

Gruta Digital: um Ambiente de Realidade Virtual Imersivo Itinerante para Aplicações Educacionais

Irene Karaguilla Ficheman¹, Aurélio Antonio Mendes Nogueira^{1,2},
Marcio Calixto Cabral¹, Breno Teixeira Santos¹, Ana Grasielle Dionísio Corrêa¹
Marcelo Knörich Zuffo¹, Roseli de Deus Lopes¹

¹ Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) – Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo (USP)
Avenida Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, nº. 158 – 05508-970 – São Paulo – Brazil

² Escola de Belas Artes (EBA) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro – Brasil

{irene, aurelio, mcabral, brsantos, anagrasi, [mkzuffo,](mailto:mkzuffo@lsi.usp.br)
[roseli](mailto:roseli@lsi.usp.br)}@lsi.usp.br

Abstract. *This paper describes an itinerant space that shelters a Virtual Learning Environment, called Gruta Digital. The environment makes use of an advanced interface between a user and a computational system, allowing the real sensation to be inside a computer generated virtual world. The Gruta Digital can be transported and installed in an educational institution in order to enlarge its educational activities. The objective is to contribute to the improvement of the quality of education, through the implantation of innovative technological solutions in the schools. In this space three educational applications are projected: a virtual tour for the city of Rio de Janeiro, a virtual planetarium and a molecular visualization.*

Keys-words: *Virtual Reality, Virtual Learning Environment, Education, Stereoscopy.*

Resumo. *Este artigo descreve um espaço itinerante que abriga um Ambiente Virtual de aprendizagem, denominado Gruta Digital. O ambiente faz uso de uma interface avançada entre o usuário e um sistema computacional, permitindo a sensação real de estar dentro do mundo virtual gerado por computador. A Gruta Digital pode ser transportada até as instituições de ensino da rede pública a fim de potencializar suas atividades educacionais. O objetivo é contribuir para a melhoria da qualidade do ensino, através da implantação de soluções tecnológicas inovadoras nas escolas. Neste espaço são projetadas três aplicações educacionais: um passeio virtual pela cidade do Rio de Janeiro, um planetário virtual e uma visualização molecular.*

Palavras-chave: *Realidade Virtual, Ambiente Virtual de Aprendizagem, Educação, Estereoscopia.*

1. Introdução

A utilização das novas tecnologias para criação de ambientes que proporcionem melhores condições para a aquisição e construção do conhecimento tem trazido mudanças fundamentais aos métodos de trabalho, tanto na indústria como em pesquisa e desenvolvimento. Entre as novas tecnologias está a Realidade Virtual. O uso desta tecnologia vem se difundindo também de forma muito rápida na Educação. A possibilidade de criação e visualização de imagens estereoscópicas e a manipulação interativa de modelos virtuais, através do computador, permitem às instituições de ensino realizar experiências para além das convencionais “salas de aula”. Esta expansão tecnológica impulsiona a Educação para novos rumos, enfatizando a utilização de novas ferramentas e propiciando uma evolução no processo de ensino-aprendizagem [Ferreira 2004].

A Realidade Virtual (RV) possui um conceito vasto e compreende três principais áreas: visualização, computação de alto desempenho e transmissão de dados em alta velocidade. Alguns autores tentam listar elementos-chave de RV, tais como imersão (sensação de estar dentro de um ambiente virtual), interatividade (o ambiente deve reagir de acordo com a interação do usuário) e envolvimento (grau de engajamento do usuário em uma determinada aplicação) [Sherman e Craig 2003]. Outros autores descrevem a RV como sendo uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode navegar e interagir em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, estando completa ou parcialmente presente ou imerso pela sensação gerada por canais multi-sensoriais (visão, audição e tato) [Zuffo 2001a].

A rápida expansão da RV motivou os pesquisadores do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da USP a construir um sistema denominado Caverna Digital [Zuffo 2001b]. Trata-se de um complexo sistema de RV de alta resolução que possibilita ao usuário interagir num mundo sintético tridimensional completamente simulado por computadores. Neste tipo de sistema a interatividade é alta, por ser constituído de cinco telas que formam um cubo por onde são projetadas as imagens estereoscópicas, além de fazer uso de interfaces que estimulam o som e o tato [Zuffo 2001a].

