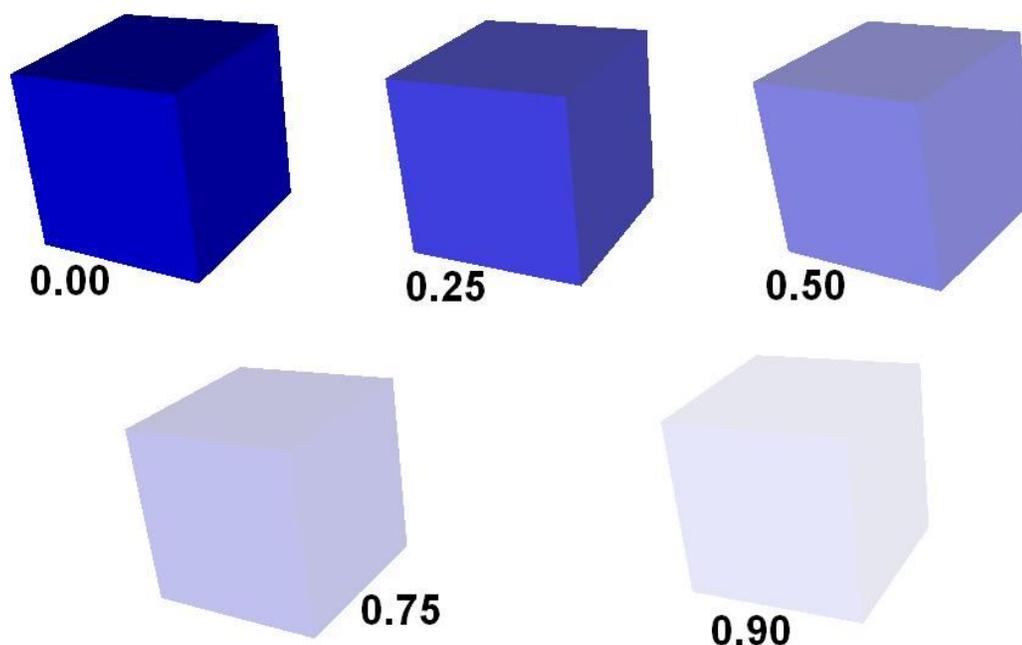


Figura 15 - Graus de transparências de um cubo que variou de 0.00 a 0.90

Além das medidas e a transparência, é possível alterar a cor do objeto. Todo objeto vem configurado com a cor azul assim que o programa é iniciado, mas o usuário poderá alterar essa condição. Se a cor desejada para a nova figura espacial for azul, vermelha, verde, preta ou branca, então elas poderão ser escolhidas diretamente no painel de cores (Figuras 14 e 16). Entretanto, se a cor pretendida for outra, o usuário poderá utilizar uma tabela com os valores RGB de 456 cores. Para acessar a tabela, clique no ícone colorido, logo abaixo da opção RGB. Se a combinação de cores fosse definida de acordo com o exemplo da Figura 16, o objeto virtual assumiria a cor *Aquamarine*, conforme indica a tabela RGB ao lado; as cores representadas na Figura 16 representam uma pequena parcela da tabela.

