

Tiago Martinuzzi Buriol

**CONVERGÊNCIA DE *GAMES* E REALIDADE VIRTUAL
PARA TREINAMENTO DE MANUTENÇÃO EM REDES DE
ENERGIA EM LINHA VIVA**

Curitiba

2011

Tiago Martinuzzi Buriol

**CONVERGÊNCIA DE *GAMES* E REALIDADE VIRTUAL
PARA TREINAMENTO DE MANUTENÇÃO EM REDES DE
ENERGIA EM LINHA VIVA**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Klaus de Geus
Co-Orientador: Dr. Sérgio Scheer


**Curitiba
2011**

TERMO DE APROVAÇÃO

Tiago Martinuzzi Buriol

“Convergência de Games e Realidade Virtual para Treinamento de Manutenção em Redes de Energia Em Linha Viva.”

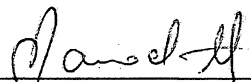
Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de Concentração em Mecânica Computacional, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca Examinadora:



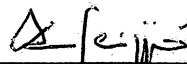
Prof. Klaus de Geus, Ph. D
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos
em Engenharia - PPGMNE da UFPR



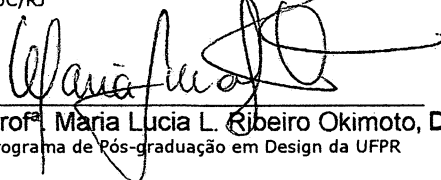
Profª. Cintia Obladen de Freitas, Dr.
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC/PR



Prof. Manoel Theodoro Fagundes Cunha, D. Sc.
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos
em Engenharia - PPGMNE da UFPR



Prof. Bruno Peijó, Ph. D
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro –
PUC/RJ



Profª. Maria Lucia L. Ribeiro Okimoto, Dr.
Programa de Pós-graduação em Design da UFPR



Prof. Sérgio Scheer, D. Sc.
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos
em Engenharia - PPGMNE da UFPR

“A simplicidade é o último grau de sofisticação.”

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Mariana, minha esposa e companheira, que desde quando a conheci esteve ao meu lado, tanto nos momentos difíceis e quanto nos felizes momentos de celebração pelas nossas conquistas.

Agradeço ao meu filhinho Artur, que pacientemente me cedeu muitas horas, incluindo sábados e domingos para que eu pudesse trabalhar ao invés de brincar e estar com ele.

Agradeço aos meus pais Galileo e Maria Helena por me incentivarem e me apoiarem de várias formas nessa trajetória que me trouxe até aqui.

Agradeço aos meus professores e amigos, Klaus de Geus e Sérgio Scheer por acreditarem em mim e oferecerem a oportunidade de trabalhar e aprender muito com eles.

Agradeço ao amigo Matheus Rosendo por ter compartilhado muitas descobertas, aflições e alegrias, experimentadas ao longo deste trabalho.

Agradeço também a todos amigos e amigas do CESEC com os quais pude aprender e me divertir muito, especialmente à Maristela Bandil, sempre bem humorada e disposta a ajudar.

RESUMO

Técnicas de manutenção em linha viva são aquelas desempenhadas em redes de distribuição de energia sem que haja interrupção no serviço. Essa prática evita custos e transtornos, porém é considerada de alto risco. Assim, a efetividade de treinamento prévio é de grande importância e, portanto, constantes esforços vêm sendo feitos no sentido de buscar recursos que possam melhorar a retenção de conhecimento e a qualidade da informação a ser adquirida. Neste sentido, novas tecnologias tais como aquelas utilizadas nos modernos videogames e em sistemas de Realidade Virtual podem proporcionar experiências práticas que outros mecanismos de aprendizado dificilmente contemplariam, adicionando vantagens relacionadas a segurança e custo.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de treinamento de atividades em linha viva, baseado nas tecnologias de *Games* e Realidade Virtual. Aspectos relativos ao desenvolvimento de uma solução abrangente, contemplando todos os dispositivos de *hardware* para visualização e interação, além do conjunto de sistemas de *software* utilizados, são discutidos com foco em questões tais como custo, facilidade de acesso e manutenção, tendências de mercado, facilidade de uso, aprendizado e durabilidade do equipamento. A pesquisa que fundamenta a proposta da plataforma final fornece um levantamento de características e limitações que até o presente momento têm posto empecilhos ao uso mais amplo e abrangente de sistemas baseados em *Games* e Realidade Virtual para treinamento de atividades críticas. Aspectos chave relacionados a usabilidade, ergonomia, *design* instrucional e interface de sistema, além do comportamento humano e do sistema cognitivo, entre outros, são identificados e tratados.

O desenvolvimento proporcionou como resultado prático o protótipo de uma plataforma para treinamento de atividades em linha viva, a qual utiliza dispositivos como o Nintendo Wii Remote[®] e televisores estereoscópicos para prover um novo modelo de interação e visualização focado na aplicação contemplada. Um cenário completo, incluindo modelos geométricos precisos, foram criados e integrados ao protótipo, o qual permite a simulação completa de uma atividade recorrente de manutenção em linha viva. Funcionalidades foram implementadas incluindo o comportamento físico dos objetos da cena, um modelo de navegação e visualização, e um modelo de seleção e manipulação de objetos virtuais. Esses dois modelos complementam-se em um mecanismo de interação com o ambiente virtual inspirado em conceitos da computação ubíqua e interfaces tangíveis. Uma proposta de avaliação preliminar do sistema desenvolvido é apresentada juntamente com os resultados obtidos em sua aplicação a profissionais da área. Por fim, as contribuições científicas focadas no aprendizado mediante tecnologias de *Games* e Realidade Virtual são discutidas.

Palavras chave: Interação 3D, Simuladores, Ambiente Virtual de Treinamento

ABSTRACT

Live line maintenance techniques live line are those performed in power distribution networks without the need for service interruption. This practice avoids costs and inconveniences, but is considered a high risk activity. Thus, the effectiveness of prior training is of great importance and, therefore, constant efforts have been made to find mechanisms that can improve knowledge retention and the quality of information to be acquired. In this respect, new technologies such as those used in modern video games and virtual reality systems can provide practical experiences that other learning mechanisms hardly account for, adding advantages related to safety and cost.

This work presents the development of a training system for live line activities, based on the paradigms of Games and Virtual Reality. Aspects related to the development of a comprehensive, which accounts for all hardware devices used for visualization and interaction, as well as all software systems used, are discussed. focusing on issues such as cost, ease of access and maintenance, market trends, ease of use, learning and durability. The research that supports the proposal of the final platform provides an overview of characteristics and limitations that until now have put obstacles to a wider and more comprehensive use of systems based on Games and Virtual Reality for training on critical activities. Key aspects related to usability, ergonomics, instructional design and system interface, as well as human behaviour and cognitive system, among others, are identified and treated.

The development of this work has provided, as practical result, a prototype of a training platform for live line activities, which uses devices such as Nintendo Wii Remote R and stereoscopic television sets to provide a new model of interaction and visualization focused on the application. Geometric models were created and integrated into the prototype, which allows full simulation of a recurring activity in live line maintenance. Features have been implemented including the physical behaviour of objects in the scene, a model for navigation and viewing, and a model for selection and manipulation of virtual objects. These two models complement each other, making up an interaction mechanism inspired on concepts of ubiquitous computing and tangible interfaces. A proposal for a preliminary evaluation procedure for the developed system is presented together with results obtained after its application to end users. Finally, the scientific contributions focused on technology-based learning through Games and Virtual Reality are discussed.

Key words: 3D Interaction, Simulators, Virtual Training Environments.

Sumário

1	<i>Games</i> e Realidade Virtual para Treinamento	1
1.1	Possibilidades e novas tecnologias de interface	2
1.2	Treinamento de atividades em Linha Viva	8
1.3	A proposta deste trabalho	10
1.4	Considerações finais	11
2	Delimitação do Problema	12
2.1	Descrição do projeto RV-COPEL	14
2.2	Solução baseada em ambientes virtuais 3D	17
2.3	Considerações Finais	20
3	Tecnologias de <i>Games</i> e Realidade Virtual	21
3.1	Fundamentação teórica	21
3.1.1	Conceituação de Realidade Virtual	21
3.1.2	Grafos de cena	23
3.1.3	Computação Ubíqua e Interfaces Tangíveis	24
3.1.4	Simulação física e detecção de colisão	25
3.1.5	Dispositivos de interação	27
3.2	O Estado da arte dos dispositivos de interação	28
3.3	O estado da arte em Computação Ubíqua e Interfaces Tangíveis	41
3.4	Considerações finais	44
4	Ensino e Aprendizado na Era da Simulação: Aspectos Humanos e Computacionais	46

4.1	Considerações sobre estilos de aprendizagem e outros aspectos cognitivos . . .	47
4.2	O papel da interface na construção de mapas cognitivos em processos transacionais	51
4.3	Considerações sobre Sistemas Tutores	53
4.4	Considerações sobre as ênfases voltadas à educação e ao treinamento	56
4.5	Teoria da Carga Cognitiva e Interfaces	59
4.6	Considerações finais	66
5	Proposta da Plataforma	69
5.1	Classificação de dispositivos de interação quanto à carga cognitiva e escolhas para a plataforma proposta	70
5.2	Desenvolvimento do <i>software</i> principal	74
5.2.1	Modelagem geométrica 3D e renderização	75
5.2.2	A escolha da plataforma de desenvolvimento	76
5.2.3	Concepção do modelo funcional	78
5.2.4	Organização do material didático integrado	79
5.3	A plataforma proposta	80
5.4	Modelo de avaliação para o sistema proposto	85
5.5	O modelo de navegação e visualização	87
5.6	O modelo de seleção e manipulação	90
5.7	Considerações finais	96
6	Testes com Usuários e Análise de Resultados	99
7	Considerações Finais	111
7.1	Conclusão	111
7.2	Contribuições	113
7.3	O futuro do ambiente desenvolvido	114

Abreviaturas

AV3D Ambiente Virtual Tridimensional. 85

CAD *Computer Aided Design*. 9

CAI *Computer-Aided Instruction Systems*. 53

CAVE *Cave Automatic Virtual Environment*. 27, 40

ES *Entrada e Saída de dados*. 27

G&RV *Games e Realidade Virtual*. 1–3, 6, 7, 9, 10, 12, 15, 41, 47, 49, 66, 70, 72, 99, 102–104, 109, 111–114

HMD *Head Mounted Display*. 5, 27, 29, 35, 40, 45, 71

IA *Inteligência Artificial*. 53, 54

IHC *Interface Humano-Computador*. 5

LOD *Level Of Detail*. 76

MF *Motor de Física*. 25, 26

OSG *Open Scene Graph*. 75

P&D *Pesquisa e Desenvolvimento*. 1

RM *Realidade Mista*. 62–64

RV *Realidade Virtual*. 6, 9, 12–14, 21–23, 27–29, 56, 60, 62, 70, 75

STI *Sistemas Tutores Inteligentes*. 53–56

TCC *Teoria da Carga Cognitiva*. 47, 48, 59, 60

Capítulo 1

Games e Realidade Virtual para Treinamento

Este capítulo introduz o tema principal deste trabalho, a saber, a convergência de *Games* e Realidade Virtual (G&RV) para treinamento. O tema é apresentado inicialmente na forma de uma reflexão, onde na Seção 1.1, é feito um levantamento do estado atual das tecnologias relacionadas e uma avaliação informal de seus potenciais benefícios e limitações. O texto é embasado na literatura científica, principalmente em artigos recentes, em que é possível constatar a evolução ocorrida nos últimos anos, não apenas nos dispositivos de *software* e *hardware*, mas também no estilo de aprendizagem e características de uma nova geração de aprendizes.

A partir dessa reflexão, levantam-se alguns problemas existentes, os quais são apontados como possíveis limitadores do uso mais abrangente, efetivo e operacional de ferramentas baseadas nas tecnologias de G&RV como suporte ao treinamento e capacitação. Com base neste levantamento e nas especificações do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) relatados, propõem-se soluções e estratégias para minimizar as limitações detectadas. O referido projeto de P&D, objeto deste estudo, será descrito durante o Capítulo 2. Maiores detalhes do levantamento do estado da arte das tecnologias disponíveis em termos de *software* e *hardware* são apresentados no Capítulo 3. Sobre aspectos de ensino

e aprendizagem, uma discussão mais ampla é apresentada no Capítulo 4. A plataforma proposta para o sistema desenvolvido é descrita no Capítulo 5. No Capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados de testes realizados junto a usuários e as conclusões obtidas. Finalmente, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e contribuições do trabalho.

Neste capítulo, na Seção 1.2 é dada uma visão geral sobre atividades em linha viva. A importância e os riscos dessa prática e do treinamento são discutidos brevemente. Também são listadas algumas características que fazem com que sistemas baseados em G&RV tenham grande potencial como ferramenta para treinamento de atividades de manutenção em linha viva. Na Seção 1.3, é apresentado um resumo da proposta deste trabalho, a qual consiste na concepção, desenvolvimento e avaliação preliminar de uma plataforma baseada em tecnologias de G&RV para treinamento em linha viva. Na Seção 1.4 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

1.1 Possibilidades e novas tecnologias de interface

A tecnologia, tal como uma força pervasiva, exerce influência direta em vários aspectos da humanidade. A evolução tecnológica impacta na maneira como negócios são conduzidos, informações são transferidas, doenças são tratadas e conhecimentos são adquiridos. A tecnologia não é estática, ao contrário, é tão dinâmica quanto às pessoas. Um bom exemplo é a Internet, que consiste de uma infraestrutura em constante evolução, suportando muitas mídias, incluindo ambientes colaborativos, globalizados, de discussões síncronas e assíncronas, ambientes virtuais tridimensionais, multiusuários e videoconferências. Além disso, está acessível a partir de múltiplos dispositivos móveis a qualquer tempo. No contexto de ambientes de ensino e aprendizagem, cada um desses recursos oferece um determinado tipo de interação, contemplando, dessa forma, vários estilos de aprendizagem (ROBINSON; SEBBA, 2010; HANSON; SHELTON, 2008).

De fato, o mundo vive hoje um cenário onde existem tantos aparatos tecnológicos

disponíveis que, antes mesmo de ser possível explorar todos os recursos de um equipamento, já existe outro mais sofisticado. São *Netbooks*, *Tablets*, *Smartphones*, TVs 3D, *Games*, todos conectados, com câmera e GPS integrados. Novidades tecnológicas surgem a todo instante. Adaptar-se às novas tecnologias implica esforço constante (PRENSKY, 2001) e raras são as ocasiões em que se consegue explorar com maior profundidade todo o potencial inerente a essas tecnologias. As implicações de um uso mais abrangente de muitos desses dispositivos podem ser profundas, especialmente quando relacionadas a áreas como ciência e educação. O que ocorre, no entanto, é que as aplicações imediatas, aquelas que afetam diretamente o cotidiano das pessoas, em geral, limitam-se à comunicação e ao entretenimento.

Tratando-se especificamente das tecnologias emergentes relacionadas a G&RV, estas possuem grande potencial, não obstante ainda pouco explorado, de serem aplicadas em sistemas de ensino (CHANG et al., 2011). Incluem-se nessas tecnologias tudo aquilo que se refere a dispositivos de entrada e saída de dados, interfaces e modelos de interação humano-computador não convencionais, tais como áudio e vídeo 3D, dispositivos de resposta tátil, rastreadores de posição, além de sistemas baseados em ambientes colaborativos, de telepresença e multiagentes.

Em ensino e capacitação, questões relativas a custos, segurança e restrições logísticas, frequentemente dificultam o acesso de estudantes e operadores em treinamento a plantas e instalações industriais, gerando, com isso, uma lacuna no entendimento conceitual do processo em questão (NORTON et al., 2008). Sistemas baseados em G&RV podem constituir um instrumento efetivo para minimizar essas limitações.

As características dos dispositivos de interação utilizados em G&RV permitem que esses sistemas adotem uma abordagem interativa de aprendizagem, em que as escolhas livres do usuário têm consequências diretas. Ou seja, trata-se da abordagem do “aprender fazendo”, experimentando, em um ambiente em que o usuário obtém *feedback* imediato em resposta às suas ações. Além disso, os *games* são essencialmente focados no “problema a ser resolvido” e a resolução de cada problema proporciona satisfação e motivação. Os

usuários são encorajados a tornar-se “solucionadores de problemas”, o que corresponde ao cerne da maioria das abordagens educacionais de hoje (DONDLINGER, 2007). Ambientes virtuais 3D em geral podem proporcionar experiências de aprendizagem que são difíceis ou até mesmo impossíveis de se reproduzir de outra forma.

A área de conhecimento conhecida como *Serious Games* (BARNES; ENCARNAÇÃO; SHAW, 2009), termo que pode ser traduzido como “jogos sérios” ou “*games*¹ sérios”, busca utilizar a tecnologia avançada dos jogos eletrônicos modernos para finalidades sérias como ensino e treinamento. Nesse campo, estudos indicam que metodologias que incluem entretenimento, simulações (aprender fazendo) e atividades colaborativas produzem melhores resultados em ambientes de ensino. Tais abordagens podem melhorar a qualidade e a quantidade das informações transmitidas e, também, a retenção do conhecimento. As aplicações de *Serious Games* são vastas, em setores como defesa, educação, pesquisa científica, saúde, gestão de emergência, planejamento urbano, engenharia e muitos outros. Mas é em treinamento e capacitação que a tecnologia de *games* parece adequar-se perfeitamente, pois pode simular situações de risco e outras, com segurança e economia.

No meio científico e acadêmico, dispositivos tecnológicos de ponta são utilizados, estudados e desenvolvidos. Pode-se, entretanto, dizer que o potencial desses equipamentos está longe de ser completamente (ou satisfatoriamente) explorado. Por exemplo, cientistas e pesquisadores não ligados às áreas da computação enfrentam dificuldades de diferentes naturezas quanto ao uso de ambientes imersivos, colaborativos, remotos, de visualização e outros. Em termos de ensino, há tempos é citado na literatura o uso da informática, diferentes mídias e tecnologias de informação e de comunicação (VASU; OZTURK, 2009). No entanto, observa-se que frequentemente os ambientes desenvolvidos ou propostos revelam limitações quanto ao seu uso de forma ampla, operacional e efetiva, seja nas indústrias ou nas universidades. Isso ocorre, em parte, devido ao alto custo dos equipamentos, à difícil operação e manutenção. Além disso, existem dificuldades em termos da usabilidade e de modelos de interface. Outros aspectos são relativos a complexidade e questões culturais.