Apesar da inserção tecnológica em quase todas as áreas do conhecimento, a Caverna Digital ainda é pouco acessível por entidades educacionais, pois as dificuldades de implementação ocorrem devido ao alto custo, que ainda é determinante. Infelizmente, a tecnologia de *hardware* e *software* ideal para este tipo de função ainda é dispendioso e apenas grandes instituições a possuem. Isto motivou a criação de uma Gruta Digital itinerante, de baixo custo, sistema baseado em Caverna Digital, para ser transportada até as instituições de ensino desfavorecidas deste tipo de tecnologia. A Gruta Digital possui uma tela de 5 metros de largura por 4 metros de altura para projeções das imagens, amplificadores de áudio e óculos para visualização de imagens estereoscópicas.

Dentro desta perspectiva, foram criadas aplicações de RV para atividades que ocorrem no cotidiano das escolas do mundo real. Estas aplicações possibilitam conduzir atividades em ambientes imaginários ou que representem abstrações possíveis do mundo real, tais como a exploração do interior de uma célula ou um passeio virtual pelo Rio de Janeiro. Este espaço interativo foi criado para elevar a qualidade do ensino

favorecendo no estímulo de alunos e professores da rede pública de ensino que geralmente não dispõe de recursos que lhes permitam explorar o conhecimento de forma atrativa e criativa.

2. Realidade Virtual na Educação

Segundo Paulo Freire “*aprender é uma descoberta do novo, com abertura ao risco, à aventura e a novas experiências, pois ensinando se aprende e aprendendo se ensina*” [FREIRE, 1997]. Portanto, a Educação pode ser vista como um processo de descoberta, exploração e de observação, além de eterna construção do conhecimento. Diante disso, a Realidade Virtual pode transformar o processo de ensino-aprendizagem num instrumento versátil e de grande eficácia. Como em muitos outros domínios, inovação não significa, necessariamente, substituição do antigo pelo novo e a Realidade Virtual, como nova forma de comunicação, não irá substituir as tecnologias já existentes, mas sim, complementá-las [Campos e Sampaio 2005].

A Realidade Virtual permite extrapolar os limites espaço-tempo, possibilitando, por exemplo, a exploração virtual de lugares que sejam muito pequenos para se explorar na vida real, como em expedições arqueológicas em cavernas repletas de labirintos e túneis estreitos, ou lugares de extensão muito grande para que sejam visualizados como um todo, por exemplo, percorrer toda a Muralha da China. Outra possibilidade é a visitação à lugares distantes geograficamente, ou até mesmo de tempos passados, onde a Realidade Virtual pode agir como uma espécie de “máquina do tempo”, permitindo, por exemplo, uma visualização de determinados eventos históricos [Dainese et al 2003].

Segundo Vendruscolo et al, (2005), o uso da Realidade Virtual na Educação é uma boa alternativa para o ensino, pois expande os processos normais de aprendizado, onde a criança é encorajada a participar de um processo criativo e divertido, explorando assuntos que nos métodos tradicionais levaria mais tempo para ser ensinado.

No ensino formal, realizada em escolas ou empresas, na formação contínua, no ensino presencial ou a distância, os sistemas de Realidade Virtual podem constituir a forma mais adequada de transmitir conteúdos, adaptando-se às características específicas do tipo de ensino em que se inserem. Segundo Pinho e Kirner (2001) existem diversas razões para se usar a Realidade Virtual na Educação:

- Possibilitar maior motivação dos estudantes, pois apresenta novas formas de visualização dos conteúdos de aprendizagem;
- O poder de ilustração da Realidade Virtual para alguns processos e objetos é muito maior do que outras mídias;
- Promover uma análise da realidade visualizada sob diferentes ângulos;
- Permitir a visualização e exploração de lugares inexistentes ou de difícil acesso;
- Extrapolar o limite de aprendizagem, normalmente restrito ao período regular de aula, possibilitando a realização de atividades educacionais em outros locais e horários ou através da Internet;
- Oferecer muitas possibilidades para estudantes portadores de deficiências, que não conseguiriam realizar determinadas atividades da forma convencional;

- Promover a aprendizagem cooperativa, no momento em que os ambientes virtuais podem ser concebidos de forma a estimular a aprendizagem compartilhada;
- Permitir que haja interação estimulando a participação ativa do estudante.