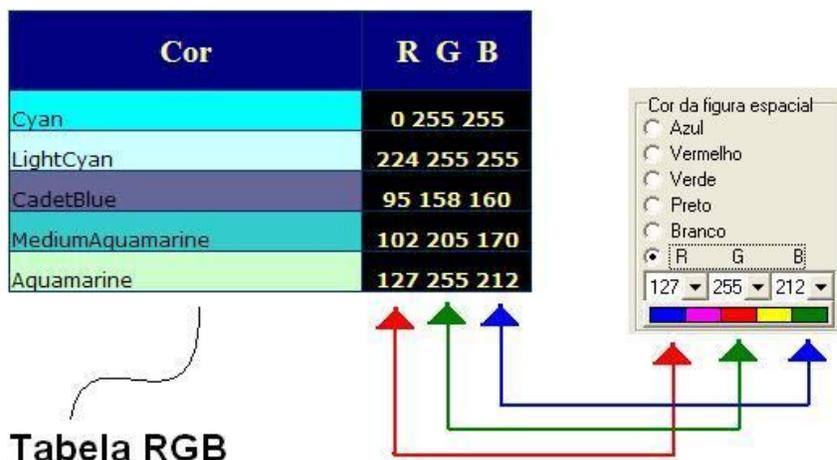


Figura 16 – Opção de 456 cores com o uso da tabela RGB

Finalmente, com medidas, transparência e cor definidas, já é possível modelar o objeto 3D. Para isso, existem dois botões: “Modelar sólido” e “Modelar aramado” (Figura 14). A Figura 17 ilustra a diferença entre os dois tipos. Note que o aramado é constituído somente por arestas, enquanto que uma figura sólida é totalmente preenchida.

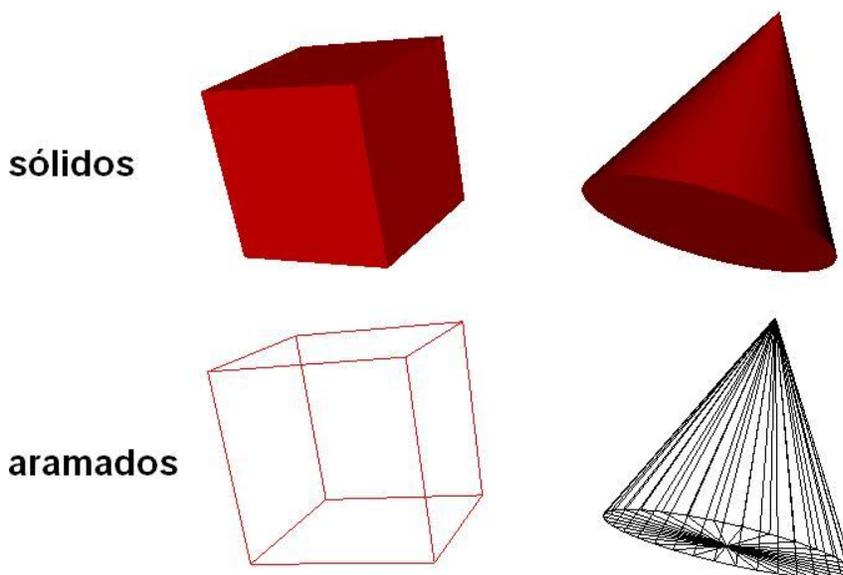


Figura 17 – Figuras espaciais sólidas e aramadas

Ao clicar numa das opções de modelagem, poderá ocorrer duas situações. Se ao iniciar o programa o usuário optou por “Sim” para a pergunta “Você já conhece o programa?”, então aparentemente nada ocorrerá, mas as figuras serão criadas e armazenadas. Caso contrário, ou seja, resposta “não” para a pergunta inicial, surgirá uma janela para avisar ao usuário que o objeto virtual foi criado e armazenado, dando-lhe maior conforto quanto às suas expectativas. Já para as demais modelagens após a

execução do programa, esse e outros avisos deixam de aparecer, uma vez que o sistema entende que o usuário já os conhece.

Após sua modelagem, o objeto poderá ser visualizado mediante duas formas: diretamente no navegador ou através do programa ARToolKit.

## 7.2 – VISUALIZAÇÃO DO OBJETO 3D ATRAVÉS DO NAVEGADOR

Após clicar no botão correspondente, a figura recém modelada será visualizada através do Internet Explorer, conforme Figura 18. A figura espacial observada na Figura 18 é a mesma modelada anteriormente, isto é, com as seguintes características:

Objeto: Cone  
 Medidas: Raio da base = 20,00  
           Altura do cone = 30,00  
 Transparência: 0.00  
 Cor: opção RGB com 127 para R, 255 para G e 212 para B.