¹Neste trabalho, adota-se o termo *game* para jogos eletrônicos interativos tais como os jogos de computador e videogames.

Alguns pontos chave, identificados na literatura, podem ajudar a entender as origens das limitações e dificuldades que impedem uma utilização efetiva das tecnologias mencionadas. Tem-se a natureza multidisciplinar do desenvolvimento de *Serious Games*, a saber, de um lado o *design* instrucional, que implica a formação em educação, e do outro lado o *design* do jogo, que implica a formação na área de computação. Além dessas duas áreas primárias, ainda há a contribuição artística e literária da narrativa, fundamental em qualquer jogo, para prover atratividade e entusiasmo ao usuário. Outro aspecto que também influencia a usabilidade da aplicação é a Interface Humano-Computador (IHC), pois o uso de *mouse* e teclado, ou até mesmo *joystick*, pode ser difícil para alguns usuários. Por fim, tem-se o alto custo de alguns dispositivos de *hardware* utilizados em sistemas imersivos, tais como *displays* estereoscópicos, rastreadores de posição e dispositivos de resposta tátil.

Em relação à sinergia entre o *design* do aplicativo e o modelo instrucional, existe uma compreensão limitada de como proceder no desenvolvimento de sistemas de ensino de forma a melhorar os resultados de aprendizagem (LEE; WONG, 2008). Perry et al. (2007) declaram que são escassos na literatura detalhes, sugestões ou exemplos que mostrem como colocar em prática as orientações para tratar a lacuna existente entre as intenções e o efeito real dos *games* educativos. Exemplos de limitações quanto à usabilidade e interface podem ser observados em casos como o descrito no trabalho de Brough et al. (2007), onde testes revelaram que os usuários interagiam com objetos da cena 3D mais natural e confortavelmente utilizando um dispositivo apontador ao invés de luvas com sensores.

Dentre as muitas questões relativas a *hardware*, constata-se que os *displays* acoplados à cabeça ou *Head Mounted Displays (HMDs)*, além de dispendiosos, têm a desvantagem de serem pesados, desconfortáveis e frágeis, e de possuem baixa resolução e pequeno campo de visão (BURIOL et al., 2009). Porém, por outro lado, há os televisores 3D, que estão se tornando mais acessíveis, possuem alta definição e podem ser utilizados com dispositivos de *games* para compor um ambiente virtual mais eficiente em termos de usabilidade, a

um menor custo. Devido a diversos fatores, econômicos e sociais, dispositivos relacionados à indústria de entretenimento, como televisores e videogames, têm evoluído mais rapidamente do que aqueles utilizados majoritariamente em pesquisa, ciência ou engenharia. Por exemplo, televisores e consoles de *games* incorporam, hoje, o que existe de mais avançado em tecnologias de visualização e interação.

Enquanto alguns dispositivos de Realidade Virtual (RV) têm sido experimentados sem notável efetividade, no que se refere a *games* e entretenimento, interfaces inovadoras têm ganhado popularidade e aquecido o mercado. A indústria de *games* é uma das que mais fatura no mundo e as tendências desse mercado são claras. Na feira E3 Expo² (*Electronic Entertainment Expo*), realizada em junho de 2010, em Los Angeles, as três gigantes mundiais dos games, Microsoft, Sony e Nintendo, apresentaram seus projetos. A Nintendo inovou quando lançou o console Wii, em que seus jogadores movimentam-se de verdade para jogar. Agora, os consoles Play Station (Sony) e Xbox360 (Microsoft) também desenvolvem seus próprios sistemas de captura de movimentos, seja com controles sem fio munidos de sensores, seja sem necessidade de controle algum, onde os movimentos corporais do usuário são usados para interagir com o jogo.

Paralelamente à evolução das tecnologias de G&RV, testemunha-se uma profunda mudança de paradigma no estilo de vida e de aprendizagem dos jovens em “idade universitária” (PRENSKY, 2001). Esses indivíduos estão se tornando a principal força de trabalho em todo o mundo e, no entanto, possuem características fortemente distintas das gerações anteriores o que faz da gestão dos potenciais de trabalho dessa geração um dos grandes desafios da atualidade. Existe, portanto, um crescente interesse em se pesquisar e desenvolver novas abordagens para ambientes de ensino e treinamento. Buscam-se novos recursos para cativar essa geração de aprendizes. Os estilos de aprendizagem e atitudes dos nativos digitais são amplamente distintos quando comparados aos de outras gerações (NASA, 2008). Nesse sentido, os educadores precisam assumir o papel de facilitadores ao invés da tradicional figura autoritária das gerações anteriores (CHANG et al., 2009).

²<http://www.e3expo.com/>

Em um contexto de mudanças na sociedade e no estilo de vida das pessoas, em que a tecnologia se torna cada vez mais presente, as indústrias e as universidades buscam adequar-se para conseguir suprir as suas demandas. Em ambos os meios, na indústria e na academia, existe a necessidade de ensinar, treinar e preparar pessoas para exercer atividades cada vez mais complexas e amplamente suportadas por novas tecnologia. Os ambientes virtuais tridimensionais apresentam-se, neste cenário, como um meio valioso de comunicação, oferecendo uma sofisticada interface para ambientes de ensino e treinamento.

O objetivo deste trabalho é investigar o uso de G&RV para treinamento de atividades em linha viva e, com isso, obter subsídios para o uso dessa tecnologia no desenvolvimento de um sistema de treinamento moderno, abrangente e efetivo. O trabalho contempla a concepção, o desenvolvimento e a avaliação de uma plataforma inovadora, a qual inclui sistemas de *software* e dispositivos de *hardware* integrando-se em uma solução completa.

Buscou-se a convergência de tecnologias utilizadas em G&RV para o desenvolvimento de uma solução baseada em tecnologias emergentes que seja operacional e possa beneficiar um maior número de indivíduos, com segurança e menor custo. A pesquisa realizada analisou sistemas existentes em indústrias e instituições de ensino, dispositivos de interação, modelos de interface, aspectos humanos e computacionais em sistemas de simulação, bem como características específicas de atividades de manutenção em linha viva.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi apresentar uma plataforma piloto inovadora, baseada nas tecnologias de *Games* e Realidade Virtual, para treinamento de atividades em linha viva. Os objetivos específicos foram:

1. Conceber uma plataforma completa, incluindo as soluções de *software* e *hardware*, para simulação de atividades de manutenção em linha viva;
2. Desenvolver um protótipo utilizável da plataforma proposta e implementar pelo menos uma das possíveis atividades, permitindo sua simulação do início ao fim;
3. Propor e executar avaliações junto ao usuário final e, então, discutir os resultados buscando direcionamentos para continuidade e melhoria do sistema desenvolvido;

Embora o sistema proposto possa ser utilizado diferentes atividades de manutenção em linha viva, apenas a atividade de “troca de cruzeta” foi implementada. A implementação serviu de base para a pesquisa realizada, com vistas a validar o modelo de interface desenvolvido e analisar os resultados obtidos por meio principalmente de testes com usuários. Existem mais de vinte atividades comumente realizadas em linha viva e cada uma delas consta de dezenas de passos específicos que devem ser rigorosamente obedecidos para garantir a segurança do electricista. A atividade de troca de cruzeta consiste de 78 passos. Uma descrição mais detalhada da atividade simulada será apresentada no Capítulo 2.

1.2 Treinamento de atividades em Linha Viva

No setor elétrico, o treinamento de equipes para realização de atividades críticas é usualmente realizado nas empresas. Um exemplo representativo é o treinamento relacionado a atividades de manutenção em linha viva. Atividades em linha viva reduzem os custos causados pela interrupção do fornecimento de energia, porém são consideradas de alto risco. Portanto, treinamento prévio eficiente se torna essencial.

Na Copel, concessionária de energia com sede em Curitiba, Paraná, empresa proponente do projeto no qual este trabalho está inserido, o treinamento em linha viva é realizado em cinco semanas divididas em uma fase teórica e outra prática. A parte teórica é feita em sala de aula, usando material impresso, fotos e vídeos. A parte prática é realizada em campo, primeiramente com a linha não energizada e posteriormente com a linha energizada. O próprio treinamento com a linha energizada é uma atividade de alto risco e deve ser cuidadosamente monitorada pelo supervisor.

Em operações com linha viva, além do risco de perda de vidas humanas, o que é inestimável, o custo de um acidente pode ser estimado em aproximadamente R\$120 mil. O número total de acidentes (com e sem morte) em uma concessionária durante um ano pode variar tipicamente entre 100 e 200 . De acordo com alguns registros (fontes das in-

formações propositalmente omitidas), os custos desses acidentes podem totalizar a quantia aproximada de R\$ 3.5 milhões. Nesse contexto, o treinamento utilizando as tecnologias de G&RV pode melhorar a quantidade e qualidade das informações e do conhecimento adquirido e, reduzindo, portanto, o número de acidentes e prejuízos associados.

Nos últimos anos, alguns fatores têm influenciado a adoção e a disseminação da RV na indústria, por exemplo, a disponibilidade de *hardware* mais poderoso por menor custo, o uso de ferramentas do tipo *Computer Aided Design* (CAD) 3D, que já fornecem os modelos geométricos necessários, dentre outros (BELARDINELLI et al., 2008). Com isso, as técnicas de RV têm se estabelecido como ferramentas efetivas em aplicações tais como, o desenvolvimento de produtos, planejamento e validação dos processos de fabricação. O fácil acesso a diferentes protótipos virtuais de um produto permite realizar modificações e melhorias evitando ou reduzindo os custos de correções futuras (RUSSO et al., 2006; PETROBRAS, 2010; EMBRAER, 2010).

Além da revisão e validação de projetos, outras aplicações da RV de interesse das indústrias são os sistemas de treinamento, (PARK; JANG; CHAI, 2006; BROUGH et al., 2007; GERBAUD et al., 2008; GAZIN, 2010; WYK; VILLIERS, 2009). O treinamento e a capacitação utilizando ambientes virtuais 3D, nos quais o usuário pode navegar e interagir de forma natural e intuitiva, podem prover benefícios relevantes em relação às abordagens tradicionais. O uso de RV possibilita reduzir custos e evita situações de risco no treinamento. Também permite que modelos geométricos 3D complexos possam ser visualizados e manipulados de forma intuitiva e tarefas distintas possam ser simuladas diversas vezes, para um maior número de alunos e com menor custo.

Apesar das potenciais vantagens do uso de RV no processo de treinamento, não existe disponível um sistema completo, voltado à demanda do setor elétrico, para treinamento de atividades em linha viva. Além disso, o projeto de uma plataforma para um ambiente virtual é complexo e as escolhas de *software* e *hardware* não são triviais. A concepção de um modelo funcional e dos aspectos didáticos e instrutivos do sistema requer um extensivo estudo e testes junto ao usuário final.

1.3 A proposta deste trabalho

Sintetizando os objetivos já descritos, a proposta deste trabalho é desenvolver e apresentar um sistema piloto efetivamente operacional, em seu modelo reduzido, para treinamento de atividades de manutenção em linha viva, baseado na convergência de tecnologias utilizadas em *Games* e em Realidade Virtual. A solução apresentada se mostra inovadora sob o aspecto de mecanismos de interação, ou seja, navegação e manipulação de objetos no ambiente virtual, e também sob o aspecto operacional, no sentido do sistema ser suficientemente fácil de usar e aprender, a ponto de ser utilizado com a mesma naturalidade por pessoas de diferentes faixas etárias e níveis de experiências.

Para isso foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica, levantando-se o estado da arte em termos de dispositivos de *hardware* e ferramentas de desenvolvimento, além de casos existentes de aplicação de G&RV para ensino e treinamento. Foram feitas visitas a três centros de realidade virtual que são referência no Brasil, o LAB3D do Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia da COPPE/UFRJ, o Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES) e os laboratórios do grupo Tecgraf (PUC-RJ). Foram experimentados diferentes sistemas de *software* para desenvolvimento e avaliados diferentes possibilidades para o conjunto de dispositivos de interação. A concepção da plataforma final, escolhas de componentes de *software* e *hardware*, além de aspectos da programação do *software* principal são apresentados e discutidos. Por fim, uma avaliação junto ao usuário final é conduzida.

O conjunto de dispositivos de interação, usados para prover uma interface amigável e intuitiva, inclui televisores estereoscópicos e *joysticks* Wii Remote. A forma como esses componentes são usados permitem que o sistema reaja a ações do usuário de forma “invisível”, respondendo a comportamentos naturais do usuário, conforme alguns princípios da computação ubíqua.

1.4 Considerações finais

A evolução que tem ocorrido nos computadores, videogames e dispositivos de visualização, tais como os televisores 3D, sugere uma tendência na busca de recursos tecnológicos para ensino e treinamento. Aspectos típicos de *games*, como o apelo gráfico e motivacional, o *feedback* constante e a intensa interatividade, além de aspectos de Realidade Virtual tais como a sensação de imersão, o estímulo a múltiplos sentidos e a reprodução realística da física do "mundo real", parecem convergir para uma tecnologia única.

Além dos aspectos supracitados, as características comerciais da indústria do entretenimento têm desencadeado uma rápida evolução de dispositivos de interação e de visualização a custos cada vez mais baixos. Assim, acredita-se que soluções baseadas na convergência das tecnologias de *Games* e Realidade Virtual possuem grande potencial para aplicações em ensino e treinamento.

No entanto, muitos desafios surgem no desenvolvimento de um aplicativo com essas características. Questões relativas à usabilidade e ao modelo instrucional requerem especial atenção para que o aplicativo possa, de fato, atingir os objetivos a que se propõe. Alguns desses desafios e as estratégias adotadas na busca de soluções para o sistema apresentado neste trabalho serão relatados nos capítulos que seguem.

Capítulo 2

Delimitação do Problema

Sistemas de RV fazem uso de tecnologias que possibilitam o desenvolvimento de interfaces sofisticadas e inovadoras. Esses sistemas, assim como alguns *games*, podem estimular de forma mais abrangente os múltiplos sentidos humanos e, portanto, possibilitam a criação de interfaces mais naturais e intuitivas. Para desenvolver novas formas de interação do usuário com o sistema computacional, é comum o uso de sensores de movimento, *display* estereoscópico e áudio em múltiplos canais.

Considerando a disponibilidade de novas tecnologias baseadas em G&RV e as características de uma nova geração de trabalhadores, empresas e universidades têm buscado abordagens de ensino e treinamento mais modernas e eficientes. Em geral buscam-se soluções que possam integrar de forma efetiva as tecnologias disponíveis às necessidades e preferências de um novo perfil de profissional.

Nesse sentido, sistemas de treinamento baseados em G&RV oferecem vantagens, especialmente em áreas ligadas à engenharia, pois modelos geométricos complexos podem ser visualizados e manipulados de forma simples e segura. O uso de G&RV proporciona um mecanismo para uma visualização clara e realista de instalações, sistemas e operações complexas, oferecendo um nível de experiência prática que não é facilmente disponível.

Importantes empresas do Brasil têm investido em sistemas de RV. A Petrobras, em seu

centro de pesquisa Cenpes, o maior da América Latina, possui dois modernos centros de RV: HoloSpace e CAVE (COLAVITTI, 2011; RUSSO et al., 2006; PETROBRAS, 2010). A Embraer utiliza RV para reduzir o tempo de desenvolvimento de novas aeronaves, melhorando a capacidade de produção e diversificação, de acordo com as necessidades de seus clientes. Essa tecnologia ajudou no aperfeiçoamento de metodologias de execução rápida de arranjos de peças e componentes em três dimensões, simulações de fabricação e montagem, e análises de engenharia (COLAVITTI, 2011; EMBRAER, 2011; ESTEVES, 2011). A Volkswagen, em sua sede de São Bernardo do Campo, São Paulo, utiliza RV para que desenhistas e engenheiros possam revisar e aperfeiçoar projetos com agilidade e menor custo (SORDI; VALDAMBRINI, 2006; GLOBO, 2011).

Além das aplicações supracitadas, sistemas de treinamento baseado em RV, voltados a atender demandas do setor industrial e elétrico, também vêm crescendo nos últimos anos (FRANK, 1999; PARK; JANG; CHAI, 2006; OLIVEIRA et al., 2007; GAZIN, 2010). Tais referências revelam o potencial dessa tecnologia.

Inseridos nesse cenário, pesquisadores da Copel Distribuição S.A., conceberam um projeto para desenvolvimento de um sistema de RV para treinamento de atividades de manutenção em linha viva. Esse projeto, inserido no programa de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica, intitulado “Ambiente de Realidade Virtual para Treinamento em Atividade de Manutenção de Redes de Distribuição em Linha Viva” foi, então, desenvolvido pela Copel em parceria com a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e o Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento (LACTEC).

O projeto, aqui chamado de RV-COPEL, o qual teve duração de dois anos, entre junho de 2008 e maio de 2010, é descrito a seguir.

2.1 Descrição do projeto RV-COPEL

Como já foi mencionado, empresas do setor elétrico treinam equipes para realização de atividades críticas, tais como a manutenção em linha viva. Atividades em linha viva requerem a execução de procedimentos de segurança bem estabelecidos e uso de equipamentos específicos, os quais devem estar limpos e em perfeitas condições de integridade. Cada atividade deve ser realizada de acordo com uma sequência rigorosa de passos que irá garantir a máxima segurança da equipe. Em geral, a manutenção da rede aérea é feita com o eletricitista suspenso por uma haste isolada, instalada em um caminhão, cuja carroceria também deve estar devidamente isolada e aterrada, como ilustrado na Figura 2.1.



Figura 2.1: Manutenção em linha viva.

Fundamentalmente, para o eletricitista estar apto a realizar atividades de manutenção em linha viva ele precisa possuir, além de habilidades físicas e motoras, o conhecimento da sequência correta dos passos a serem executados em cada atividade específica. O eletricitista também precisa saber quais são os equipamentos necessários, como utilizá-los e, ainda, saber avaliar se o equipamento está em perfeita condição de uso.

Como cita Burdea e Coiffet (2003), a tecnologia de RV tem sido considerada durante décadas a mais sofisticada Interface Humano - Computador. Dessa maneira, espera-se que sistemas de treinamento que façam uso de tais recursos alcancem melhores resultados

em termos de efetividade do aprendizado. Ou seja, espera-se que o uso de tecnologias de G&RV possa melhorar a quantidade e a qualidade das informações e do conhecimento adquiridos durante o treinamento.