Estas possibilidades motivaram a criação da Gruta Digital, um ambiente de ensino-aprendizagem itinerante, de baixo custo, para aplicações educacionais baseadas em Realidade Virtual. Este ambiente visa disponibilizar uma nova forma de apoiar a construção do conhecimento trabalhado em sala de aula, causando reações de curiosidade pelas possibilidades que representa, podendo ser associada à fantasia e à imaginação, revolucionando os conceitos tradicionais de ensino-aprendizagem.

3. Estereoscopia

A evolução das tecnologias de áudio permite relacionar facilmente estéreo ao som. Canais de áudio ligados a caixas de som fazem chegar até os ouvidos sons ligeiramente diferentes. Estes sons são processados pelo cérebro, provendo uma sensação de imersão no ambiente onde os sons foram originados [Siscoutto et al 2004].

Esta tecnologia de som estéreo também pode ser estendida ao visual. Os animais, em específico os seres humanos, são dotados de dois olhos que enxergam o mundo de forma diferente, pois estes estão separados por uma distância. Isto pode ser observado através de um experimento simples: basta alinhar o polegar da mão esquerda com uma bandeirinha e o nariz, focando a visão no dedo. Pode-se notar a bandeirinha como sendo duas, uma para cada olho (fechando um olho e abrindo o outro e em seguida invertendo), conforme ilustrado na Figura 1 (a). Por outro lado, ao convergir a visão para a bandeirinha, a visão que se obtém com os dois olhos abertos é mostrada na Figura 1 (b), onde o polegar agora é visto como sendo dois [Siscoutto et al, 2004].

Estas diferenças entre imagens geradas pelos olhos direito e esquerdo são processadas pelo cérebro provendo uma noção de profundidade e, com isto, tem-se a idéia de imersão em um ambiente com objetos posicionados a distâncias diferentes.

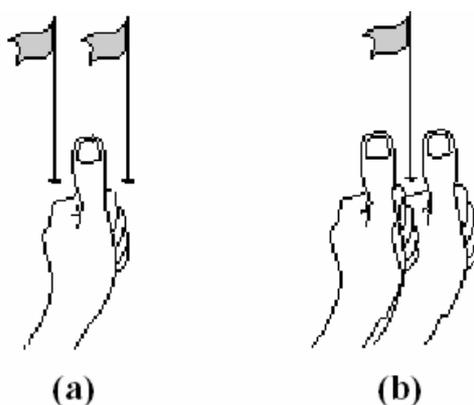


Figura 1. (a) olhos convergidos para o polegar: a bandeirinha é vista como dupla imagem. (b) olhos convergidos para a bandeirinha: o polegar é visto como dupla imagem [Siscoutto et al 2004].

Em computação gráfica, normalmente são geradas imagens mono, isto é, a partir de uma única câmera virtual, e estas imagens são visualizadas por um monitor ou projetadas em um plano. A estereoscopia visual, ao contrário, é feita a partir da geração de duas imagens, a partir das localizações das câmeras virtuais separadas de uma determinada distância [Siscoutto et al 2004]. Portanto, a estereoscopia está relacionada à capacidade de enxergar em três dimensões. O princípio de funcionamento da maioria dos dispositivos estereoscópicos é o oferecimento de imagens distintas aos olhos esquerdo e direito do observador, proporcionando sensação de profundidade, tal como quando se observa um objeto real.

A Gruta Digital faz uso deste princípio de estereoscopia, ou seja, proporciona ao usuário a sensação de estar imerso em um mundo virtual simulado por computador, através de imagens estereoscópicas que são projetadas em sua tela de projeção. A Gruta Digital dispõe de óculos especiais para visualização das imagens estereoscópicas fazendo com que o usuário perceba a profundidade dos objetos.