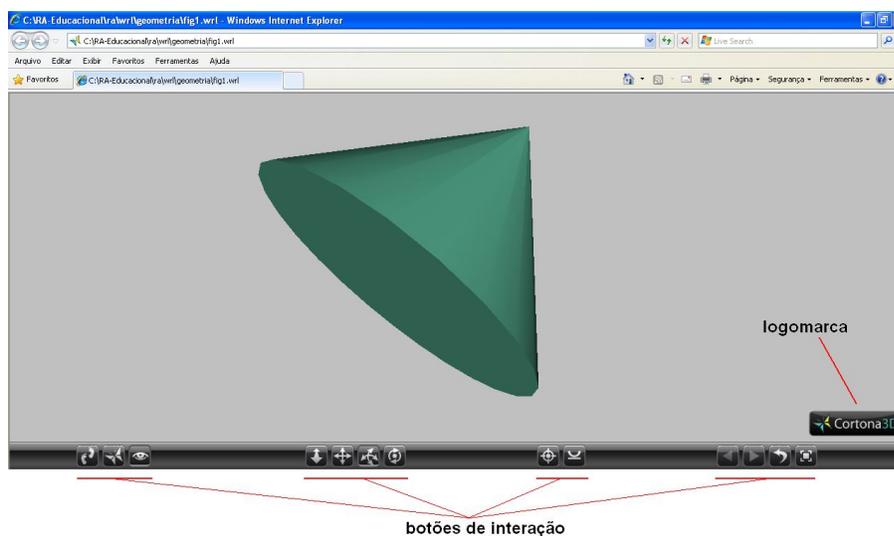


Figura 18 – Visualização de um cone através do Internet Explorer

Se a imagem do cubo não surgir no navegador, provavelmente o sistema operacional não possui um plugin instalado. Nesse caso, consulte o Capítulo 5 para saber como instalar o plugin Cortona VRML Client. Também é provável que a imagem seja bloqueada pelo navegador. Nesse caso, um texto na parte superior do programa lhe informará sobre essa situação. Se desejar desbloquear definitivamente todo conteúdo executado pelo RA-Educacional, preceda da seguinte maneira. Com o Internet Explorer aberto, clique em “Ferramentas”, seguido de “Opções da Internet”. Em “Avançadas”, entre na caixa “Configurações” e vá até a opção “Segurança”. Uma das permissões dessa opção é “Permitir que o conteúdo ativo seja executado em arquivos em Meu Computador”. Marque essa caixa, aceite as novas configurações e feche o Internet Explorer para que as novas alterações surtam efeito. Depois desse procedimento o Cortona 3D não será mais bloqueado pelo Internet Explorer.

O plugin Cortona 3D possui diversas funções para a manipulação de objetos e cenários 3D. Essas funções são acionadas por botões localizados na parte inferior da interface do Cortona 3D, conforme ilustra a Figura 18 (botões de interação).

De maneira geral, esses botões manipulam a visão que o usuário tem do cenário. Por exemplo, se o primeiro botão da esquerda (Walk) estiver selecionado, o usuário poderá utilizar o mouse para afastar ou se aproximar do objeto virtual, bastando, para isso, manter o botão esquerdo do mouse pressionado enquanto avança ou retrocede esse instrumento. Exceção dos quatro botões da direita, os demais são operados pelo clique e arraste do mouse.

Para maiores esclarecimentos quanto ao uso do Cortona VRML Client, o plugin possui um sistema de ajuda que pode ser acessado mediante clique com o botão direito do mouse na logomarca Cortona 3D, situada abaixo e a direita de sua interface (Figura 18). As configurações desse programa, assim como a sua Ajuda, estão escrito no idioma inglês. O plugin Cortona 3D já vem pré-configurado e apto para a maioria das aplicações.

### 7.3 – VISUALIZAÇÃO DO OBJETO 3D ATRAVÉS DO ARTOOLKIT

O programa ARToolKit pode ser executado diretamente do RA-Educacional através do botão Visualizar no ARToolKit. O arquivo executável encontra-se no diretório C:\RA-Educacional\ra\ARToolKit.exe, mas não é recomendável a sua manipulação, a menos que o usuário realmente saiba o que está fazendo.

Conforme mencionado no Capítulo 5 (Requisitos do RA-Educacional), o ARToolKit depende de marcadores para a visualização dos objetos. De posse do marcador, direcione-o para a webcam; para a montagem do marcador, consulte o Capítulo 5.2.

A Figura 19 corresponde a uma captura de tela (*PrintScreean*) da visualização do mesmo cone modelado conforme descrito em SIMULANDO A CRIAÇÃO DE UM CONE (Cap. 17.1).