No entanto, projetar um sistema baseado em G&RV que possa efetivamente melhorar os resultados do processo de treinamento de manutenção em linha viva não é uma tarefa simples. Dentre os principais desafios estão a construção de um ambiente virtual física e graficamente “convincentes”, suficientemente intuitivo e de fácil utilização, além de conceber um modelo instrucional e funcional efetivo, no sentido de melhorar a retenção das informações e conhecimentos adquiridos durante o treinamento.

Optou-se por não utilizar dispositivos com resposta de força, pois, além desse tipo de dispositivo ser dispendioso, não traria ganhos consideráveis para o eletricista em termos de aprendizado. Dessa maneira, este trabalho foca nos aspectos instrutivos do sistema, relacionados diretamente aos objetivos do treinamento descritos no manual utilizado pelos eletricistas (COPEL, 2008). Nesse sentido, o sistema deve permitir que o usuário indique, interagindo de forma simples e intuitiva, as ações que realizaria em uma situação real. Portanto, a simulação deve ser focada nos procedimentos e na sequência correta das ações.

Para viabilizar tal solução, primeiramente é preciso analisar os aspectos abordados no treinamento, da forma como é realizado tradicionalmente. Existem três métodos distintos para realizar atividades de manutenção em linha viva: método ao contato, método à distância e método ao potencial. No método ao contato, o eletricista permanece em contato direto com os condutores energizados. Nos métodos à distância e ao potencial o eletricista utiliza equipamentos especiais como bastões isolantes e vestimentas condutivas. Os métodos à distância e ao potencial representam menos de 5% das atividades de manutenção realizadas pela Copel. Além disso, o método ao contato exige maior atenção por parte do eletricista, por ser o mais perigoso dentre os três métodos. Por esses motivos, o trabalho teve foco no método ao contato.

De acordo com o manual, utilizado durante o treinamento (COPEL, 2008), os objeti-

vos do curso são:

1. Estabelecer os procedimentos corretos da atividade a ser realizada;
2. Estabelecer a sequência correta da execução;
3. Estabelecer medidas de segurança;
4. Dimensionar os recursos necessários para a execução;
5. Fornecer informações básicas sobre ferramentas usadas;
6. Fornecer dados sobre as características mecânicas e dielétricas das ferramentas;
7. Alertar sobre os cuidados que devem ser tomados quanto ao uso, conservação e recuperação dos equipamentos.

Tais objetivos têm caráter instrutivo (ou educativo / cognitivo) e não avaliativo. No contexto de um ambiente virtual para treinamento, tanto o caráter instrutivo como o avaliativo podem ser contemplados, de forma simultânea ou independente.

Existem mais de vinte atividades de manutenção que são comumente realizadas, dentre as quais se podem citar:

- troca de isolador de pino;
- troca de isolador de disco;
- troca de chave fusível;
- troca de para-raios;
- troca de cruzeta;
- poda de árvores;
- emenda e reparo de condutores;
- instalação de chave faca;
- retirada de objetos estranhos da rede e substituição de chave unipolar.

Cada uma dessas atividades requer um conjunto de procedimentos distintos e específicos da atividade. Optou-se, para a primeira versão do ambiente virtual proposto,

contemplar a atividade de troca de cruzeta, por ser essa atividade uma operação considerada importante e recorrente.

O conjunto de procedimentos específicos da atividade de substituição de cruzeta consiste de 78 passos. Esses passos são semelhantes no sentido de consistirem basicamente em posicionar ou remover uma determinada peça ou equipamento. Assim, a descrição de todos os passos torna-se tediosa e não é essencial para o entendimento do trabalho. Por esta razão, e como forma de ilustrar a natureza dos passos que compõem a atividade, a lista a seguir descreve apenas os dez primeiros:

1. Cobrir o neutro da baixa tensão;
2. Cobrir a fase mais próxima (do eletricitista);
3. Cobrir a fase do meio;
4. Cobrir o outro lado da fase mais próxima (em relação ao isolador);
5. Cobrir o isolador da primeira fase;
6. Cobrir a face lateral da cruzeta (entre a fase mais próxima e a fase do meio);
7. Cobrir o outro lado da fase do meio (em relação ao isolador);
8. Cobrir o isolador da fase do meio;
9. Colocar os parafusos que sustentarão a cruzeta auxiliar (certificar a distância);
10. Instalar o içador isolado.

2.2 Solução baseada em ambientes virtuais 3D

Neste trabalho buscou-se apresentar uma solução para a plataforma de treinamento, incluindo sistemas de *software* e dispositivos de *hardware*, idealizada no projeto RV-COPEL. A solução proposta é apresentada no Capítulo 5 e foi concebida com base em uma extensa investigação e no desenvolvimento de um sistema piloto que permitiu a realização de testes junto ao usuário final.

A criação de um ambiente virtual para treinamento como o vislumbrado, envolve a modelagem geométrica e a modelagem comportamental de todos os objetos que constituem uma cena virtual. A modelagem geométrica diz respeito à geração dos modelos digitais tridimensionais (malhas e texturas) de objetos tais como postes, cabos, ferramentas, edificações e equipamentos diversos. A modelagem comportamental, ou funcional, está relacionada ao modo com o qual o usuário poderá interagir com o ambiente e como o ambiente, e cada parte dele, reagirá às ações do usuário.

Portanto, a solução procurada contempla a escolha dos dispositivos de *hardware* mais adequados e a definição da forma como serão utilizados, além do desenvolvimento do *software* que irá controlar tais dispositivos. A interface deve ser simples de aprender e de utilizar além de graficamente convincente no sentido de atender às expectativas dos usuários quanto à sua semelhança com a realidade.

A complexidade envolvida na concepção da plataforma almejada é significativa uma vez que as atividades de manutenção em linha viva envolvem o manuseio de equipamentos e outras tarefas que não podem ser facilmente reproduzidas no ambiente virtual, especialmente no que diz respeito à resposta tátil. Por exemplo, a rigidez, inércia e peso de ferramentas e equipamentos exigem do electricista esforços que não serão igualmente exigidos em uma simulação em ambiente virtual.

Em um contexto mais geral, quatro modos distintos para utilização de um sistema de treinamento virtual são possíveis (ARENDAWSKI; TERMATH; MECKING, 2008):

1. navegação e exploração interativa livre no ambiente virtual 3D contemplando acesso a conteúdo didático multimídia;
2. apresentação com objetivo instrutivo de demonstrar como realizar determinada atividade;
3. simulação guiada onde o usuário realiza uma tarefa e é monitorado de tal forma que, ao cometer um erro, o sistema responderá podendo alertá-lo e demonstrar a maneira correta de fazer;

4. realização, por parte do usuário, de simulação livre e monitoração, por parte do sistema, de seu desempenho, de forma transparente, com apresentação do resultado ao final da experiência.

Segundo Arendarski, Termath e Mecking (2008), o modo mais eficiente em termos de aprendizado é o modo 4, pois o usuário é livre para agir e realizar a tarefa sem qualquer suporte ou ajuda.

Neste trabalho, quando a simulação é realizada, o treinando deverá realizar a sequência de ações no ambiente virtual como o faria na realidade. Basicamente, o treinando já na posição próxima ao condutor energizado, indicará ao sistema quais equipamentos serão usados selecionando-os na cena e indicando onde serão reposicionados. Assim, durante a simulação, as tarefas do usuário consistem em:

1. selecionar objetos na cena; e
2. movimentar o objeto de uma posição para outra.

O eletricitista deverá, a cada etapa, selecionar o objeto correto e reposicioná-lo, além de atentar para as distâncias e para a manipulação segura dos objetos.

Nesse contexto, a interface do sistema deverá oferecer *feedback* ao usuário constantemente, permitindo uma comunicação eficiente entre o sistema e o usuário para o controle da navegação, seleção e manipulação dos objetos da cena.

Em uma situação real, as equipes de linha viva são geralmente formadas por grupos de três ou mais profissionais. Na plataforma proposta, apenas um profissional é treinado por vez. A ênfase do ambiente está no treinamento do eletricitista que estará em contato direto com o condutor energizado. Assim, a simulação não irá representar exatamente o que ocorre na realidade, mas sim verificar e incrementar as habilidades e conhecimentos de um único aluno. A participação de mais alunos será na posição de espectadores. O sistema, portanto, pode ser classificado como monousuário, não-cooperativo.

2.3 Considerações Finais

Considerando as características do projeto RV-COPEL e as limitações existentes em termos de dispositivos, principalmente no que se refere à resposta tátil, o foco do sistema deve ser o aspecto cognitivo do treinamento, suprimindo aspectos relativos a habilidades motoras e força física. Sendo assim, o sistema deve permitir que o usuário indique ao sistema a sequência de ações que deseja realizar, reproduzindo os passos a serem executados em uma situação real. Busca-se, portanto, um aplicativo focado na função instrutiva do treinamento, ou seja, a simulação deve ser voltada à reprodução da sequência correta das ações a serem executadas.

Basicamente, a atividade no ambiente virtual consiste em selecionar um objeto da cena e instalá-lo sobre um equipamento ou então removê-lo. Pode-se dizer, portanto, que a interação com o ambiente virtual consiste em “pegar” um objeto em um lugar e “colocar” em outro. Assim, uma interface eficiente para manipulação de objetos na cena torna-se importante. No entanto, o desenvolvimento de mecanismos de interação em ambientes virtuais 3D não é uma tarefa simples, pois não existe até hoje um modelo geral, estabelecido e comprovadamente efetivo. A interação também compreende a navegação e controle da direção de visualização, o que representa outro desafio.

A seleção e manipulação de objetos virtuais no espaço, requer um esquema de *feedback* eficiente para que o sistema possa informar constantemente ao usuário que está “entendendo as suas intenções”. Para isso, as ações do usuário devem ser constantemente mapeadas, para que suas intenções sejam corretamente interpretadas pelo sistema. Além do mecanismo de interação, outros elementos que exigem definições são, por exemplo, o método de manutenção que será simulado e os dispositivos de interação e visualização que serão utilizados. Uma descrição detalhada sobre as definições assumidas e as soluções adotadas para a plataforma proposta é apresentada no Capítulo 5.

Capítulo 3

Tecnologias de *Games* e Realidade Virtual

Este capítulo apresenta conceitos, técnicas e ferramentas utilizadas em sistemas de realidade virtual. Na Seção 3.1 serão descritos alguns conceitos básicos e elementos relacionados à tecnologia de Realidade Virtual. Na Seção 3.2 é feito um levantamento sobre o estado da arte de dispositivos de interface e na Seção 3.3 são apresentados aspectos relacionados a interfaces tangíveis e computação ubíqua.

3.1 Fundamentação teórica

Para uma melhor compreensão do sistema que esse estudo busca propor, alguns conceitos relacionados à tecnologia de Realidade Virtual devem ser apresentados.

3.1.1 Conceituação de Realidade Virtual

Diferentes definições de RV¹ podem ser encontradas na literatura (BURDEA; COIFFET, 2003; VINCE, 2004), alguns autores a descrevem como a mais avançada interface do

¹http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality

usuário com o computador (KRUEGER, 1991; JACOBSON, 1991; HANCOCK, 1995; TORI; KIRNER, 2006). Neste trabalho define-se RV como um conjunto de técnicas avançadas de interface que buscam proporcionar ao usuário a sensação de estar fisicamente presente no ambiente virtual 3D. Idealmente, os mecanismos de interação utilizados em RV devem permitir ao usuário mover-se e interagir com o ambiente virtual de maneira natural e intuitiva, utilizando os conhecimentos que possui sobre o mundo real.

Essencialmente, as tecnologias utilizadas em sistemas de RV buscam proporcionar ao usuário a sensação de *imersão*, termo que se refere à sensação, obtida pelo usuário, de estar realmente inserido no “mundo virtual” (BURDEA; COIFFET, 2003; VINCE, 2004). Em outras palavras, o usuário sente a imersão quando “acredita estar dentro” do mundo virtual. Tal sensação é despertada por meio do uso de canais multissensoriais, ou seja, estímulos aos vários sentidos humanos.

Apesar de existirem pesquisas com dispositivos capazes de estimular o tato, o paladar e o olfato, a maioria dos sistemas de RV estimula apenas a visão e a audição. Por meio de sons e imagens 3D, como nas modernas salas de cinema, é possível alcançar um grau de imersão satisfatório para muitas aplicações.

Os sistemas de RV podem ser classificados em dois grandes grupos baseado no nível de interação e imersão proporcionado. Em um sistema considerado *não-imersivo*, a simulação é realizada, por exemplo, em um computador pessoal (PC) convencional, fazendo uso de mouse, teclado, joystick, dispositivo apontador, ou tela sensível ao toque (*touch screen*). Nos sistemas chamados *imersivos*, pode haver múltiplas telas, ou displays acoplados à cabeça (HMD - *Head Mounted Display*), luvas de dados (*data gloves*), sensores, rastreadores (*trackers*), dentre outros (LEE; WONG, 2008).

O termo *ambiente virtual* (STUART, 1996; PINHO, 2000; NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002; TORI; KIRNER, 2006) refere-se, no contexto de Realidade Virtual, a uma representação computacional do espaço e tempo, a qual geralmente reproduz diversos aspectos do mundo real ou abstrato, tais como: ponto de vista (câmera virtual),

iluminação, aparência, geometria, comportamento e disposição de objetos no espaço e tempo. Em outras palavras, o termo ambiente virtual refere-se ao cenário em que a navegação e a outras formas de interação ocorrem, permitindo ao usuário comunicar-se e experimentar a dinâmica entre ação e reação. A visão estereoscópica, o som 3D e respostas em tempo real às ações do usuário são elementos chave para prover imersão. Além desses, outros aspectos relevantes são a qualidade gráfica e a riqueza de detalhes do ambiente virtual.

Dessa maneira, a tecnologia de RV engloba tudo aquilo que é relativo à criação e aplicação de ambientes virtuais imersivos. O usuário interage com o ambiente virtual utilizando os chamados *dispositivos de interação*. Os múltiplos elementos necessários em uma aplicação de RV, tais como modelos geométricos, controles de dispositivos, comportamento do sistema e dos elementos em respostas às ações do usuário, devem ser integrados de forma harmônica e gerenciados de forma otimizada. Nesse sentido, é comum o uso de ferramentas computacionais que agrupem esses elementos em um grafo de cena, o qual irá organizar e representar o ambiente virtual durante a execução do aplicativo baseado em RV.

3.1.2 Grafos de cena

Um ambiente virtual é geralmente descrito por meio de um grafo de cena (MARTZ, 2007). Grafo² é uma estrutura matemática formada por nós, conectados entre si, e que armazena uma coleção de objetos de maneira organizada. Um grafo de cena, por sua vez, é uma estrutura hierárquica de dados, acíclica, que utiliza uma abordagem de alto nível para modelagem e gerenciamento de cenas em computação gráfica (WALSH, 2002; WOOLFORD, 2011; JUNIOR et al., 2006; GUANGWEI; ZHITAO, 2009; BEZERRA; DELAMARO; NUNES, 2011).

A estrutura hierárquica de objetos em um grafo de cena é usada para otimizar vários

²[http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_\(mathematics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_(mathematics))

procedimentos da aplicação (OSG, 2010). Por exemplo, uma cena contém várias casas, e cada uma delas contém vários quartos. Se uma casa estiver fora do campo de visão, automaticamente seus quartos também estarão. Isso representa uma vantagem significativa, pois é possível excluir grandes partes da cena que não contribuem para a imagem que está sendo visualizada naquele momento. Ou seja, objetos que não estão no campo de visão, ou não estão visíveis, não são processados pelo aplicativo. Outra característica importante da estrutura hierárquica de um grafo de cena é a facilidade para manipulação dos objetos da cena. Por exemplo, um carro é construído de várias partes como chassi e rodas e, portanto, pode ser modelado estabelecendo um elemento “carro” como pai, e os outros elementos como seus filhos. Para mover o carro, seria necessário apenas mover o elemento pai e todos os outros elementos seriam movidos automaticamente. Simplificadamente, um grafo de cena pode ser comparado a uma árvore, todos os galhos estão presos ao caule e as folhas aos galhos, assim, removendo o caule remove-se os galhos e as folhas também.

3.1.3 Computação Ubíqua e Interfaces Tangíveis

Em termos de interface, um conceito que tem sido aplicado para gerar formas inovadoras de interação é o de *Computação Ubíqua* (SAHA; MUKHERJEE, 2003). O termo foi introduzido por Mark Weiser (WEISER, 1994) e refere-se a um modelo de computação que pode ser integrado ao ambiente como parte do cotidiano dos usuários sem sobrecarregá-lo. Trata-se de uma computação invisível ou imperceptível, inteligente e altamente integrada entre diferentes computadores, usuários e aplicações.

A efetividade de interfaces ubíquas requer avanços na capacidade de comunicação entre humanos e computadores, com vistas a tornar a interação o mais natural possível. O desafio nesse sentido é desenvolver interfaces capazes de reconhecer gestos e expressões e aliar esses dados ao contexto das operações tornando o computador cada vez mais invisível para o usuário final.

As interfaces tangíveis correspondem a uma subárea da Computação Ubíqua e buscam mudar o paradigma tradicional de entrada e saída de dados, criando novas possibilidades de interação que juntam o mundo físico e o digital (FALCAO; GOMES, 2006). A ideia básica é embutir elementos computacionais em materiais concretos de tal forma que as interações realizadas em artefatos físicos são mapeadas em informações digitais e utilizadas na interação do usuário com o sistema computacional.

3.1.4 Simulação física e detecção de colisão

O realismo de um objeto virtual pode ser considerado com base em dois aspectos principais: aparência e comportamento (CHAE; KO, 2008). Uma aparência realística pode ser obtida por meio de técnicas de rendering como mapeamento de texturas e iluminação. Um comportamento físico realístico requer um processamento numérico envolvendo cálculos baseados nas leis da física. Esse processamento pode ser realizado, por exemplo, por meio do chamado Motor de Física (MF), ou seja, *engine*, biblioteca ou kit de desenvolvimento para simulação física (O'BRIEN; HODGINS, 1999; NOURIAN; SHEN; GEORGANAS, 2006; CHAE; KO, 2008; CHAN; CHOI, 2009; CHALMERS; DEBATTISTA, 2009; PHYSX, 2010; SHEN; SUN, 2011).

Um MF consiste de rotinas computacionais que simulam sistemas físicos tais como a dinâmica de corpos rígidos, incluindo detecção de colisão, além de sistemas de partículas, ondas e objetos deformáveis tais como tecidos e, também, fluidos (SHEN; SUN, 2011). O uso de um MF permite ao desenvolvedor concentrar-se nas funcionalidades de alto nível uma vez que esconde os detalhes de baixo nível da física necessária para a aplicação (JUANG; HUNG; KANG, 2011).