4. A Gruta Digital

A Gruta Digital é um espaço móvel criado para ser transportado até as instituições de ensino para potencializar suas atividades educacionais. Consiste em um Ambiente Virtual de aprendizagem que faz uso de uma interface avançada entre o usuário e um sistema computacional, permitindo a sensação real de estar dentro do mundo virtual gerado por computador. O objetivo é contribuir para a melhoria da qualidade do ensino, através da implantação de soluções tecnológicas inovadoras nas escolas.

A Gruta Digital é uma das atividades do Parque de Ciência e Tecnologia (Parque CienTec) da Universidade de São Paulo. O objetivo do Parque CienTec é agregar grupos de pesquisa científica, tecnológica e da cultura contemporânea de forma abrangente e interdisciplinar, visando à disseminação de conhecimento da ciência e tecnologia num espaço dinâmico de lazer e preservação ambiental [Mantovani e Massambani 2005].

A Gruta Digital foi projetada baseada no conhecimento adquirido durante o projeto de desenvolvimento da Caverna Digital pertencente ao Núcleo de Realidade Virtual do LSI, vinculado à Escola Politécnica da USP [Soares et al 2005]. A Caverna Digital faz uso de computadores interligados por um sistema de alta velocidade. Segundo Marcelo Zuffo, *“O resultado é um desempenho equivalente aos supercomputadores, utilizados pelos EUA e Europa, em seus sistemas de Realidade Virtual imersivos, porém, com um custo até vinte vezes menor”* [Zuffo 2001b].



Figure 2. Gruta Digital instalada no Parque Cientec

Localizada no Parque Cientec, a Gruta Digital ilustrada na Figura 2, foi montada sob uma tenda de 8 metros de largura por 6 metros de altura por 4,5 de comprimento atendendo aproximadamente 25 pessoas em seu espaço. Possui acesso único em uma de suas laterais com infra-estrutura de segurança e conforto para seus usuários e ainda conta com um sistema contra incêndio, luz de serviço e de emergência. Dentro da Gruta existe uma tela para projeção das aplicações. A sensação de tridimensionalidade resulta da combinação entre a projeção das imagens estereoscópicas na tela, sons e o uso de óculos especiais para visualização estereoscópica que provocam a sensação de imersão. A seguir são especificados os equipamentos tecnológicos que compõe a Gruta Digital:

- Dois projetores com resolução de 1024 por 768 pixels;
- Uma tela de 5 metros de comprimento por 4 metros de largura a uma distância de tiro de 9 metros, flexível para projeções frontais estereoscópicas;
- Um computador monoprocessado, placa mãe com slot AGP 8X e rede onboard de 1 Gb, processador Pentium IV 2.8GHz, 1.0 Gb de memória RAM e 80 Gb de disco rígido, CD-ROM;
- Uma placa gráfica com chipset Nvidia, 256 bits, 128 Mb de memória de vídeo, suporte a estereoscopia;
- Um Joystick USB;
- 40 óculos 3D de plástico rígido;
- Duas caixas acústicas;
- Um subwoofer;
- Um amplificador de áudio;
- Periféricos: mouse e teclado;
- Um monitor de 17’’;
- Um nobreak;

Assim como na Caverna Digital, as aplicações da Gruta Digital também podem estender-se por diversas áreas como em telemedicina, engenharias (naval, oceânica, mecânica, civil, automobilística e eletrônica), medicina (simulações cirúrgicas e estudos em anatomia), ciências básicas (astronomia, astrofísica, biologia e química), pedagogia (jogos interativos educativos), arquitetura (maquetes virtuais), entretenimento, histórias, além de estudos em imagens de alta-resolução.