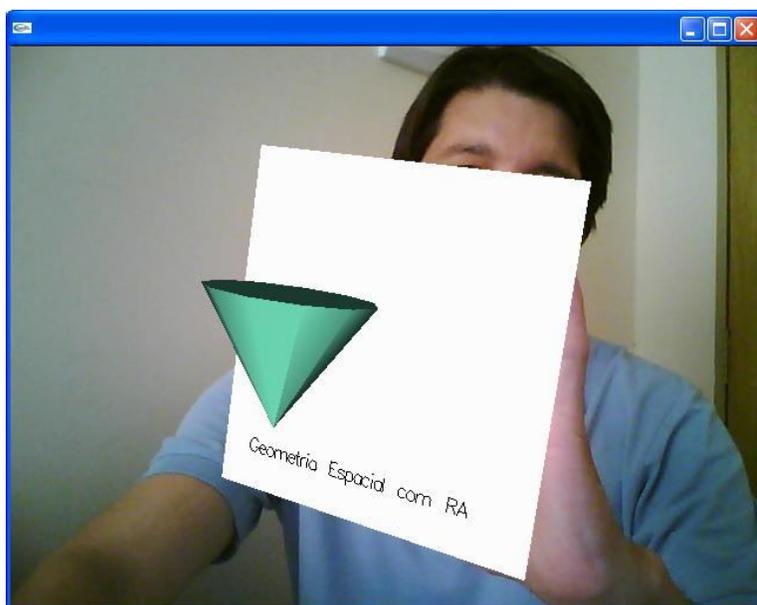


Figura 19 – Visualização de um cone através do ARToolKit

Para fechar o ARToolKit, basta clicar com o botão direito do mouse sobre qualquer ponto da tela responsável pela captura da imagem pela webcam, a mesma tela da Figura 19. O programa também pode ser fechado quando o RA-Educacional for encerrado.

Outra maneira de visualizar os objetos mediante o ARToolKit é por meio da janela Repositório (Figuras 12 e 14), cujo acesso é através do botão de mesmo nome. Essa função do programa é capaz de armazenar dez objetos virtuais.

No exemplo da Figura 20, sete objetos já foram modelados, sendo o último um paralelepípedo aramado de lados 10, 20 e 30. Além das medidas e o tipo de objeto, o programa arquiva o dia e a hora de sua criação. Mais a esquerda de cada objeto descrito, um pequeno desenho do respectivo objeto é ilustrado. Os desenhos têm a função de relatar de forma visual e breve a descrição dos objetos armazenados; as cores desses desenhos não correspondem às cores das figuras virtuais. A lista de objetos também tem a sua direita símbolos de compartilhado ou não. O último objeto, por exemplo, não está compartilhado e com isso não poderá ser visualizado na rede.



Figura 20 – Interface do Repositório de figuras virtuais

A interface Repositório também permite visualizar os objetos cadastrados através do navegador ou ARToolKit. Para isso, basta escolher o objeto desejado e clicar numa dessas opções. Se, durante a visualização de uma figura, o usuário desejar o acesso de outro objeto, basta seguir as instruções acima sem a necessidade de fechar o ARToolKit, pois o programa (RA-Educacional) faz isso de forma automática. Para encerrar as visualizações do ARToolKit e do Repositório, basta fechar esta última janela.

#### 7.4 – EXCLUSÃO DE OBJETOS 3D

Outra possibilidade dessa interface é a exclusão de objetos. Para excluir um objeto, clique no botão correspondente. Nesse caso, será excluído o último objeto

modelado, independentemente da seleção. Por exemplo, mesmo que o primeiro objeto esteja selecionado (Figura 20), o último é que será excluído (Figura 21).

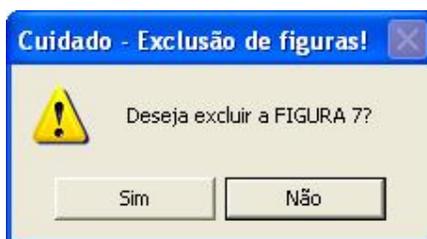


Figura 21 – Exclusão do último objeto da lista

Para a exclusão de todos os objetos armazenados, basta clicar no botão correspondente. Com isso, todo o processo de cadastramento de figuras espaciais será reiniciado. Tal procedimento deve ser realizado com cautela, uma vez que ocasiona a perda definitiva de todos os objetos (Figura 22). Assim, a partir da décima figura virtual, o sistema não conseguirá mais modelar, a menos que o usuário aceite apagar um ou mais objetos virtuais.