As principais aplicações encontram-se nas áreas da computação gráfica, desenvolvimento de *games* e cinema. O nível de realismo provido por um MF está diretamente relacionado com o nível de precisão dos resultados do processamento numérico envolvido. Muitos MFs estão disponíveis atualmente e algumas delas são *open source* (códigos fonte

abertos). Alguns exemplos são: PhysX ³, Havok ⁴, Bullet ⁵, Open Dynamic Engine ⁶ e PixeLux DMMengine ⁷. Nourian, Shen e Georganas (2006) apresentam o desenvolvimento de um MF extensível, chamada *xPheve*, a qual oferece certa flexibilidade pois possibilita personalizar as leis físicas envolvidas de forma a possibilitar uma melhor adequação às necessidades da aplicação final.

Uma simulação física de alta precisão requer maior poder de processamento para realizar os cálculos de forma acurada e é comumente utilizada em simulações de cunho científico ou para filmes de animação computacional, em que um maior tempo de processamento pode ser despendido. Simulações físicas em tempo real são aquelas utilizadas em *games* e outras formas de sistemas interativos, os quais necessitam de respostas rápidas e, portanto, a simulação é simplificada e menos precisa (SHEN; SUN, 2011).

Nas simulações em tempo real, a *detecção de colisão*, ou seja, o problema matemático-computacional de detectar a interseção de dois ou mais objetos, é feita, muitas vezes, utilizando-se uma *malha*⁸ mais simples do que aquela que representa o objeto visível ao usuário (SHEN; SUN, 2011; JIE; JINGYA; LU, 2011). Dessa maneira, em um *game*, um objeto é geralmente representado por duas malhas, uma delas complexa, altamente detalhada, e visível. A outra simples e invisível, utilizada apenas para o processamento físico da colisão, é a chamada *malha de colisão*. Algumas vezes, para reduzir ainda mais o custo computacional, o algoritmo de detecção de colisão realiza o processamento em duas etapas, na primeira cria o chamado *bounding volume* ⁹, que pode ser uma caixa (*bounding box*) ou uma esfera (*bounding sphere*), que envolve o objeto e serve como uma malha de colisão extremamente simplificada. Então, em uma segunda etapa, somente aqueles objetos cujos *bounding volumes* estão colidindo são processados novamente com maior

³<http://developer.nvidia.com/object/physx.html>

⁴<http://www.havok.com/>

⁵<http://bulletphysics.org/>

⁶<http://www.ode.org/>

⁷<http://www.pixelux.com/DMMengine.html>

⁸Em Computação Gráfica, um sólido é geralmente representado por uma *malha*, isto é, um poliedro descrito por coordenadas de pontos no espaço 3D (vértices) e segmentos de retas (arestas) ligando esses pontos.

⁹http://en.wikipedia.org/wiki/Bounding_volume

acurácia. Ou seja, os cálculos realizados pelo algoritmo para decidir se está ocorrendo intersecção entre os objetos sólidos é executado para uma malha mais refinada.

3.1.5 Dispositivos de interação

Os dispositivos de interação, também chamados de dispositivos de interface ou de Entrada e Saída de dados (ES), são utilizados para que o usuário possa se comunicar com o sistema computacional, ou seja, enviar e receber informações. Em sistemas de RV, os dispositivos de interação são utilizados para interagir com o ambiente virtual, ou seja, é por meio deles que o usuário realiza ações e experimenta as reações e respostas do sistema. Os dispositivos de ES mais utilizados em computadores pessoais são o monitor, o mouse, o teclado, além de microfones, leitores biométricos e *joysticks* (controles típicos para *games*). Em sistemas de RV, os dispositivos de interação buscam prover uma interface mais intuitiva do que as interfaces convencionais, de tal forma que a utilização do aplicativo se torne tão simples e natural que possa provocar no usuário a sensação de *imersão*, ou seja, acreditar estar inserido no ambiente virtual 3D.

Alguns exemplos de dispositivos de saída de dados, usados em sistemas de RV, são os HMDs, que são capacetes ou óculos com displays acoplados; as chamadas *Cave Automatic Virtual Environments (CAVEs)*, que são estruturas com várias telas feita para comportar e isolar o usuário do ambiente externo; equipamentos com retorno de força (*force-feedback*); equipamentos de áudio e vídeo em geral.

Exemplos de dispositivos de entrada frequentemente utilizados em sistemas de RV são a luva de dados (*dataglove*), que possui sensores capazes de captar movimentos das mãos do usuário; o mouse para navegação 3D e os dispositivos de *tracking* usados para rastrear informações de posição, rotação e aceleração. Além desses, comandos de voz, esteiras, controles com alavancas, volantes e muitos outros podem ser utilizados conforme a aplicação.

Um dos recursos comumente utilizados em sistemas de RV para provocar a sensação

de imersão é o chamado vídeo 3D, ou estereoscópico (SISCOUTTO et al., 2006), o qual provê a sensação de profundidade nas imagens observadas. A visão tridimensional que temos do mundo é resultado da interpretação realizada pelo cérebro das duas imagens bidimensionais, captadas por cada um dos olhos. A visão de um olho difere da visão do outro em razão da distância entre os olhos, que é de aproximadamente 6,5 cm em média.

Em computação gráfica, a estereoscopia pode ser obtida por meio da geração de duas imagens, uma para cada olho, a partir do posicionamento de duas câmeras virtuais separadas por uma determinada distância. Esse par de imagens pode ser gerado por bibliotecas ou ferramentas de desenvolvimento como a Open Scene Graph ¹⁰. Diversos fatores influenciam na qualidade da estereoscopia. Para obter um resultado satisfatório, em alguns casos, é preciso configurar parâmetros, como a distância entre os olhos e o tamanho do *display*.

Devido à fundamental importância que as tecnologias de interface têm no desenvolvimento de um sistema de RV, a seção seguinte irá apresentar o resultado de um levantamento sobre o estado da arte dos dispositivos de interação.

3.2 O Estado da arte dos dispositivos de interação

Pesquisas têm sido feitas buscando desenvolver dispositivos especiais de interface, que possam prover o usuário de mecanismos mais avançados de interação com o computador (BOWMAN et al., 2004; NI; BOWMAN; CHEN, 2006; FALCAO; GOMES, 2006; VERHAEGH; FONTIJN; JACOBS, 2008; ISHII, 2008; LAVIOLA, 2008; KULIK et al., 2009; MAKSAKOV; BOOTH; HAWKEY, 2010). A popularidade do telefone celular iPhone ¹¹ da Apple e do console de *games* Nintendo Wii ¹², são exemplos da importância que a usabilidade de um produto, em termos de interface, representa.

Em sistemas de RV, os dispositivos de interface buscam reproduzir situações próximas

¹⁰<http://www.openscenegraph.org/>

¹¹<http://www.apple.com/br/iphone/>

¹²<http://www.nintendo.com/wii>

àquelas vivenciadas na realidade. Por exemplo, um simulador de vôo baseado em RV para treinamento de pilotos possui uma cabine de comando idêntica àquela encontrada no avião. Certamente todos os controles e mostradores da cabine poderiam ser, de alguma forma, mapeados para um conjunto de dispositivos tais como *joystick*, teclado, sistema de som e monitores. No entanto a imersão e a efetividade do treinamento certamente estariam comprometidas.

Em termos gerais, um aspecto importante em muitos sistemas de RV é a navegação, ou locomoção, no ambiente virtual. Pesquisas têm sido realizadas nos últimos anos no sentido de desenvolver dispositivos em que o usuário possa caminhar no ambiente virtual da forma mais natural possível. Isso significa caminhar sobre alguma estrutura e ter a sensação de estar andando livremente no mundo virtual. Dessa maneira, o usuário pode percorrer virtualmente grandes distâncias, porém, estando fisicamente limitado a uma pequena área.

O dispositivo chamado VirtuSphere¹³, por exemplo, consiste de uma estrutura esférica sobre o qual o usuário pode caminhar livremente, em qualquer direção, tendo a sensação de estar se locomovendo. No entanto, a esfera gira em torno de seu centro e, portanto, permanece no mesmo lugar. O usuário, utilizando óculos do tipo HMD, enxerga o cenário virtual se deslocando como se o próprio usuário estivesse se locomovendo (Fig. 3.1a). Outros dispositivos são o CyberWalk¹⁴, que consiste de uma esteira plana omnidirecional (Fig. 3.1b) e o CirculaFloor¹⁵ que é um equipamento baseado em um conjunto de plataformas móveis, como se fossem ladrilhos móveis controlados por computador (Fig. 3.1c).

A universidade de Tsukuba, no Japão, tem desenvolvido dispositivos de locomoção como esses. Além do CirculaFloor, a universidade apresentou no SIGGRAPH¹⁶, uma das mais importantes conferências internacionais sobre computação gráfica e técnicas

¹³<http://www.virtusphere.com/>

¹⁴<http://www.cyberwalk-project.org/>

¹⁵<http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/CirculaFloor/>

¹⁶<http://www.siggraph.org/>



Figura 3.1: Exemplos de dispositivos de locomoção: (a) VirtuSphere, (b) CyberWalk e (c) CirculaFloor.

interativas, o Powered Shoes¹⁷ em 2006 e o String Walker¹⁸ em 2007. O primeiro é um par de patins com motores que permitem ao usuário locomover-se em um ambiente virtual enquanto permanece fisicamente no mesmo lugar. O segundo, para a mesma finalidade, usa oito cordas acionadas por polias motorizadas montadas em uma engenhosa plataforma giratória. A Figura 3.2 mostra esses dois dispositivos.

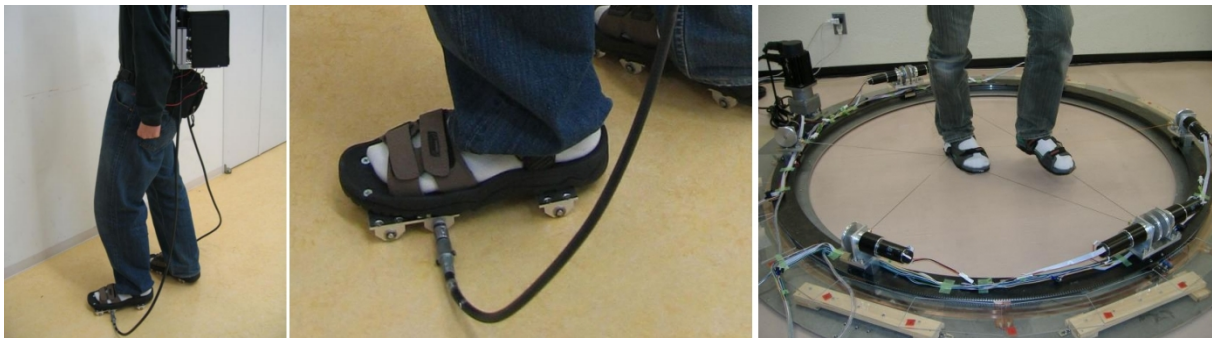


Figura 3.2: Exemplos de dispositivos de locomoção: (a) e (b) PoweredShoes, (c) StringWalker.

A principal característica dos dispositivos mostrados nas Figuras 3.1 e 3.2 é prover um mecanismo para que o usuário possa se locomover no ambiente virtual caminhando (ou marchando) como o faz genuinamente.

Outra categoria de dispositivo para navegação, mais simples, é conhecido como navegador 3D, que pode ser tipo joystick ou mouse 3D. Com um navegador 3D, o usuário pode deslocar-se livremente pelo espaço como se estivesse voando. Existem muitos mode-

¹⁷<http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/poweredschoes/poweredschoes.j.html>

¹⁸<http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/stringwalker/stringwalker.html>

los de *joystick* e *mouse* 3D, cuja principal característica é prover o usuário de seis graus de liberdade (translação e rotação nas três direções).

Uma das dificuldades da navegação 3D é a definição da velocidade. Com um navegador sensível à pressão aplicada, basta aumentar a força para dar maior velocidade ao movimento. A Figura 3.3 ilustra os movimentos permitidos com o dispositivo chamado Space Navigator¹⁹.

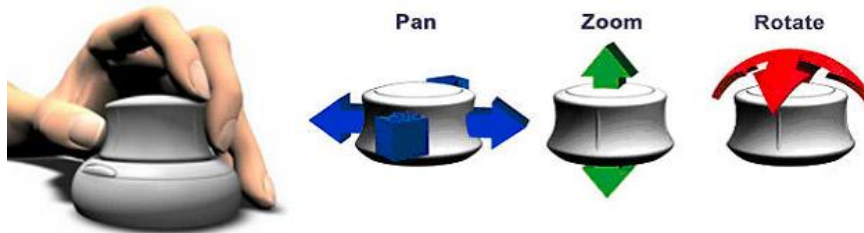


Figura 3.3: O Space Navigator e os movimentos permitidos.

A principal vantagem de um dispositivo de navegação 3D sobre um mouse e teclado é a facilidade de realizar ajustes para a câmera virtual, a qual define o ponto de vista e, portanto, a imagem renderizada na tela. Usando o mouse e o teclado, a variação na movimentação só é possível por meio de etapas distintas e interrupções, para prover as manobras nos seis graus de liberdade. Os dispositivos de navegação 3D permitem a navegação livre e suave, além da execução simultânea de comandos, utilizando o teclado, por exemplo, tornando mais ágil a realização de tarefas.

Existem atualmente muitos modelos de navegadores 3D. Por exemplo, a empresa Logitech²⁰ dispõe de diversos modelos de *joystick*, com ou sem fio, contemplando ou não resposta de força. A empresa Immersion²¹ disponibiliza, dentre muitos dispositivos, o mouse 3D Soft Mouse. No sítio da empresa 3D Connection²², além do SpaceNavigator, encontram-se descritos o SpacePilot e o SpaceExplorer. A Figura 3.4 mostra esses modelos.

Além dos navegadores 3D, outros dispositivos não convencionais de interação têm sido,

¹⁹<http://www.3dconnexion.com/products/spacenavigator.html>

²⁰<http://www.logitech.com/>

²¹<http://www.immersion.com/>

²²<http://www.3dconnexion.com/>



Figura 3.4: Alguns modelos de navegador 3D.

ao longo de décadas, desenvolvidos e experimentados em sistemas de RV. Um exemplo bem conhecido é o par de luvas chamadas *Data Glove* cujas características (número e tipo de sensores) variam bastante de um modelo para outro. Alguns modelos são a SyberGlove²³ e a 5DT Data Glove²⁴. Algumas provêm resposta tátil, ou resposta de força, sendo dotadas de uma espécie de exoesqueleto mecânico. Na Figura 3.5 são apresentados alguns modelos.



Figura 3.5: Alguns Modelos de Data Glove.

Em termos de resposta de força, um mesmo dispositivo executa a entrada e a saída de dados. A Figura 3.6 mostra alguns dispositivos com resposta de força. O sistema Inca 6D da Haption²⁵, é um exemplo de dispositivo em larga escala. A Haption dispõe de outros dispositivos como o Virtuouse 6D, que é uma espécie de concorrente para o Phantom da SensAble²⁶.

A Figura 3.7 mostra os dispositivos Haptic Workstation²⁷ e o Inca 6D²⁸.

Outro exemplo de dispositivos de entrada são os *trackers*, ou rastreadores de posição.

²³<http://www.cyberglovesystems.com/>

²⁴<http://www.5dt.com/products/pdataglove5u.html>

²⁵<http://www.haption.com/site/eng/html/materiel.php>

²⁶<http://www.sensable.com/haptic-phantom-premium-6dof.htm>

²⁷<http://www.cyberglovesystems.com/products/haptic-workstation/overview>

²⁸<http://www.haption.com/site/eng/html/materiel.php>



Figura 3.6: Alguns modelos de dispositivos com resposta de força.

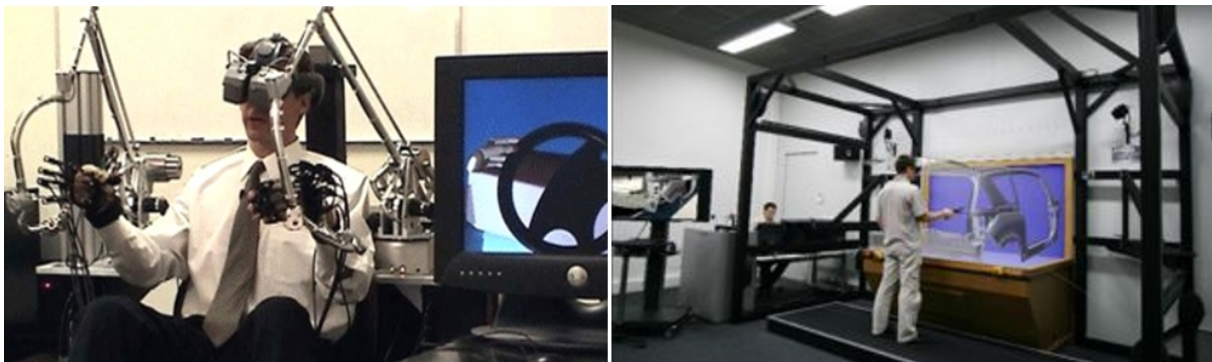


Figura 3.7: Haptic Workstation e Inca 6D.

Rastrear uma posição no espaço é uma ponte importante entre os ambientes físico e virtual. Diferentes tecnologias são utilizadas na construção de dispositivos rastreadores de posição. Dentre elas há as que usam princípios magnéticos, mecânicos, acústicos e óticos.

Rastreadores que utilizam sensores magnéticos, como o Ascension²⁹, ou o Polhemus³⁰ (Figura 3.8), são rápidos e precisos. Entretanto, por serem sensíveis a variações no campo eletromagnético que os circunda, podem introduzir erros causados por quaisquer objetos de metal próximo. Isso acarreta erros na posição e na orientação que não são fáceis de compensar.

Os rastreadores óticos oferecem precisão a um relativo baixo custo. Alguns exemplos

²⁹<http://www.ascension-tech.com/>

³⁰<http://www.polhemus.com/>



Figura 3.8: Rastreadores de posição da Polhemus.

são A.R.T³¹, Vicon³², Motion Analysis³³, IO Tracker³⁴ e Natural Point³⁵. O princípio básico do funcionamento da maioria dos rastreadores óticos consiste em fixar um conjunto de pequenas esferas reflexivas no objeto ou corpo a ser rastreado. Assim, emitindo luz infravermelha sobre essas esferas e captando suas imagens por meio de câmeras infravermelho, é possível calcular a posição real das esferas no espaço e, então, rastrear a posição e rotação desse corpo. A Figura 3.9 mostra alguns modelos de rastreadores óticos.