A Gruta Digital é um exemplo de que é possível instalar, em qualquer lugar do Brasil, uma solução de baixo custo e portátil, que utiliza a tecnologia a fins educacionais. Espera-se que o ambiente seja visto pelos alunos como uma extensão da sala de aula, onde podem revisar os conteúdos aprendidos de forma interativa e intrigante. Até o momento, encontram-se implantadas três aplicações educacionais na Gruta Digital, são elas:

- Passeio Virtual sobre o Rio de Janeiro, voltada ao ensino de Artes e Meio ambiente, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs);

- Planetário Virtual, voltado ao ensino de Ciências Naturais, “Terra e Universo” segundo os PCNs;
- Visualização Científica Molecular, o tema em questão nesta aplicação, a Genética, é enquadrado pelos PCNs no eixo “Ser humano e Saúde”.

5. Aplicações Educacionais Desenvolvidas

Esta sessão apresenta uma breve descrição de três aplicações desenvolvidas pelo grupo de pesquisadores da Caverna Digital da USP [Soares et al 2005] que estão sendo apresentadas na Gruta Digital, atualmente localizada no Parque Cientec.

Os aplicativos foram previamente elaborados atendendo uma metodologia de pesquisa nas diferentes áreas de conhecimento. Durante as apresentações na Gruta Digital, os alunos interagem com monitores preparados para explicar os temas abordados contribuindo para a difusão da aquisição e construção do conhecimento na área de Ciências.

5.1 Passeio Virtual sobre o Rio de Janeiro

O Rio de Janeiro é famoso por diversos locais turísticos, como por exemplo, o Corcovado e o Pão de Açúcar. Através do uso da Realidade Virtual, foi possível criar uma aplicação que simula um passeio virtual aéreo pela cidade do Rio de Janeiro permitindo visitar os pontos turísticos mais tradicionais. A Figura 3 mostra dois exemplos de pontos turísticos da cidade do Rio de Janeiro modelado em 3D.

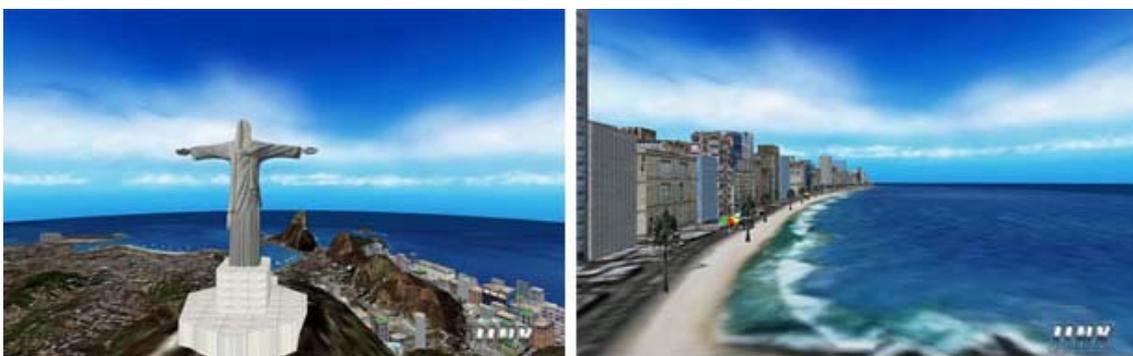


Figure 3. Modelagem tridimensional do Rio de Janeiro [Soares et al 2004].

Para completar a sensação de imersão, as imagens que compõe o modelo 3D foram transformadas em imagens estereoscópicas com o intuito de proporcionar ao usuário um maior grau de realismo. Ao visualizar as imagens com o auxílio de um óculos estereoscópico, pode-se perceber a profundidade, volume, distância e tamanho dos objetos virtuais [Soares et al 2004].

A Gruta Digital disponibiliza vários óculos especiais para visualização das imagens estereoscópicas (Figura 4), além de sons dispostos em locais específicos dentro da Gruta para proporcionar maior sensação de realidade.



Figure 4. Passeio virtual sobre o Rio de Janeiro [Soares et al 2004].

Esta aplicação está voltada para o ensino nas áreas de História e Geografia, assim como também para Temas Transversais, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).

5.2 Planetário Virtual

O Celestia é uma aplicação educacional de simulação espacial, em tempo real, que permite experimentar o universo em três dimensões. O programa explora o sistema solar, e mais de 100.000 estrelas de diversas galáxias.