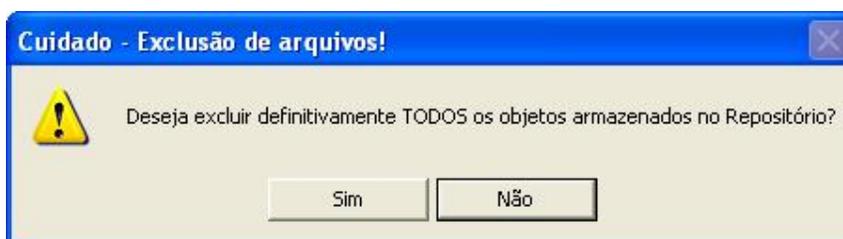


Figura 22 – Exclusão de todos os objetos da lista

Ao optar por Sim (Figura 22), o usuário assume a condição de zerar o Repositório, dando início à possibilidade de modelar outros dez objetos.

Uma vez esgotada a capacidade de armazenar figuras, e caso o usuário tente modelar mais objetos, receberá uma tela de aviso alertando-o dessa situação (Figura 23).

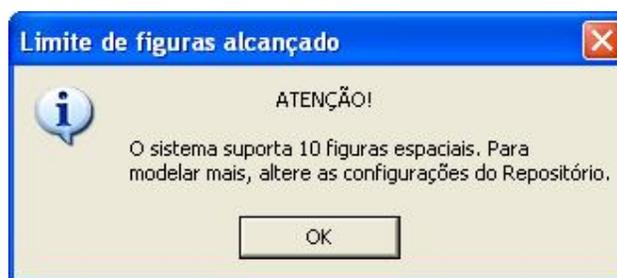


Figura 23 – Alerta informativo sobre o limite de objetos atingido

## REFERÊNCIAS

**ARTOOLKIT** <<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>>. Acesso em: 19/10/2009.

**BAJURA, M. NEUMANN, U.** Dynamic Registration Correction in Video-based Augmented Reality Systems In: Computer Graphics and Applications, IEEE Volume 15, Issue 5, Sep 1995, Pages: 52–60, 1995.

**BLENDER** Home Page. <http://www.blender.com.br/>. Acesso em 21/12/2009.

**CORTONA 3D** Home Page. <http://www.cortona3d.com/Products/Cortona-3D-Viewer.aspx>>. Acesso em: 11/09/2009.

**CORTONA 3D** Home Page. <<http://www.cortona3d.com/install/win.php>>. Acesso em: 11/09/2009.

**MAGIC BOOCK.** Imagens disponíveis em: <[http://www.hitlabnz.org/route.php?r=prj-view&prj\\_id=1](http://www.hitlabnz.org/route.php?r=prj-view&prj_id=1)> e <http://www.bostoneyberarts.org/archives/fest2001/photos2001a.html>  
Acesso em 25/10/2009.

**OLIVEIRA, F.; KIRNER, C.** Projeto LIRA – Livro Interativo com Realidade Aumentada. In: WARV'05 - Workshop de Aplicações de Realidade Virtual, 2005, Uberlândia. Anais do WARV'05, 2005. v. 01.

**SANTIN, R.** et al. “Ações Interativas em Ambientes de Realidade Aumentada com ARToolkit”, VII Symposium on Virtual Reality, SBC, 2004, p.161-168.

**REALIDADE AUMENTADA.** <<http://www.realidadeaumentada.com.br>>. Acesso em: 19/12/2009.

**REALIDADE VIRTUAL** Home Page. <<http://www.realidadevirtual.com.br>>. Acesso em: 19/12/2009.

**VIVATY STUDIO** Home Page. <http://developer.vivaty.com/>. Acesso em 21/12/2009.

**VRMLPAD** Home Page. <http://www.parallelgraphics.com/products/vrmlpad/>. Acesso em 23/12/2009.

## APÊNDICE 2 – MENSAGENS TIPO ‘MESSAGEBOX’ DO RA-EDUCACIONAL

O programa disponibiliza 21 mensagens entre suas diferentes interfaces. Parte delas tem caráter informativo, normalmente sobre alguma funcionalidade do programa. Outro grupo são mensagens de retorno causado por erros ou falhas no sistema, sendo a maior parte consequência de problemas com as conexões remotas. Algumas são interrogativas, isto é, depende da ação do usuário para que o programa tome este ou aquele curso. A Figura abaixo mostra um exemplo de cada tipo de mensagem e na página seguinte todas as mensagens são descritas, organizadas e divididas de acordo à interface que pertencem.