Figura 3.9: Exemplo de alguns modelos de rastreadores de posição óticos

Uma desvantagem dos rastreadores óticos é a oclusão, ou seja, quando há um obstáculo entre a o rastreador e o objeto a ser rastreado, o que impede que o rastreador ótico identifique o objeto de interesse. A oclusão só pode ser contornada com o uso de várias câmeras levando a um aumento do custo do conjunto de *hardware*. Outro problema é que, para desempenhar o rastreamento de forma satisfatória, o campo de visão das

³¹<http://www.ar-tracking.de/>

³²<http://www.vicon.com/products/ViconTracker.html>

³³<http://www.motionanalysis.com/>

³⁴<http://www.iotracker.com/>

³⁵<http://www.naturalpoint.com/>

câmeras deve estar livre de reflexos e brilhos, limitando assim o tipo de ambiente onde esse rastreador pode ser usado.

Rastreadores inerciais é outra opção, tais como os desenvolvidos pela XSens³⁶. Esses dispositivos são autônomos, pois não há necessidade de um ponto externo para obtenção de dados, no entanto podem gerar erros no cálculo de distâncias ao integrar os dados obtidos de forma discreta (não contínua). Por essa razão, algumas companhias utilizam tecnologia mista, desenvolvendo rastreadores que combinam sensores inerciais e óticos para um resultado ótimo. São exemplos deste tipo de rastreador os desenvolvidos pela Intersense³⁷ e WorldViz³⁸.

O chamado *fishtank*, como descreve Ware, Arthur e Booth (1993), é um esquema envolvendo a visualização estereoscópica de uma cena 3D em um monitor, em que a projeção perspectiva da cena depende da posição da cabeça do observador. Ou seja, a perspectiva da cena visualizada varia dinamicamente com o ponto de vista do observador.

O rastreamento da posição da cabeça (*head tracker* ou *head-coupled technique*), permite aos usuários experimentar a sensação de tridimensionalidade e observar objetos oclusos por outros, sem haver necessidade do uso de outro dispositivo de navegação além dos movimentos naturais da cabeça (MAKSAKOV; BOOTH; HAWKEY, 2010). A Fig.3.10 mostra alguns dos dispositivos utilizados para mapear o ponto de vista do usuário. É possível observar a evolução dessa tecnologia, em que o primeiro modelo (Fig.3.10a) possuía um sistema mecânico, depois evoluiu para um sistema baseado em vídeo (Fig.3.10b) e, hoje, diferentes tipos de sensores podem ser usados (Fig.3.10c).

Dispositivos típicos em sistemas de RV são os HMDs. Apesar de teoricamente prover alto nível de imersão, a maioria dos modelos oferece baixa resolução e pequeno campo de visão, como pode ser observado em Bernatchez (2011). Além disso, muitos modelos não isolam a visão do usuário, ou seja, mesmo utilizando o dispositivo, ainda é possível ver o ambiente real em que o observador está inserido, o que reduz a sensação de imersão.

³⁶<http://www.xsens.com/>

³⁷<http://www.intersense.com/>

³⁸<http://www.worldviz.com/products/ppt/index.html>

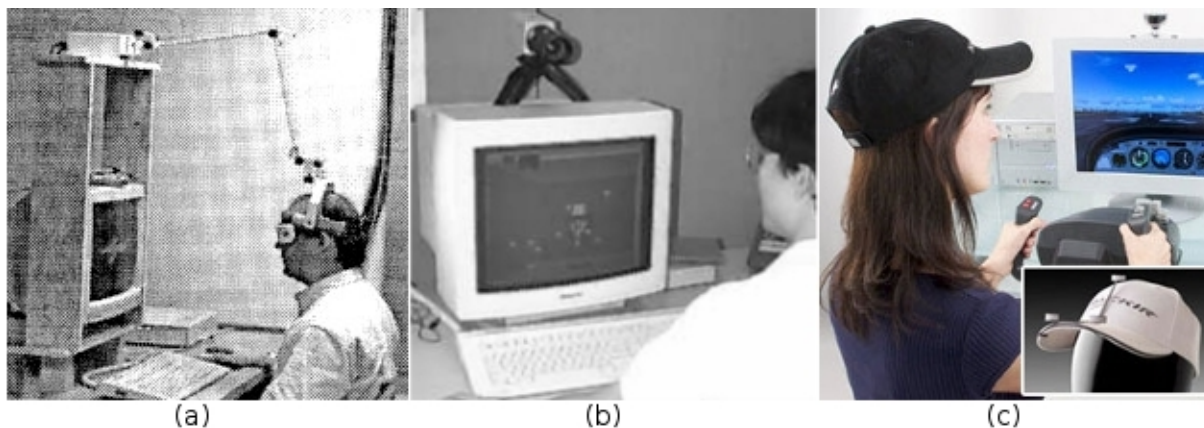


Figura 3.10: Exemplos de sistemas do tipo *fishtank*: (a) obtido de Ware, Arthur e Booth (1993), (b) obtido de Rekimoto (1995) e (c) de TrackIR (www.naturalpoint.com).

Alguns HMDs, chamados panorâmicos, oferecem um campo de visão maior o que melhora a imersão. No entanto o tamanho e o peso (de aproximadamente 1 kg, no caso do piSight) podem limitar seu uso em algumas aplicações (ver Fig.3.11).



Figura 3.11: HMD panorâmico Sencics piSight (<http://sencics.com/products/pisightSection/>).

Observa-se que dispositivos como HMDs e luvas com sensores têm sido experimentados e descritos na literatura há alguns anos. No entanto, parece não existir de fato uma relevância operacional em aplicações práticas. A razão disso ocorrer pode ser atribuída ao alto custo desses equipamentos, à dificuldade de operação e manutenção e à fragilidade que apresentam. Por outro lado, no que se refere a *games* e entretenimento, interfaces inovadoras têm ganhado popularidade e aquecido o mercado. Tais dispositivos apresentam potencial de serem utilizados em aplicações nas mais diversas áreas (TAS; ALTIPARMAK; TOSUN, 2009; WINGRAVE et al., 2010; PHEATT; GOERING, 2010; STOWERS; HAYES;

BAINBRIDGE-SMITH, 2011; SANTOS; LAMOUNIER; CARDOSO, 2011; FRATI; PRATTICIZZO, 2011; RUTHER; LENZ; BISCHOF, 2011).

Em novembro de 2006 a Nintendo lançou o console Wii ³⁹, uma plataforma de *games* que possuía um inovador conjunto de dispositivos para navegação e interação (Fig. 3.12). O explosivo crescimento da popularidade do Wii, em grande parte devido à forma inovadora de jogar, utilizando o controle Wii Remote, resultou em 20 milhões de consoles vendidos em todo o mundo em apenas um ano de seu lançamento (LEE, 2008).



Figura 3.12: Dispositivos do Nintendo Wii.

O Wii Remote, ou simplesmente Wiimote, é um controle sem fio que possui, além de diversos botões, acelerômetros e uma câmera infravermelho. Com esse conjunto de sensores o Wiimote permite capturar e utilizar os movimentos corporais para jogar. Por exemplo, em um jogo de luta de Boxe, ao invés do usuário apertar um botão para dar um soco, ele o faz dando um soco no ar enquanto segura o Wiimote. Em 2009 foi lançado também o Wii Motion Plus, que melhora a precisão e o tempo de resposta dos acelerômetros.

Depois da Nintendo, outras empresas, como as concorrentes Sony e Microsoft também apresentaram evoluções para as interfaces de seus consoles Playstation e Xbox, respectivamente. O Playstation Move⁴⁰ funciona de forma semelhante ao sistema da Nintendo, mas com maior precisão. Ele utiliza uma esfera luminosa, uma câmera, dois sensores inerciais e um magnetômetro para captar os movimentos. A câmera capta as cores do ambiente e o sistema faz a esfera brilhar numa cor diferente, fácil de distinguir. A esfera pode brilhar com 360 cores distintas. A distância do controle à tela é calculada pelo tamanho da esfera captada pela câmera. Os sensores inerciais (acelerômetros) são usa-

³⁹<http://wii.com/>

⁴⁰<http://us.playstation.com/ps3/playstation-move/>

dos para captar a rotação do controle e seu movimento geral. O magnetômetro mede a orientação do campo magnético da Terra e calibra os sensores inerciais. Outro controle sem fio também acompanha o conjunto, o chamado Navigation Controller, o qual possui as funcionalidades convencionais de um *joystick*.

A proposta da Microsoft parece ser a mais inovadora, uma vez que dispensa o controle e o jogador utiliza apenas seu próprio corpo. Isso é possível porque o dispositivo Kinect⁴¹ (Fig. 3.13) possui duas câmeras, uma delas é uma câmera comum, com resolução de 640 por 480 *pixels*, usada para reconhecimento de face e exibição de vídeos, e a outra é uma câmera infravermelho usada para captar profundidade. A câmera infravermelho capta o calor e faz um “mapa de calor” do jogador. Com isso, os membros do jogador que estão mais próximos da tela ficam mais destacados, e dessa forma o sistema de processamento consegue distinguir os movimentos. Além disso, o sistema também conta com reconhecimento de voz.



Figura 3.13: Nintendo Wii, Play Station Move e Microsoft XBox 360 com Kynect.

A grande contribuição que a indústria de *games* está oferecendo ao desenvolvimento de pesquisas em RV é, sem dúvida, a de oferecer opções de dispositivos de alta tecnologia a preços considerados baixos. Uma vez que esses dispositivos são produzidos e comercializados em alta escala, o preço para o consumidor final torna-se consideravelmente menor. Então, programadores espalhados pelo mundo concentram esforços em aplicar engenharia reversa e desenvolver *drivers* para poder utilizar dispositivos como o Wiimote e o Kinect em seus computadores. Assim, uma vez escrito o *driver*, este pode ser compartilhado

⁴¹<http://www.xbox.com/pt-br/kinect>

na internet e, então, milhares de pesquisadores podem desenvolver aplicações diversas, muitas delas com finalidade científica ou de engenharia utilizando tais dispositivos.

Alguns meses após seu lançamento, uma empresa americana ofereceu uma recompensa de USD 2000 para quem desenvolvesse o primeiro *driver* de código aberto para o Kinect⁴². Rapidamente a Microsoft se manifestou contra a iniciativa, mas após alguns dias mudou de opinião e anunciou que ela própria disponibilizaria um SDK (*System Development Kit*) para desenvolvimento de aplicações alternativas para o Kinect.

Em declaração ao canal britânico BBC, um diretor da Microsoft explicou que a empresa consideraria pirataria caso os *hackers* tivessem criado um dispositivo semelhante ao Kinect a partir de sua tecnologia⁴³. No caso de Hector Martín, programador de Linux que conseguiu ser a primeira pessoa na Europa a “hackear” o Kinect, ele simplesmente “escreveu um *driver* de código aberto para usá-lo em um PC e isso significa abrir a conexão USB que não se encontra protegida”.

Aplicações utilizando os dispositivos para o Nintendo Wii podem ser desenvolvidas com auxílio da biblioteca WiiYourself⁴⁴, no caso de plataforma baseada em MS Windows. Para o Linux tem-se, por exemplo, a biblioteca CWiid⁴⁵. Para o Kinect, um driver pode ser obtido na página pessoal de Oliver Kreylos⁴⁶.

Em relação a *displays*, a novidade é a popularização dos televisores digitais 3D. Segundo um relatório da DisplaySearch (DISPLAYSEARCH, 2010), em relação às vendas de TVs 3D-Ready em todo o mundo, é esperado um aumento de 200 mil unidades em 2009 para 64 milhões em 2018. A empresa, líder em pesquisas de mercado e consultoria especializada, prevê que a venda de displays estereoscópicos 3D irá subir de 0,7 milhões de unidades em 2008 para 196 milhões de unidades em 2018. Ainda segundo a DisplaySearch, o mercado de monitores 3D, que é incentivado pelo sucesso recente do cinema 3D e

⁴²<http://www.techeye.net/software/microsoft-furious-at-2000-bounty-for-open-source-kinect-drivers>

⁴³http://idgnow.uol.com.br/computacao_pessoal/2010/11/22/microsoft-aprova-o-201chackeamento201d-do-kinect/

⁴⁴<http://wiiyourself.gl.tter.org/>

⁴⁵<http://abstrakraft.org/cwiid/>

⁴⁶<http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/Kinect/>

pelo aumento da disponibilidade de conteúdo 3D, irá decolar a partir de 2010, fornecendo um impulso para a indústria eletrônica, como ilustrado na Figura 3.14.

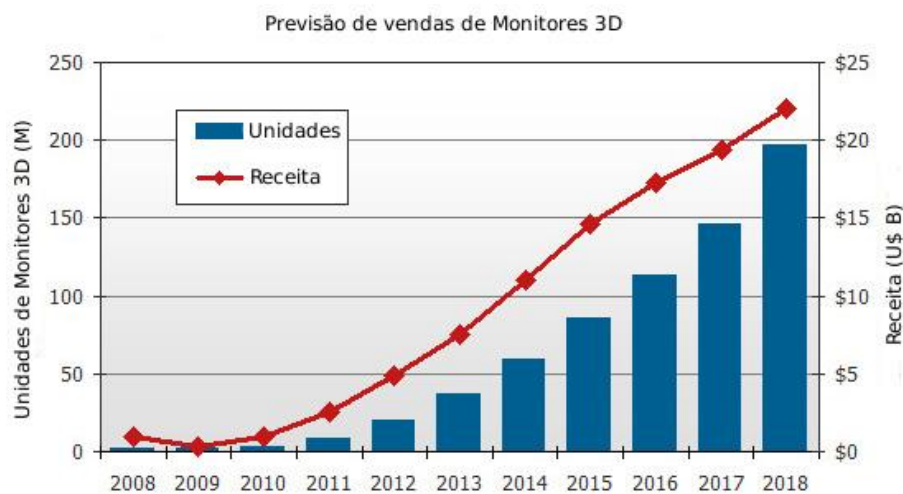


Figura 3.14: Previsão do aumento das vendas mundiais de monitores 3D nos próximos anos. Fonte: *3D Display Technology and Market Forecast Report* (www.digitalhome.ca).

Além disso, os padrões definidos para a TV digital exigem uma considerável capacidade de processamento computacional, o que tem incentivado o surgimento de um novo mercado para desenvolvedores de software: a construção de aplicativos interativos para TV (PEQUENO et al., 2010). O surgimento de aplicações interativas para TV digital ao redor do mundo criou expectativas altas e investimento nesse novo nicho de mercado. Entretanto, a grande maioria das aplicações são 2D e direcionadas a vendas de produtos pela TV, como ocorre na internet. Novas possibilidades aparecem, por exemplo, em termos de aplicações 3D para treinamento e educação.

Com base nos argumentos acima, é possível inferir que aplicativos desenvolvidos para plataformas baseadas em dispositivos para consoles de *games* e televisores 3D poderão ter maior difusão do que aqueles desenvolvidos para plataformas baseadas em CAVEs, HMDs e *Data Glove*. A tendência é que o custo de dispositivos de *games* e televisores 3D decraça próximos anos, conseqüentemente, as vendas tendem a aumentar e as tecnologias relacionadas continuarão a evoluir rapidamente. Com isso o acesso a esses dispositivos de hardware, seja no escritório, em casa ou na empresa, será maior e mais fácil. Além disso,

sensores como câmeras e microfones, ou então a combinação de vários sensores em um dispositivo como o Kinect ou o Wiimote, de certa forma, podem ser usados no desenvolvimento de interfaces mais discretas, ou “invisíveis”, no contexto de Weiser (1994), ou seja, interfaces ubíquas. Esse fato desencadeia novas possibilidades em termos de aplicações baseadas em G&RV para ciências, engenharia, educação e treinamento.

Na próxima seção é apresentado um estudo mais detalhado sobre interfaces pervasivas, abordando também o conceito de interface tangível.

3.3 O estado da arte em Computação Ubíqua e Interfaces Tangíveis

A Computação Ubíqua, como já foi citado, refere-se a um tipo de computação que é onipresente e praticamente imperceptível, ou invisível (WEISER, 1994). Nesse contexto, invisibilidade significa que a interface é tão natural e intuitiva, que os usuários passam a não perceber que estão interagindo com computadores ininterruptamente, por meio de suas ações naturais.

Tratando-se de interfaces, os vários tipos de sensores disponíveis atualmente provêm meios de se desenvolver sistemas ubíquos de captura de informações tais como localização de pessoas e de dispositivos. A captura dessas informações pode ser feita de maneira suficientemente discreta proporcionando um meio de interação mais natural e “invisível” entre o mundo virtual e seus usuários (SAHA; MUKHERJEE, 2003).

Dispositivos de uso diário agora possuem conectividade e diversas tecnologias incorporadas e estão se tornando progressivamente menores e mais poderosos. É o resultado do avanço tecnológico fortemente associado à ideia de que praticamente qualquer dispositivo, desde roupas, ferramentas, aparelhos domésticos, carros, casas e até mesmo uma caneca de café, podem ser equipados com chips para se conectarem a uma rede infinita de outros dispositivos. O objetivo da computação ubíqua, que combina redes, computação sem fio,

reconhecimento de voz, visão, internet e inteligência artificial, dentre outras tecnologias, é criar um ambiente onde a conectividade entre dispositivos está de tal forma incorporada que se torna invisível, porém sempre disponível.

Para alcançar o objetivo de desenvolver aplicativos que possam realmente prover uma interação invisível, é necessário, primeiramente, criar interfaces efetivamente simples e naturais. A forma mais primitiva que uma pessoa tem para interagir com outra pessoa, por exemplo, é a utilização da fala, gestos, presença no ambiente ou até mesmo a movimentação dos olhos. Nesse nível de interação, o teclado e o mouse não têm nenhuma função.

Um segundo passo para alcançar uma computação realmente ubíqua é criar um sistema que seja sensível ao contexto, ou seja, uma tecnologia que possa reagir, por exemplo, à presença de uma pessoa ou qualquer tipo de movimento corporal, tal como movimentação dos braços, dedos, cabeça, olhos e até movimentos e feições faciais.