Pesquisadores do LSI criaram uma nova versão do Celestia, denominado Planetário Virtual [Guimarães 2004]. As imagens da aplicação Celestia foram transformadas em imagens estereoscópicas para proporcionar ao usuário noções de profundidade, volume, distância e tamanho dos objetos virtuais. Através de óculos especiais para visualização das imagens estereoscópicas é possível a sensação de imersão no sistema solar possibilitando uma divertida missão de reconhecimento dos planetas e estrelas que compõe o Universo. A Figura 5 mostra a aplicação Planetário Virtual na Gruta Digital. Segundo o PCN, esta aplicação está voltada para o ensino nas áreas de Física e Astronomia.



Figure 5. Planetário Virtual.

5.3 Visualização Científica Molecular

Visualização científica é o uso da computação gráfica na criação de imagens que ajudem na compreensão de representações numéricas provenientes de conceitos físicos ou resultados experimentais [Battaiola e Soares 1998]. O grande impacto da tecnologia de RV na visualização molecular é no fornecimento de uma interface em

tempo-real para a exploração de dados enquanto facilita o processo de pesquisa e investigação.

A visualização molecular pode ser utilizada no estudo de estruturas terciárias do DNA, acoplamento de proteínas no desenvolvimento de formações e, até mesmo, no desenvolvimento de nano estruturas protéicas ou nucleotídicas [Anderson e Weng 1999]. Segundo o PCN, esta aplicação está voltada para o ensino nas áreas de Biologia.

A visualização científica é voltada à representação informativa de quantias e conceitos abstratos, não uma tentativa de representação verídica de objetos do mundo real. Considerando a representação de um fenômeno abstrato, através da RV, um pesquisador pode realizar investigações difíceis ou sem sentido no mundo real. A Figura 6 mostra um exemplo da aplicação Visualização Científica Molecular.

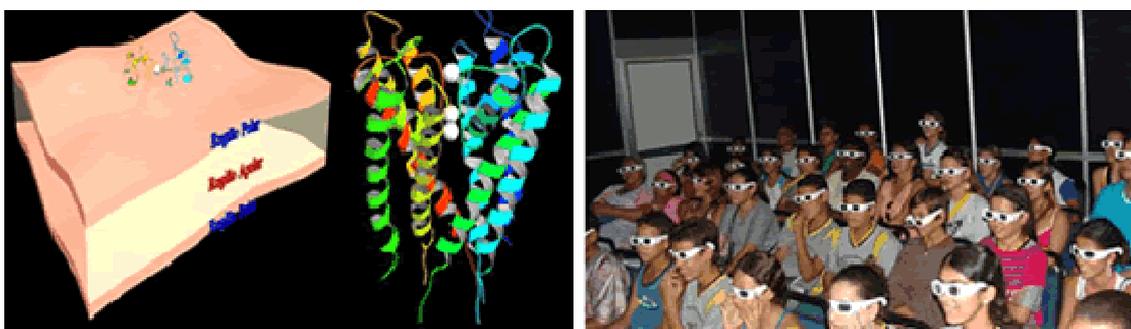


Figure 6. Visualização Científica Molecular.

6. Considerações Finais e Propostas para Trabalhos Futuros

Este artigo teve como objetivo apresentar uma Gruta Digital itinerante, de baixo custo, um sistema baseado em Caverna Digital, para ser transportado até as instituições de ensino que geralmente não dispõe de recursos que lhes permitam explorar o conhecimento de forma atrativa e criativa.

A utilização da Realidade Virtual num contexto educativo pressupõe uma concepção de ensino diferente da tradicional e a criação de mundos virtuais coloca, à disposição de educadores e alunos, uma nova ferramenta, auxiliando a delinear um novo paradigma na área da comunicação educacional. Aproveitando este potencial que a Realidade Virtual pode trazer para a Educação, espera-se que a Gruta Digital possa proporcionar a expansão dos processos normais de aprendizado, onde a criança é encorajada a participar de um processo criativo e imaginário, explorando assuntos comumente trabalhados com métodos tradicionais na sala de aula.