## 1. INTERFACE PRINCIPAL DO PROGRAMA

Título da janela	Texto informativo
RA-Educacional	Se preferir orientações durante a execução do programa, clique em Sim.
Arquivo não encontrado	Vídeo não encontrado. Para baixá-lo, acesse o menu Ajuda --> Vídeo do RA-Educacional --> Fazer o download
Figuras 3D encontradas	O programa salvou uma ou mais figuras espaciais desde a última vez que foi utilizado. Clique em Repositório par acessar esses objetos.

## 2. APLICAÇÃO DE FÍSICA

Título da janela	Texto informativo
Erro ao entrar com os valores!	Valores inválidos. O sistema aceita somente números e "," como separador decimal.

## 3. APLICAÇÃO DE GEOMETRIA ESPACIAL

### 3.1 INTERFACE MODELAGEM DE FIGURAS 3D

Título da janela	Texto informativo
Autorização para compartilhamento	Deseja compartilhar o objeto 3D com outros usuários da rede?
Autorização para alterações no objeto	Usuários remotos poderão alterar este objeto?
Configuração do objeto 3D	Entre com as medidas, a cor e a transparência da figura 3D. Em seguida, escolha uma opção para modelar o objeto (sólido o aramado).
Visualização de figuras espaciais	A figura geométrica foi criada e armazenada. Para visualizar este e outros objetos, clique numa das opções "Visualizar no navegador" ou "ARToolKit" ou utilize o Repositório.
Visualização de figuras espaciais no Internet Explorer	Alguns objetos 3D se tornam grandes ou pequenos o suficiente para impedir a imediata visualização no Internet Explorer. Se isso ocorrer, utilize o botão "Fit" localizado no canto inferior direito do Internet Explorer.

Visualização de figuras espaciais no ARToolKit	Para confirmar a execução do programa ARToolKit, aceite com um "OK" a próxima janela que se abrirá na sequência (Propriedades de Property Sheet). Após visualizar o objeto 3D, o ARToolKit poderá ser fechado mediante clique com o botão direito do mouse sobre qualquer região de sua janela (webcam).
Alcançado o limite de objetos!	O banco de figuras espaciais atingiu o limite de 10 objetos. Para modelar mais, altere as configurações do Repositório.

### 3.2 INTERFACE REPOSITÓRIO

Título da janela	Texto informativo
Erro ao selecionar uma figura	O campo não possui figura 3D para visualização no navegador (browser).
Erro ao selecionar uma figura	O campo não possui figura 3D para visualização no ARToolKit.
Atenção - Exclusão de figura?	Deseja excluir a figura 'x'?
Atenção - Exclusão de figuras?	Deseja excluir TODAS as figuras do Repositório?

### 3.3 INTERFACE COMPARTILHAMENTO REMOTO

Título da janela	Texto informativo
Problema com a conexão!	Ocorreu um desses 3 problemas: 1- Você não tem permissão para acessar o usuário remoto; 2- O usuário remoto não possui o RA-Educacional instalado em seu sistema; 3- O usuário foi desconectado da rede recentemente.
Erro ao selecionar figura!	O campo não possui uma figura 3D para visualização ou o objeto não está mais compartilhado. Tente mapear a rede para atualizar as figuras deste usuário.
Atenção - Alteração de cor	A cor atual será inicialmente substituída por branca e na sequência poderá ser alterada. Deseja continuar?
Atenção	Figura não autorizada para modificações ou não compartilhada.
Atenção	Entre com o nome do computador remoto e clique em conectar.
Atenção	Dependendo das condições da rede, a conexão pode tardar segundos ou mesmo minutos.