Como argumenta Weiser (1994), uma boa ferramenta é uma ferramenta invisível, no sentido de permitir que o usuário se concentre na tarefa e não na ferramenta. Um par de óculos, por exemplo, é uma boa ferramenta, pois o usuário olha para o mundo e não para os óculos. O deficiente visual tocando a vareta sente a rua, não a vareta. As boas ferramentas, definitivamente, devem promover sua própria invisibilidade. Infelizmente, as metáforas comuns de interação com o computador estão longe de tornarem a ferramenta invisível, pois geralmente fazem da ferramenta o centro das atenções. Weiser finaliza seu artigo argumentando que nossos computadores deveriam ser como a nossa infância, ou seja, uma base invisível, pois facilmente deixamos de pensar nela, mas sempre está conosco e intuitivamente a usamos em todos os aspectos de nossas vidas.

As Interfaces Tangíveis (TUIs – *Tangible User Interfaces*) representam uma nova forma de encarar a concepção de Weiser sobre computação ubíqua, movendo a tecnologia digital para fora da tela do computador e trazendo-a para o mundo físico. As TUIs buscam utilizar formas físicas que se integram ao ambiente com o objetivo de utilizar as

habilidades hápticas do usuário para comunicar-se com o sistema computacional. Embora dispositivos convencionais como teclado, *mouse* e *display* também sejam objetos físicos, em uma TUI, busca-se oferecer uma representação física mais integrada ao contexto da aplicação e um forte “acoplamento” entre a forma e o posicionamento do objeto com a informação digital que ele representa.

A ideia chave é dar forma física à informação digital, possibilitando a representação de informações digitais e o controle de aplicativos utilizando objetos concretos e palpáveis (ISHII; ULLMER, 1997). Esse tipo de interface torna a informação digital diretamente manipulável e perceptível por meio dos nossos sentidos periféricos. Uma interface tangível oferece aos usuários o acesso simultâneo a múltiplos dispositivos de entrada especializados, permitindo a manipulação física e arranjos espaciais. O sistema computacional pode, então, explorar as características de forma, tamanho e posição dos objetos que compõem a interface para expandir funcionalidades, diminuir a complexidade e melhorar a usabilidade do aplicativo (Fig.3.15a). Esses artefatos físicos são dispositivos de entrada que devem ser estreitamente conectados aos objetos virtuais para permitir sua manipulação, ou para expressar ações (ISHII, 2008).

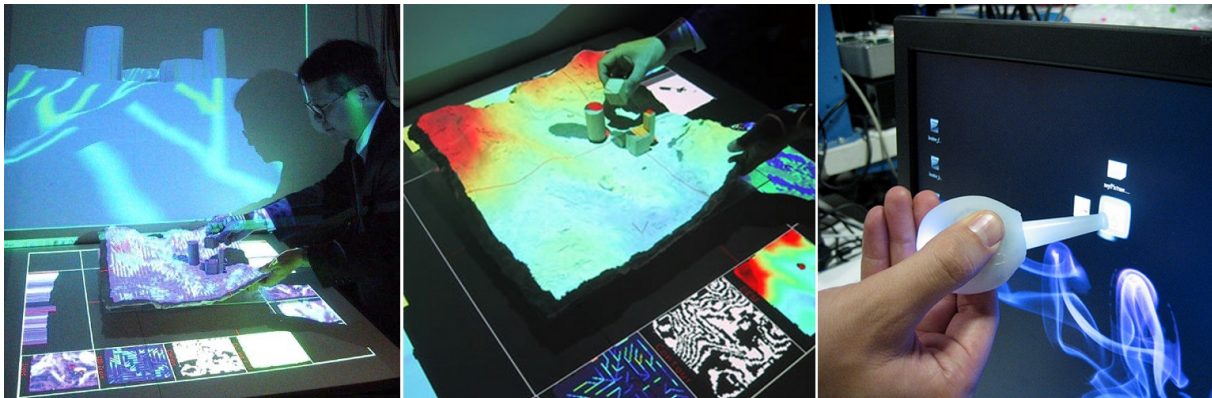


Figura 3.15: Exemplos de interfaces tangíveis: (a) Modelo em argila tangível, integrado a um sistema de informação geográfica; (b) Modelo de terreno feito em areia como interface para simulações computacionais; (c) Conta-gotas para “pegar” e “largar” dados digitais.

A Figura 3.15b mostra o aplicativo SandScape, que é uma interface tangível para a concepção e compreensão de paisagens por meio de simulações computacionais e modelos físicos feitos de areia. Os usuários visualizam as simulações projetadas sobre a superfície

do modelo de areia que representa o terreno. Os usuários podem escolher entre uma variedade de diferentes simulações que destacam tanto a altura, inclinação, contornos, fluxos de drenagem, ou aspectos paisagísticos do modelo (ISHII, 2008).

O dispositivo Slurp, Figura 3.15c, é um exemplo de interface tangível para a manipulação de informação digital abstrata como se fosse água. Tem a forma de um conta-gotas e pode extrair e injetar ponteiros para objetos digitais. O objetivo é privilegiar as relações espaciais entre dispositivos e pessoas e, ao mesmo tempo, proporcionar novas técnicas de manipulação física para ambientes de computação ubíqua (ZIGELBAUM et al., 2008).

3.4 Considerações finais

Tendo em vista as diversas possibilidades existentes em termos de dispositivos de interação, alguns encaminhamentos podem ser apontados. É desejável que o sistema tenha uma interface moderna e que a utilização seja intuitiva, mas de fácil configuração e manutenção. É preciso que a tecnologia a ser utilizada esteja suficientemente madura para que o aplicativo possa ser efetivamente operacional. Além disso, os dispositivos devem ser duráveis e resistentes mas facilmente substituídos em caso de extravio.

Embora a possibilidade de utilização de dispositivos que fornecem resposta de força tenha sido descartada, a simulação física utilizando algoritmos de detecção de colisão e dinâmica devem ser utilizados com objetivo de prover maior realismo e consequente sensação de imersão.

Durante a prática da manutenção em linha viva, o eletricista tem sua atenção focada em uma determinada estrutura ou equipamento que permanece imóvel. Esta característica é importante, pois descarta a necessidade de um dispositivo que forneça uma visão panorâmica da cena. O usuário não tem a necessidade de olhar para os lados ou para trás, então, o dispositivo de visualização pode ser uma grande tela ao invés de um capacete do tipo HMD. Uma tela pode prover estereoscopia em alta definição sem o desconforto de

utilizar um capacete pesado e preso a fios.

Além do dispositivo de visualização um dispositivo de interação para manipulação dos objetos da cena é necessário. É desejável que a manipulação seja simples, sem a necessidade de forçar o usuário a memorizar gestos ou funções de botões para que o usuário “pegue” um objeto o mova livremente no espaço. Um dispositivo apontador que possa ser mapeado do espaço físico para o espaço virtual, assim como nas interfaces tangíveis, pode ser uma solução adequada. Para promover a imersão, o sistema deve estar apto a detectar a colisão entre objetos virtuais enquanto estes são manipulados.

Considerando que o electricista encontra-se suspenso pela cesta isolada durante a atividade e, portanto, tem seus movimentos limitados, um mecanismo de *headtracker* torna-se conveniente para mapear seu ponto de vista. Com isso a navegação no ambiente virtual almejado poderá ser realizada mapeando-se a posição da cabeça do usuário. O usuário mudaria seu ponto de vista realizando movimentos naturais com o corpo, inclinando-se para os lados, para frente ou para trás. Assim a imagem na tela poderia modificar-se dinamicamente, atualizando em tempo real o ponto de vista do usuário, e a perspectiva pela qual ele observaria os objetos virtuais. Dessa forma, uma grande tela poderia funcionar como uma “janela” para o mundo virtual. Esse tipo de interação está em sintonia com a idéia de interface ubíqua.

Capítulo 4

Ensino e Aprendizado na Era da Simulação: Aspectos Humanos e Computacionais

Na seção 4.1 deste capítulo é apresentado um conjunto de informações sobre aspectos humanos e computacionais a serem considerados no desenvolvimento do sistema de treinamento pretendido. Entre esses aspectos estão os diferentes estilos e preferências de aprendizagem, as características dos chamados “nativos digitais” e as qualidades relativas à usabilidade de interfaces para ambientes virtuais 3D.

Na Seção 4.2 são abordados aspectos relativos ao processo cognitivo de formação de mapas mentais que ocorre durante o aprendizado de atividades como a manutenção em linha viva. A relação entre as características da interface com o usuário e o aprendizado desejado é discutida.

Na Seção 4.3 são apresentados conceitos sobre sistemas inteligentes para ensino e aprendizagem. Tais conceitos são relevantes na busca de um modelo instrucional que possa atender às diferenças existentes entre diferentes usuários, quanto às suas preferências e estilos cognitivos.

Na Seção 4.4 são discutidas as diferenças entre as ênfases voltadas ao treinamento e ao ensino para ambientes virtuais de aprendizagem. Embora essas duas ênfases possam se confundir, certas abordagens e funcionalidades do sistema são mais adequadas para o treinamento enquanto outras para o ensino.

Na Seção 4.5, é discutida a relação existente entre a interface do sistema de treinamento com o usuário e a Teoria da Carga Cognitiva (TCC), de Sweller (1988). A TCC fornece alguns princípios que podem guiar o desenvolvimento de sistemas para ensino de forma a torná-los eficaz considerando o processamento cognitivo humano.

4.1 Considerações sobre estilos de aprendizagem e outros aspectos cognitivos

Sistemas baseados em G&RV estão se tornando cada vez mais populares em diferentes aplicações e vêm, inclusive, sendo reconhecidos como uma conveniente e poderosa mídia para o ensino (ZYDA, 2005; TANG; SHETTY, 2011; ABULRUB; ATTRIDGE; WILLIAMS, 2011). Uma das razões para isso é que esses sistemas suportam diferentes modos de apresentação de informações e esquemas de interação, com isso podem adequar-se a diferentes estilos de aprendizagem, preferências e níveis de experiência (CHEN; TOH; ISMAIL, 2005; BROUGH et al., 2007; NORTON et al., 2008; TANG; SHETTY, 2011). No entanto, apesar de pesquisas mencionarem a simulação baseada em G&RV como sendo uma abordagem efetiva para melhorar o resultado da aprendizagem (WASFY; WASFY; NOOR, 2004; OLIVEIRA et al., 2007; GERBAUD et al., 2008), muitos desafios permanecem em termos de usabilidade (STANNEY et al., 2003) e modelagem instrucional (LEE; WONG, 2008).

Em termos de usabilidade, mesmo com a evolução dos dispositivos de interface ocorrida nos últimos anos, os modelos de interação comumente utilizados estão longe de atingir um nível de usabilidade tal que os torne ferramentas naturais, ubíquas, ou “invisíveis”,

como idealizado por Weiser (1994)¹. Não são raros casos em que recursos tecnológicos utilizados em ambientes de ensino, ao invés de agregar qualidade acabam confundindo, desestimulando e dispersando a atenção dos aprendizes (SANTOS; TAROUCO, 2007). Isso ocorre quando o sistema não é suficientemente fácil de aprender e de utilizar, o que exige do usuário um esforço mental demasiado (WANG; DUNSTON, 2011), comprometendo o aprendizado do conteúdo de interesse. Além disso, informações apresentadas de forma incoerente ou redundante, também prejudicam o aprendizado do usuário (MAYER; HEISER; LONN, 2001).

Frente à grande quantidade de recursos para interação, de animações, de sons e cores disponíveis nas mídias digitais, torna-se importante um conhecimento mais amplo sobre o processo cognitivo humano e sobre a TCC. Essa teoria tem sido aplicada no *design* de interfaces, pois sugere que o aprendizado acontece melhor em condições que estão em sintonia com a arquitetura cognitiva humana (SWELLER, 1988) e fornece direcionamentos para trabalhar os recursos instrucionais de forma eficaz (SANTOS; TAROUCO, 2007). Segundo Merriënboer e Sweller (2005), a interação do homem com os dispositivos tecnológicos pode, por si só, aumentar o esforço mental exigido na realização de uma tarefa. Assim, a interface de um sistema de aprendizagem deve minimizar a carga cognitiva exigida pelo esquema de interação de maneira a efetivamente potencializar a aprendizagem e não o contrário (SANTOS; TAROUCO, 2007).

De maneira geral, as teorias educacionais por trás dos sistemas computacionais voltados ao ensino e treinamento não têm acompanhado a evolução e a capacidade de construção dos aplicativos em si. Ou seja, a maioria dos projetos é conduzida com base nos potenciais técnicos e não em teorias educacionais consolidadas ou validadas (NORTON et al., 2008).

Nesse cenário, indústrias e universidades desenvolveram o interesse em pesquisar e conceber novas abordagens para ambientes de ensino e treinamento cada vez mais cen-

¹Em seu famoso artigo “*The Word is not a Desktop*”, Mark Weiser cunhou o termo Computação Ubíqua, o qual refere-se a um ambiente onde os computadores estão de tal forma integrados entre si e ocultos no meio, que as pessoas os utilizam sem ao menos perceber.

tradas no aprendiz, buscando recursos alternativos e modernos, assim como os sistemas baseados em G&RV. Nesses sistemas, os usuários são incentivados a dirigir seu próprio aprendizado em um estilo centrado nas filosofias construtivistas e práticas centradas no aprendiz. Além disso, o apelo visual dos ambientes de G&RV está fortemente em acordo com as preferências didáticas dos usuários e oferece uma transição fácil do conteúdo dinâmico para modelos virtuais convenientes. A sensação de imersão provido pelos ambientes virtuais 3D está associado a benefícios genuinamente psicológicos em termos de aprendizado (NORTON et al., 2008).

Pode-se dizer que existe um consenso na comunidade científica de que a tecnologia de G&RV pode ajudar no aprendizado conceitual sobre determinado assunto. No entanto, há uma compreensão limitada de como essa tecnologia pode melhorar os resultados da aprendizagem (LEE; WONG, 2008; KINCAID; WESTERLUND, 2009). Norton et al. (2008) listam alguns princípios-chave a serem considerados no projeto de um aplicativo voltado a aprendizagem, como considerar mais provável que o conhecimento seja de fato assimilado quando puder ser acessado, interpretado e construído pelo próprio aprendiz. Assim, ambientes virtuais que possibilitam uma interação livre e exploratória podem ser soluções efetivas para ambientes de treinamento, mas para isso é necessário um modelo instrucional eficaz.

Exemplos de aplicativos baseados em G&RV para treinamento podem ser encontrados em diversas áreas, como na indústria de manufatura (JAYARAM et al., 2007; MAURTUA; UNCETA; PÉREZ, 2007; OLIVEIRA et al., 2007), defesa (DARWARS, 2010), gás e petróleo (COOLE, 2010), operação de máquinas pesadas (COMPANY, 2010) e no setor elétrico (TAM et al., 1997; ARROYO; ARCOS, 1999; NETTO; GOUVEIA; CATERIANO, 2005; PARK; JANG; CHAI, 2006; ANGELOV; STYCZYNSKI, 2007; ARENDARSKI; TERMATH; MECKING, 2008). Em especial, as aplicações na indústria de manufatura possuem semelhanças convenientes com a aplicação que é tema deste trabalho, pois as atividades a serem treinadas consistem geralmente em reconhecer, selecionar e posicionar ou instalar peças corretamente, obedecendo a uma sequência específica.

Em alguns casos os objetivos do treinamento no ambiente virtual são voltados para o lado cognitivo, como é o caso do sistema Brough et al. (2007), para treinamento de montagem mecânica. O sistema possibilita aos alunos reconhecer partes, lembrar da sequência de montagem, e orientar corretamente as partes a serem montadas. Brough et al. (2007) apresentam resultados de testes com usuários que reafirmam a existência de diferentes preferências quanto à forma de utilização do sistema e diferentes estilos de aprendizagem. Alguns usuários preferem aprender simulando uma montagem, outros vendo as animações ou vendo fotos de peças reais.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito às características de uma nova geração de indivíduos, conhecidos como nativos digitais (PRENSKY, 2001). Os nativos digitais são particularmente receptivos ao estilo de aprendizagem que lhes permitem aprender a partir da experimentação. Eles preferem aprendizagem visual e gostam de trabalhar em grupos, apreciam a combinação de educação e entretenimento (ou *edutainment*). Para essa geração, recursos tradicionais como livros impressos e instruções expositivas podem não ser eficazes e suficientes. São pessoas focadas em empreendimentos que dependem amplamente da tecnologia como principal sistema de suporte.

Nesse contexto, os instrutores tendem a assumir o papel de facilitadores ao invés da tradicional figura autoritária, como ocorria nas gerações anteriores. Além disso, espera-se que instrutores sejam experientes nas novas tecnologias disponíveis, para que desta forma, sejam capazes de inserir tais tecnologias nos ambientes de ensino e treinamento. Segundo Billings (2004), para criar um ambiente dinâmico e flexível, adequado aos aprendizes de hoje, os instrutores precisam entender e estarem conscientes do estilo cognitivo e estilo de vida dessa nova geração, pois essas características interferem diretamente no modelo de ensino ideal.

4.2 O papel da interface na construção de mapas cognitivos em processos transacionais

Em relação a interfaces, a adição de reações e respostas instantâneas às ações do usuário aumenta o poder comunicativo que, por sua vez, aumenta a interatividade. Isto leva a alguns benefícios gerais, como o apoio ao entendimento emergente de ideias codificadas, tornando mais fácil a manipulação mental de pensamentos abstratos, proporcionando oportunidades para descobertas, experimentações e raciocínio hipotético (SEDIG; ROWHANI; LIANG, 2005). A forma e o estilo de interação afetam a qualidade e a quantidade do conhecimento que o usuário constrói enquanto interage com representações visuais, tais como objetos virtuais e ícones.

Diferentes formas de interação permitem ao usuário, por meio de experiências e observações, criar mapas mentais de ambientes físicos, estruturas e processos transacionais. Os processos transacionais são aqueles que envolvem a transformação de uma forma em outra, tal como uma metamorfose biológica ou geológica. Chama-se mapa cognitivo à representação mental de um espaço físico, mas também à representação de uma estrutura ou um processo transacional (SEDIG; ROWHANI; LIANG, 2005). O mapa cognitivo associado ao conhecimento espacial funciona de forma análoga a um *layout* físico do ambiente mapeado, indicando rotas, caminhos e relações entre os locais. A habilidade do usuário em inferir atalhos e gerar novas rotas é consequência direta da presença de um mapa cognitivo.

A formação de um mapa cognitivo é um processo construtivo dinâmico com vários passos que tem início com o simples reconhecimento de locais e pontos de referência, indo até a aquisição da completa consciência da navegação. Esse processo foi descrito inicialmente por Siegel e White (1975) referindo-se à construção de representações mentais de espaços físicos.