Futuramente, pretende-se desenvolver outras aplicações para a Gruta Digital, como por exemplo, uma versão do Passeio Virtual na cidade de São Paulo. Algumas aplicações já estão em desenvolvimento, como por exemplo, um passeio pelo mundo virtual inspirado nas obras da pintora Tarsila do Amaral.

Referências

Anderson, A.; e Weng, Z. (1999) “VRDD: Applying virtual reality visualization to protein docking and design”. *Journal of Molecular Graphics and Modelling* vol 17.

- Battaiola, A. L.; Soares, L. P. (1998) “Estudo e Uso Exploratório de Ferramentas de Visualização Científica”. In *Anais da VII Semana de Informatica da UFBA*.
- Campos, A. A. S.; Sampaio, F. F. (2005) “Uma Aplicação de Realidade Virtual não Imersiva no Ensino de Astronomia”. XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Juiz de Fora-MG.
- Dainese, C. A.; et al. (2003) “Sistema de Realidade Aumentada para Desenvolvimento Cognitivo da Criança Surda”. In: *Anais do 6th SBC Symposium on Virtual Reality*, Ribeirão Preto, Brasil, 273-282.
- Ferreira, L. F. (2004) “Usando Objetos educacionais baseados em Realidade Virtual em ambientes de apoio a construção de conhecimento e aprendizagem de técnicas videocirúrgicas”. *CINTED Novas Tecnologias na Educação*. Vol2, Nº 1, UFRG.
- Freire P. (1997) “Saberes Necessários à Prática Educativa”. Ed. Paz e Terra, São Paulo.
- Guimarães, M. P; (2004) “Um Ambiente para o Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual baseada em Aglomerados Gráficos”. Tese apresentada à Escola Politécnica de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.
- Mantovani, M. S. M; Massambani, O. (2005) “Parque Cientec: Parque de Ciência e Tecnologia da USP”. Ed. USP, 174 p.
- Pinho, M. S.; Kirner, C. (2001). “Uma Introdução à Realidade Virtual”. Disponível em: <http://grv.inf.pucrs.br/Pagina/TutRV/tutrv.htm>. Acesso em 20 de julho de 2006.
- Sherman, W. R.; Craig, A. B., (2003) “Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design”. Morgan Kaufmann, 1ª ed. 582p.
- Siscoutto, R. A.; Szenberg, F.; Tori, R.; Raposo, A. B; Celes, W.; Gattass, M. (2004) “Estereoscopia”. In: Kirner, C.; Tori, R. (eds). “Realidade Virtual: Conceitos e Tendências”. Livro do Pré-Simpósio 2004. Cap. 11, p179-201. Ed. Mania de Livro, São Paulo.
- Soares, L.; Nomura, L.; Cabral, M.; Dulley, L.; Guimarães, M.; Lopes, R.; Zuffo, M. K. (2004) “Virtual Hang-glider over Rio de Janeiro”. In *IEEE Virtual Reality 2004 Workshop “Virtual Reality for Public Consumption”*, IEEE VR, 112-115.
- Soares, L.; Nomura, L.; Cabral, M.; Dulley, L.; Pereira, A. R.; Lopes, R.; Zuffo, M. K. (2005). “Lab Presentation of Laboratory of Integrated Systems – LSI”. In *IEEE Virtual Reality. Lab Presentation*, IEEE VR.
- Vendruscolo, F.; Dias, J. A.; Bernardi, G.; Cassal, M. L (2005) “Escola Tri-Legal – um Ambiente Virtual como Ferramenta de Apoio ao Ensino Fundamental através de Jogos Educacionais”. *Colabor@ - Revista digital da CVA-RICESU*, Vol 3, nº9.
- Zuffo, M. K. (2001a) “A Convergência da Realidade Virtual e Internet Avançada em Novos Paradigmas de TV Digital Interativa”, 91p. Tese de Livre Docência - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - São Paulo.
- Zuffo. M. K.; et al. (2001b) “CAVERNA Digital: Sistema de Multiprojeções Estereoscópico Baseado em Aglomerado de PCs para Aplicações Imersivas em Realidade Virtual”. *IV Simpósio de Realidade Virtual*. Florianópolis-SC.