O processo de aquisição de conhecimento espacial depende fundamentalmente da

frequência de interação do usuário com o sistema ou ambiente em estudo. Além disso, outro aspecto é a integração de informações, pois o conhecimento espacial se baseia em um número razoável de diferentes fontes de informação, cuja combinação não é necessariamente simples. Um mapa cognitivo é a integração de todas essas informações de forma compatível.

O primeiro passo da construção do mapa cognitivo é o reconhecimento de pontos de referência, no qual o usuário desenvolve a habilidade em distinguir entre os locais visitados, criando pontos de referência. Objetos se tornam pontos de referência por sua distinção formal ou por questões pessoais. Esses pontos de referência podem auxiliar na orientação e na confirmação de rotas, mas não fornece dicas sobre as relações entre os locais. Em um processo transacional um ponto de referência corresponde a um estágio específico, o qual pode ser entendido como um marco.

O segundo passo é o estabelecimento de rotas e ligações, as quais se formam quando o usuário se desloca de um ponto de referência a outro. Nesse ponto, o usuário já desenvolveu a habilidade em percorrer rotas conhecidas, orientando-se pelos pontos de referência, mas ainda é incapaz de criar atalhos entre locais.

Por fim, ocorre o conhecimento em forma de mapa, que é o tipo mais sofisticado de conhecimento espacial. É atingido apenas após múltiplas explorações do sistema ou utilizando ferramentas de visualização geral para entender sua estrutura. O usuário que conhece bem as características e as ligações entre diversos locais é capaz de criar atalhos ou inferir rotas nunca trilhadas.

Processos transacionais podem ser codificados e comunicados como representações externas visuais com as quais usuários podem interagir. Como as pessoas interagem com representações externas, elas formam um modelo cognitivo interno da estrutura, organização e relacionamento dos elementos da representação. Nesse caso, esse modelo mental interno o qual pode ser considerado um mapa cognitivo (SEDIG; ROWHANI; LIANG, 2005) é desenvolvido por meio de experiências no espaço e interações entre objetos

no espaço. Os mapas cognitivos, nesse sentido, são usados para ajudar a realizar tarefas cognitivas, tais como navegar em um espaço conceitual ou físico, ou então, rever, revisar e recuperar informações sobre estruturas, objetos ou processos.

4.3 Considerações sobre Sistemas Tutores

As primeiras ferramentas de ensino assistido por computador, ou *Computer-Aided Instruction Systems* (CAI) são consideradas precursoras do que hoje se conhece por Sistemas Tutores Inteligentes (STI). O que distingue os STI dos CAI é o objetivo de serem capazes de responder ao estilo individual de aprendizagem do aluno para distribuir instruções sob medida.

Sleeman e Brown (1982) revisaram o estado da arte dos sistemas computacionais de ensino e cunharam o termo *Intelligent Tutoring Systems* para descrever a evolução desses sistemas e distingui-los dos sistemas CAI. Eles definiram STI como sendo um programa de computador que faz o papel de monitor, treinador, instrutor de laboratório e consultor. O termo Inteligência Artificial (IA) surgiu nessa época (CHAKRABORTY; ROY; BASU, 2010). A partir daí, as novas tendências em IA começaram a ser aplicadas nesses sistemas.

A Associação para os Avanços em Inteligência Artificial - AAI² definiu STI como um *software* educacional contendo componentes de inteligência artificial. O *software* rastreia as atividades do aluno adaptando comentários, *feedback* e sugestões ao longo do caminho. Por meio da coleta de informações sobre o desempenho do aluno em particular, o *software* pode fazer inferências sobre os pontos fortes e fraquezas, e pode sugerir trabalhos adicionais.

A inserção de componentes de IA em sistemas para ensino foi motivada, em grande parte, pela ideia de que instruções personalizadas, adaptadas a características e necessidades individuais do usuário, geram melhores resultados em comparação aos métodos de ensino tradicionais (BLOOM, 1984), (CORBETT, 2001). Para uma instituição de

²<http://www.aaai.org/>

ensino, de fato, é impossível oferecer assistência individual para cada aluno. No entanto, os sistemas computacionais de ensino são originalmente personalizados, ou seja, o usuário é o único aprendiz enquanto o usa. Com isso, muitas pesquisas foram desenvolvidas no sentido de criar sistemas com características adaptativas, capazes de acomodar os vários estilos cognitivos e níveis de conhecimento dos diferentes usuários (CHAKRABORTY; ROY; BASU, 2010).

Segundo Hall e Wood (1990), os STIs são uma composição de diversas disciplinas como psicologia, ciência cognitiva e IA. O objetivo principal desses sistemas é a modelagem e representação do conhecimento humano especializado para auxiliar o estudante por meio de um processo interativo.

Os STIs são desenvolvidos buscando oferecer flexibilidade na apresentação do material didático e uma maior habilidade para responder às necessidades do usuário. O objetivo passa a não ser apenas ensinar, mas aprender como ensinar, capturando informações relevantes sobre o estudante, proporcionando um aprendizado individualizado e tomando decisões pedagógicas sobre como transmitir o conteúdo. Isso requer uma grande interatividade do sistema com o usuário. Alguns desses sistemas têm sido considerados altamente eficientes para a melhora do desempenho e motivação de estudantes.

Idealmente, um STI tenta imitar um professor humano. No entanto, em certos aspectos, pode levar vantagem, pois a transmissão de instruções é individualizada, o que significa que o sistema pode se adaptar a diferentes categorias de alunos. Em uma sala de aula convencional, o grupo é geralmente heterogêneo, onde alguns apresentam um aprendizado mais lento do que outros, o que leva o processo de ensino a não beneficiar igualmente a todos. Um STI pode contornar essa limitação, pois no ambiente virtual de aprendizagem o professor e o aluno têm um relacionamento um-para-um, o que significa que os usuários podem avançar em seu próprio ritmo. Outra vantagem é que a utilização desse sistema de ensino pode ser conseguida com uma intervenção mínima dos professores, consistindo assim uma solução concreta em situações onde há escassez de instrutores.

Em termos de modelagem de um STI, a elaboração das funcionalidades pode ser dividida em três principais tarefas: (1) a organização do domínio do conhecimento, (2) o acompanhamento do conhecimento e desempenho do aluno e (3) o planejamento de estratégias de ensino com base no nível do conhecimento aluno. Dessa maneira, tradicionalmente os STIs têm diferentes módulos e interfaces de comunicação. A arquitetura deve acomodar um *Modelo de Domínio*, um *Modelo de Ensino*, um *Modelo do Aluno* e um *Modelo de Interface*.

Nesse contexto, duas questões importantes são “o que ensinar” e “como ensinar” (CHAKRABORTY; ROY; BASU, 2010). O Modelo de Domínio lida com o “o que ensinar”, o Modelo de Ensino e o Modelo do Aluno estão preocupados com o “como ensinar”. O principal objetivo por trás de um STI é sua inteligência ou métodos de ensino adaptativo. Adaptação significa que o sistema se molda para atender às diferentes necessidades dos diferentes alunos. A adaptação é uma parte do “como ensinar”. O Modelo de Interface é responsável pela interação, por meio da qual, o sistema tutor irá apresentar o material instrucional e monitorar o progresso do aluno através da recepção de suas respostas.

Para decidir sobre a forma de ensinar, o sistema precisa julgar o estado atual do conhecimento do aluno, além de suas preferências. A parte que faz o intermédio entre o sistema e o aluno é o Modelo do Aluno, a qual deve ser flexível e abrangente para que o STI seja realmente adaptativo. O Modelo do Domínio também é importante já que é a representação do domínio do conhecimento. Um bom Modelo de Domínio provê o sistema de recursos para selecionar os métodos adequados para o ensino e ajuda o sistema na busca de um plano de ensino alternativo quando um determinado método não atinge sucesso. Finalmente, a parte mais importante de um STI é o Modelo de Ensino, pois esse módulo é o centro de todo o sistema. Ele se comunica com os outros módulos e faz toda a tomada de decisão (CHAKRABORTY; ROY; BASU, 2010).

A base de instruções de um STI só será eficaz se o Modelo de Ensino puder planejar as estratégias de ensino apropriadamente. A maior dificuldade, dada qualquer base de conhecimento, é escrever regras para a geração de estratégias de ensino. Outra dificuldade

é construir um eficiente e completo Modelo do Aluno, que incluem as técnicas adaptativas. A elaboração da base de conhecimento demanda considerável esforço e só pode ser desenvolvido por especialistas, tornando-se assim um trabalho oneroso em termos de construção de um STI. A maioria das bases de conhecimento de STIs existentes foram restritas em único domínio de conhecimento, sendo custoso mudá-las ou reorganizá-las para ensinar assuntos diferentes. Faz-se necessária ao menos a intervenção dos desenvolvedores dos sistemas.

4.4 Considerações sobre as ênfases voltadas à educação e ao treinamento

Em relação aos aspectos instrucionais de um ambiente virtual voltados à aprendizagem, duas abordagens distintas podem ser consideradas, ou seja, a ênfase pode ser em *educação* ou em *treinamento*. Hounsell, Silva e Miranda (2008) destaca em seu trabalho os diferentes aspectos e valores dos ambientes virtuais voltados para a aprendizagem que dão origem às ênfases em educação e em treinamento. Na literatura, essas duas ênfases se confundem e, muitos autores referem-se aos termos “educação” e “treinamento” como sinônimos.

O trabalho de Hounsell, Silva e Miranda (2008) apresenta um conjunto de características que auxiliam na diferenciação dos aspectos voltados à educação e dos aspectos voltados treinamento, com o intuito de possibilitar a desenvolvedores um melhor aproveitamento da tecnologia de RV. Basicamente a diferenciação parte do princípio que educação deve subentender uma atividade implique que desafio intelectual, incrementando o desempenho para agir e pensar, enquanto o treinamento trabalha capacidades específicas ou procedimentos de uma determinada tarefa.

Nesse contexto, os aspectos voltados à educação promovem situações onde o aprendiz possa analisar e refletir sobre o tema do estudo, sem a preocupação com tempo de execução e ações motoras. Por outro lado, os aspectos voltados ao treinamento devem propiciar

lições específicas, com tempo determinado, que buscam o desenvolvimento de habilidades específicas e execução de tarefas claramente delimitadas pelo ambiente.

Hounsell, Silva e Miranda (2008) citam, ainda, que sistemas de treinamento devem trabalhar aspectos da memória e sequência dos objetos sendo manipulados e, quando identificados e selecionados, devem ser tratados de forma a serem posicionados correta e sequencialmente. Adicionalmente, os autores identificam algumas categorias de características que melhor diferenciam as ênfases educação e treinamento. São elas:

- conteúdo;
- modelo pedagógico/instrucional;
- modelo de comunicação;
- avaliação.

Com relação ao *conteúdo*, ou à forma na qual os conteúdos são apresentados, a ênfase em treinamento normalmente segue o formato “aprender pela observação” ou “aprender fazendo”, ou seja, o aprendizado é adquirido mediante observação ou mediante execução de procedimentos e práticas, respectivamente. A ênfase voltada à educação é regidas por processos mentais, por meio da aplicação de técnicas como “aprender por comparações” ou “aprender pensando” mediante reflexões com teorias e conceitos. Além disso, Hounsell, Silva e Miranda (2008) também observam que a ênfase em educação relaciona-se a conteúdos formais e curriculares e a ênfase voltada ao treinamento aborda conteúdos relativos a experiências industriais e operacionais.

Com relação ao *modelo pedagógico*, quando a ênfase é voltada à educação, o objetivo é a compreensão e percepção de valores e visões. A promoção da aprendizagem, nesse caso, é realizada por meio da reflexão e tomada de decisões, normalmente associadas ao construcionismo. Já nos sistemas com ênfase em treinamento, o objetivo pedagógico é a aquisição de habilidades específicas. O foco está nas ações e procedimentos técnicos, associados a abordagens instrucionistas e comportamentalista (HOUNSELL; SILVA; MIRANDA, 2008).

Outra característica, agora em relação aos procedimentos pedagógicos, é que na ênfase em educação, são utilizados procedimentos não exaustivos (variados) por meio de explicações e visualizações. Quando a ênfase é em treinamento, utilizam-se procedimentos repetitivos, dotados de informações e dados repassados por comandos e ordens.

Quanto ao *modelo de comunicação*, a ênfase em educação leva a um *feedback* mais abrangente e discursivo em que há um extenso diálogo entre aprendizes e docentes por meio de um sistema colaborativo. Sistemas com ênfase em treinamento utilizam um *feedback* específico e direto como por exemplo pontuação, *status* de treinamento, etc. Em relação à colaboração, sistemas voltados à educação normalmente possuem ambientes multiusuário, proporcionando mais interação entre os aprendizes enquanto sistemas voltados ao treinamento são normalmente monousuário, os objetivos de treinamento (normalmente habilidades físicas e motoras) devem ser alcançados por meio de disciplina por parte do próprio indivíduo.

Ainda com referência ao modelo de comunicação, alguns aspectos, tais como a navegação no ambiente, o comportamento e a aparência dos objetos na cena, a cadência e a dificuldade computacional, apresentam diferenças significativas em cada uma das ênfases. Por exemplo, em relação à navegação, quando a ênfase é em educação, é mais frequente a situação em que o usuário pode explorar livremente o ambiente, diferentemente dos sistemas de treinamento onde geralmente existem passos pré-estabelecidos, e o aprendiz deve respeitar a seqüência correta. Além disso, quanto ao comportamento e grafismo, a descrição dos objetos é mais próxima do real em sistemas de treinamento do que em sistemas educacionais. Isso ocorre porque é importante para o treinamento que os objetos sejam representados com realismo, onde os detalhes são de grande importância para a aquisição de habilidades específicas (LI; KHOO; TOR, 2003).

Ainda, segundo Hounsell, Silva e Miranda (2008), na ênfase em treinamento, existe a tendência de concentrar esforços em um conjunto mínimo de sentidos, porém numa representação mais fidedigna. Na ênfase em educação, podem ser utilizados estímulos a variados sentidos humanos, porém necessidade específica. Além disso, a cadência da co-

municação, na ênfase voltadas a educação, permite o controle de seu próprio andamento, ou seja, o tempo despendido para alcançar determinado resultado não é relevante em muitas situações. Já na ênfase em treinamento, há forte aderência temporal, ou seja, os eventos e situações simulados são apresentados como elas realmente acontecem cronologicamente. Isso significa ênfase em eficácia na realização das tarefas, pois as decisões devem ocorrer no tempo certo. Por essa razão, na ênfase em treinamento, a dificuldade computacional reside fundamentalmente na modelagem do fenômeno alvo, enquanto na ênfase em educação, a dificuldade está na modelagem do aprendizado.

Finalmente, em relação à estratégia de avaliação, Hounsell, Silva e Miranda (2008) declaram que a ênfase em educação privilegia uma avaliação contínua do aprendiz, ou nível a nível, focando principalmente, nos processos mentais, a confirmação da compreensão dos conceitos subjacentes. Na ênfase em treinamento faz-se uso de uma avaliação final, principalmente relacionada a processos manuais, ou seja, avalia-se se a tarefa foi executada com sucesso ou não, buscando resultados mais concretos, principalmente relacionados ao condicionamento.

4.5 Teoria da Carga Cognitiva e Interfaces

Tradicionalmente, entende-se por cognição o ato de conhecer ou de desenvolver conhecimento sobre um determinado assunto. O processo cognitivo humano refere-se a como os seres humanos percebem, processam, codificam, estocam, recuperam e utilizam as informações (NUNES; GIRAFFA, 2004). A Teoria da Carga Cognitiva TCC, devida ao psicólogo australiano Sweller (2003), fornece um conjunto de princípios para o desenvolvimento de recursos de aprendizagem mais eficientes e ajustados à capacidade humana de adquirir conhecimento. Esses princípios, quando aplicados aos ambientes de aprendizagem modernos, podem tornar a interação com a tecnologia mais alinhada com o processo cognitivo humano e, assim, melhorar os resultados da aprendizagem.

Um ambiente de aprendizagem apropriado, de acordo com a TCC, minimiza a de-

manda de recursos mentais não relacionados ao conteúdo de interesse e, em troca disso, coloca-os para trabalhar de modo a maximizar a aprendizagem. De acordo com Sweller (2003), a aprendizagem ocorre de maneira mais eficiente quando o volume de informações oferecidas for compatível com a capacidade de compreensão do indivíduo. Segundo Miller (1956), o sistema cognitivo humano somente consegue processar um número limitado de informações que é de 7 mais ou menos 2. Ou seja, o ser humano consegue assimilar, de maneira natural e satisfatória, de 5 a 9 elementos de informação por vez. Quando excedidos esses limites, o raciocínio e a aprendizagem ficam abaixo do desempenho esperado, sobrecarregando a estrutura cognitiva.

Mayer (2009) afirma que em aplicações multimídia, assim como em RV, normalmente se faz uso de recursos que utilizam mais de um canal de percepção ao mesmo tempo, como por exemplo, visão e audição, gerando sobrecarga cognitiva que pode levar à desorientação e até mesmo ao desestímulo do usuário. A redução da carga cognitiva em decorrência do uso de dois canais de percepção ocorre apenas quando a informação presente nas diferentes modalidades não é redundante. Em outras palavras, o uso de dois canais de percepção deve ter objetivos complementares, por exemplo, uma imagem e a narração de um texto, e não objetivo de repetição, como por exemplo, um texto escrito e a sua narração.

Para Wang e Dunston (2011), as tecnologias baseadas em RV têm o potencial de transformar completamente a forma como as tarefas são realizadas em diversos setores industriais, inclusive em questões relacionadas ao treinamento. Mas o sucesso da aplicação requer o uso da tecnologia sem que ela traga indesejáveis sobrecargas de esforços e requisitos físicos ou mentais. Hollender et al. (2010) escreveram sobre a relação que existe entre a TCC e as Interfaces Humano - Computador (IHC). De maneira geral, pode-se dizer que a interação dessas duas áreas de conhecimento objetiva fornecer subsídios para o projeto e interfaces capazes de reduzir a carga cognitiva exigida do usuário ao mínimo possível.

Algumas formas de carga cognitiva são consideradas úteis, enquanto outras desperdiçam recursos mentais. Segundo Mayer, Heiser e Lonn (2001), na elaboração de conteúdos para materiais de ensino, devem-se levar em consideração os três principais

tipos de carga cognitiva, que são:

- Carga cognitiva intrínseca - imposta pela complexidade do conteúdo do material de ensino;
- Carga cognitiva natural (Relevante) - imposta pelas atividades de ensino que beneficiam o objetivo da aprendizagem;
- Carga cognitiva externa ao conteúdo (Irrelevante) - não interfere na construção e automação de esquemas e, conseqüentemente, desperdiça recursos mentais que poderiam ser usados para auxiliar a carga natural.

Tendo em vista que a capacidade mental é limitada, para uma aprendizagem de boa qualidade torna-se necessário um balanceamento dessas cargas, para que o processo de aprendizagem atinja um bom nível de eficiência, como mostra a Figura 4.1.

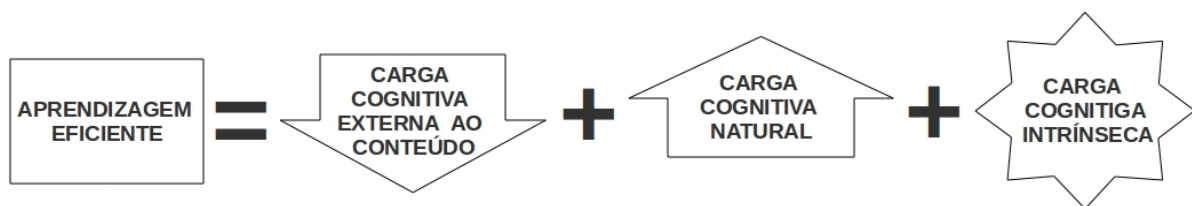


Figura 4.1: Balanço das cargas cognitivas ((MAYER; HEISER; LONN, 2001 apud SANTOS; TAROUCO, 2007)).

A carga cognitiva é um fator sempre presente nas interfaces, pois os elementos de interação, tais como ícone e botões, além dos comandos, seja por meio de gestos ou utilizando controles, precisam ser, de alguma forma, interpretados pelo usuário. Assim, um bom projeto de interface para uso educacional deve reduzir ao mínimo possível a quantidade de processamento mental direcionado à interação com o sistema, maximizando o processamento do conhecimento que está sendo transmitido.

Quando não se pode reduzir a carga intrínseca associada aos objetivos da aprendizagem, pode-se controlá-la, segmentando e arranjando o conteúdo em sequência de maneira que otimize a quantidade de elementos interativos. Em geral, interatividade exige que diversos elementos do conhecimento sejam coordenados na memória do aprendiz para realização de um conjunto de atividades específicas e isso pode causar-lhe sobrecarga (SAN-

TOS; TAROUCO, 2007). Uma boa interface, portanto, reduz a quantidade de energia direcionada à interação com o sistema.

Wang e Dunston (2011) revisaram e complementaram o trabalho de Milgram et al. (1994), no qual é apresentada uma taxonomia geral para classificar diferentes sistemas envolvendo tecnologia de RV. Milgram et al. (1994) referem-se às diversas classes de plataformas para ambientes virtuais disponíveis usando o termo geral Realidade Mista (RM), pois, ao imaginar uma linha contínua tendo num dos extremos o mundo puramente real e no outro extremo um mundo puramente virtual, todos os sistemas baseados em tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada podem ser dispostos em algum ponto dessa linha, como ilustrado na Figura 4.2.

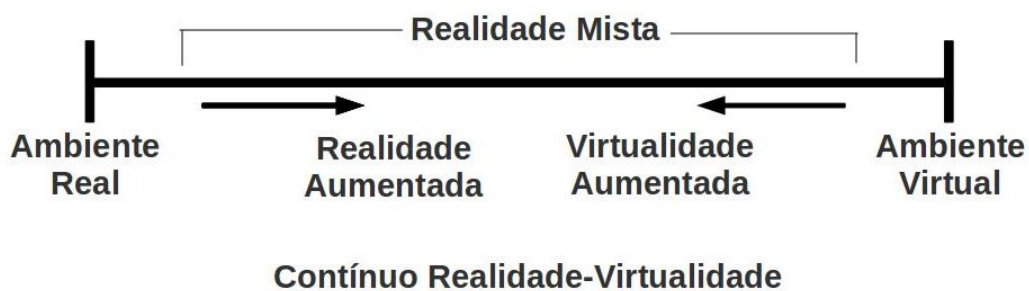


Figura 4.2: Linha contínua ligando o mundo real a um mundo puramente virtual, proposta por (MILGRAM et al., 1994).

Nos trabalhos de Milgram et al. (1994) e Milgram e Kishino (1994), alguns aspectos considerados relevantes são levantados na tentativa de se criar uma taxonomia global, ou arcabouço para classificação de sistemas baseados em Realidade Mista. Como já foi citado, o termo RM refere-se de forma bastante ampla a todos os ambientes que integram modelos virtuais e reais, seja o ambiente primariamente real ou virtual.

Dentre os aspectos analisados, com o objetivo de distinguir as diferentes classes de sistemas de RM, estão: (1) se a base do ambiente visualizado é primariamente baseado em vídeo ou computação gráfica; (2) se o mundo real é visto diretamente ou indiretamente, via algum *display* eletrônico; (3) se é pretendido que o observador se sinta parte do ambiente ou, então, fora dele mas olhando para o ambiente; e (4) se a escala da representação é

mapeada ortoscopicamente ou apresenta distorções.

Na busca da concepção de um arcabouço teórico para auxiliar cientistas e desenvolvedores a melhor entender e classificar os diferentes sistemas de RM, Milgram et al. (1994) propuseram uma taxonomia tridimensional baseada em alguns dispositivos de visualização conhecidos. Os autores destacam duas principais categorias: *display* acoplado à cabeça e baseado em monitor. Essas duas categorias são importantes por representar a metáfora da centricidade, no sentimento de que o observador pode estar egocentricamente³ imerso no ambiente virtual ou exocentricamente olhando para o mundo virtual de fora dele.

A primeira dimensão da taxonomia de Milgram et al. (1994) é o Nível de Conhecimento do Mundo (EWK - *Extent of World Knowledge*) que define o quanto o sistema sabe sobre os objetos (“o que são”, “onde estão”) e sobre o mundo virtual no qual estão inseridos. A segunda dimensão considerada é a Fidelidade da Reprodução (RF - *Reproduction Fidelity*) que se refere ao realismo proporcionado pela qualidade gráfica e pela capacidade de prover um sentimento de imersão. A terceira dimensão é o Nível da Metáfora de Presença (EPM - *Extent of Presence Metaphor*) a qual também se refere ao sentimento de imersão e, além disso, à classificação do ponto de vista do usuário como egocêntrico ou exocêntrico. O esquema proposto por Milgram et al. (1994) é reproduzido na Figura 4.3. Uma descrição mais detalhada das propriedades correspondentes a cada uma de suas três dimensões pode ser obtida em Milgram et al. (1994) e Milgram e Kishino (1994).

Milgram e Colquhoun (1999) propuseram uma taxonomia considerando a integração do dispositivo de visualização com os dispositivos de interação. Nesse outro esquema de classificação dos sistemas de RM, os autores consideram a propriedade que chamam de congruência controle-apresentação (*Control-Display Congruence*). Essa congruência refere-se ao mapeamento das ações do usuário, enquanto interage com o sistema, para a imagem ou cena apresentada. Em geral, uma relação controle-apresentação altamente congruente corresponde a um esquema de controle e navegação mais natural, ou intuitivo.

³O termo *egocêntrico* refere-se aqui a uma situação onde o observador encontra-se inserido no ambiente virtual em oposição ao termo *exocêntrico*, o qual refere-se a uma situação onde o observador encontra-se fora do ambiente virtual.

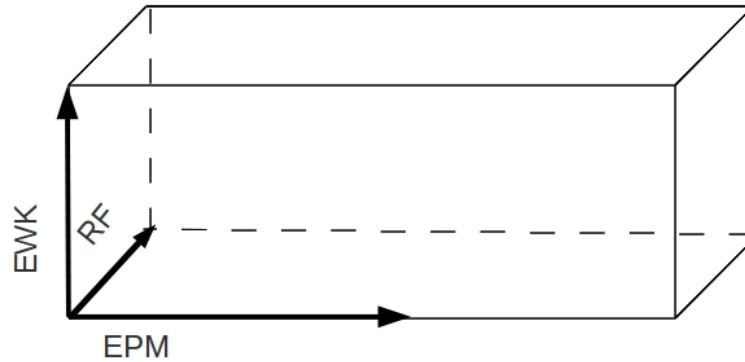


Figura 4.3: Esquema multidimensional de taxonomia proposto por Milgram et al. (1994).

Por outro lado, uma relação incongruente irá exigir que o usuário desempenhe um conjunto de “transformações mentais” para controlar a interação (MILGRAM; COLQUHOUN, 1999). O esquema proposto é reproduzido na Figura 4.4.

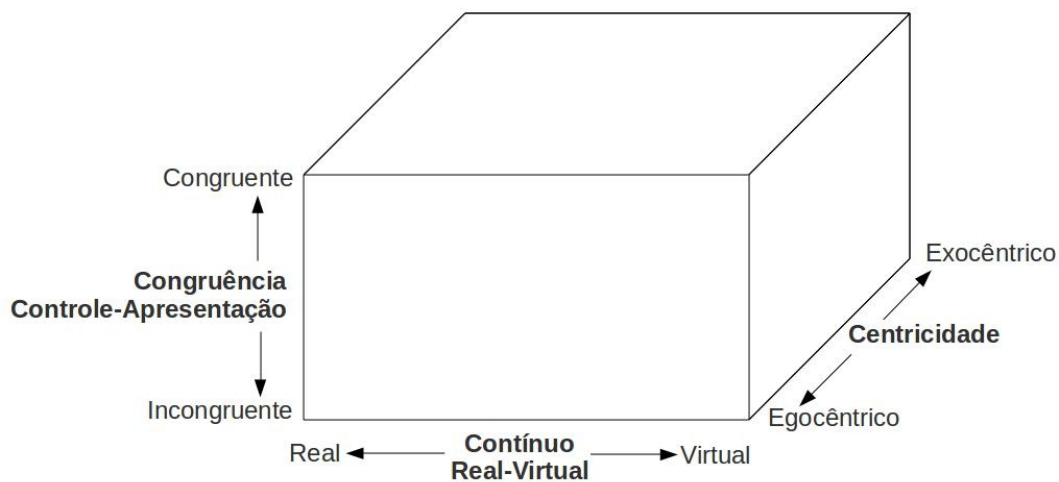


Figura 4.4: Esquema multidimensional de taxonomia para integração do mundo virtual com o mundo real proposta por Milgram e Colquhoun (1999).

Baseado nos trabalhos de Milgram et al. (1994) e Milgram e Colquhoun (1999), Wang e Dunston (2011) estenderam o esquema de classificação incorporando outros dispositivos de interação e focando em aplicações na indústria da Construção Civil e Arquitetura. O trabalho atenta para a necessidade de uma metodologia estruturada que possa abordar questões relacionadas à conveniência e usabilidade com o objetivo de explorar todo o potencial dos sistemas baseados em RM.

Wang e Dunston (2011) propõem uma taxonomia centrada no usuário, considerando as

características das representações midiáticas e tecnologias de *tracking* discutindo aspectos de entrada e saída de dados. Quatro atributos são identificados como dimensões para a taxonomia apresentada: representação midiática, mecanismo de entrada, mecanismo de saída e tecnologia de *tracking*. O conceito de Carga Cognitiva⁴ é central e crítico na pesquisa e nas discussões de Wang e Dunston (2011).

A primeira das dimensões citadas por esses autores é a das representações do conteúdo virtual que será inserido no ambiente de RM. Tais representações podem ser ordenadas em função de suas características de complexidade e riqueza de informações como segue:

1. Texto
2. Indicador
3. Plataforma, *tablet*, tela
4. Imagens 2D, vídeo inserido
5. Malha 3D (*wireframe*)
6. Objetos 3D agrupados
7. Objetos 3D desagrupados

A sequência acima fornece a ideia de um meio contínuo de tipos de mídias de representação da informação digital, apresentando uma transição do abstrato (simbolismo esquemático) para o concreto (realista). Presume-se que a carga cognitiva necessária para interpretar a informação virtual seja decrescente na lista apresentada. Ou seja, quanto mais abaixo na lista, menos transformações a representação da informação requer para ser compreendida. Wang e Dunston (2011) também citam que um cenário (*background*) com maior qualidade gráfica, realístico e estereoscópico reduz a carga cognitiva demandada para interpretar a informação fornecida.

Em termos de Realidade Aumentada, Wang e Dunston (2011) propõem uma linha contínua ligando os extremos Abstrato e Concreto para ordenar diferentes classes de

⁴Quantidade de informação que pode ser armazenada no sistema de memória humana de curta duração antes de decair.

cenários (*background*) reais contendo objetos virtuais. Novamente, presume-se que quanto mais realístico for o cenário, menor será a carga cognitiva exigida do usuário.

Com o objetivo de classificar os diferentes dispositivos de entrada comumente utilizados, os autores apresentam uma lista que ordena diferentes tipos de dispositivos de acordo com sua demanda de esforço mental. A lista de mecanismos a seguir está ordenada do menos intuitivo ao mais intuitivo, o que também corresponde à ordem decrescente de carga cognitiva e crescente de custo em termos de processamento computacional demandado.

1. Entrada baseada em dispositivos 2D
2. Simulação 2D de controladores
3. Entrada sem uso das mãos
4. Entrada gestual
5. Entrada tangível
6. Entrada encarnada (*embodied input*)

Uma comparação quantitativa da carga cognitiva imposta ao usuário a partir da forma como é apresentado o conteúdo digital ou do mecanismo de interação utilizado é apenas especulativa. No entanto, esta ordenação, mesmo partindo de suposições, oferece uma noção que pode ser útil na tomada de decisões de projeto e na formulação hipóteses para realização de testes e experimentos mais rigorosos.

4.6 Considerações finais

Neste capítulo foram apresentados aspectos humanos e computacionais a serem considerados na elaboração de estratégias e soluções para o desenvolvimento de um sistema baseado em G&RV para treinamento, especialmente no que tange aos aspectos cognitivos e ao modelo instrucional.

Considerar as características das novas gerações de estudantes e trabalhadores é im-

portante, pois revela tendências de novos paradigmas para ambientes de ensino. É relevante buscar soluções que atendam às demandas de um novo perfil de profissional, como os nativos digitais, que possuem estilos e preferências distintos das gerações anteriores.

Também é relevante entender como funciona o processo cognitivo de formação de mapas mentais para a aprendizagem de uma atividade como a de manutenção em linha viva, bem como quais são as características da interface que favorecem esse aprendizado. Tal conhecimento pode guiar o desenvolvimento de um mecanismo de interação e de *feedback* mais sintonizado com a forma como o conhecimento humano, tanto quanto se pode compreender, é adquirido. Assim, pode-se viabilizar a modelagem de um sistema mais eficaz.

O capítulo também apresenta conceitos sobre sistemas inteligentes para ensino e aprendizagem, os quais buscam oferecer instruções personalizadas e mais adequadas ao perfil do usuário, que também é o aprendiz, considerando suas preferências, seu conhecimento e bagagem cultural.

Em ambientes virtuais de aprendizagem, aspectos voltados ao treinamento e aspectos voltados ao ensino podem se confundir. Algumas características, tais como a aderência temporal, a necessidade de memorização de procedimentos e a avaliação quantitativa do desempenho final do aprendiz, são mais adequadas a sistemas com ênfase em treinamento do que em ensino. Observa-se que as funcionalidades do sistema que darão ênfase aos aspectos de treinamento ou de ensino podem ser implementadas sobre uma mesma plataforma, utilizando o mesmo mecanismo de interação e de visualização. Este trabalho busca encontrar soluções que oferecerão uma plataforma para o desenvolvimento de diferentes módulos, além de disponibilizar um arcabouço teórico que irá guiar a continuidade das implementações.

Por fim, o capítulo apresenta aspectos da interação do usuário com o sistema computacional de ensino, sob o ponto de vista da Teoria da Carga Cognitiva, buscando, sobretudo, compreender os efeitos que as diferentes formas de interação e dispositivos possíveis exer-

cem sobre o resultado do aprendizado pretendido. Essa investigação é importante na busca de soluções para a plataforma pretendida, pois o treinamento em linha viva possui natureza fortemente interativa, tornando as escolhas dos dispositivos e o desenvolvimento dos mecanismos manipulação e visualização, etapas críticas para o êxito operacional da plataforma proposta.

Capítulo 5

Proposta da Plataforma

Este capítulo relata a evolução do desenvolvimento do sistema tema deste trabalho desde a concepção inicial até o desenvolvimento, incluindo uma proposta de avaliação inicial. O texto apresenta as investigações e discussões acerca da proposta inicial bem como as dificuldades encontradas durante a implementação e as soluções adotadas na plataforma final. Questões de *hardware* e *software*, modelo funcional, esquemas de interação, dentre outros aspectos, são discutidos. As principais conclusões são apresentadas.

Pretende-se com as soluções adotadas para o sistema que está sendo proposto oferecer mecanismos de interação que permitam a manipulação de objetos e equipamentos no ambiente 3D de forma intuitiva, possibilitando selecionar, deslocar e orientar peças e equipamentos livremente no espaço. Também se pretend criar um ambiente para treinamento baseado em simulação, onde o usuário possa executar todos os passos de uma sequência pré-definida, a qual consiste na atividade em linha viva, experimentando as reações do sistema às suas ações, de acordo com o que ocorre em uma situação real.

A primeira seção deste capítulo faz a conexão com o capítulo anterior para propor uma classificação de um conjunto de dispositivos de visualização e de interação de acordo com a carga cognitiva demandada em sua utilização. Essa classificação é o ponto inicial que guiará as escolhas dos dispositivos de interface e, conseqüentemente, as ferramentas

de desenvolvimento de *software* utilizadas.

5.1 Classificação de dispositivos de interação quanto à carga cognitiva e escolhas para a plataforma proposta

Considerando as tecnologias de interface utilizadas em G&RV, é possível supor uma linha contínua ligando um ambiente virtual abstrato em um extremo, a um ambiente virtual concreto em outro extremo e dispor ordenadamente sobre essa linha os diferentes dispositivos conhecidos, assim como foi proposto por Milgram et al. (1994). Conhecendo as principais características de alguns dispositivos de visualização utilizados em G&RV, propõe-se ordená-los hipoteticamente em função da carga cognitiva exigida em sua utilização, como ilustrado na Figura 5.1.

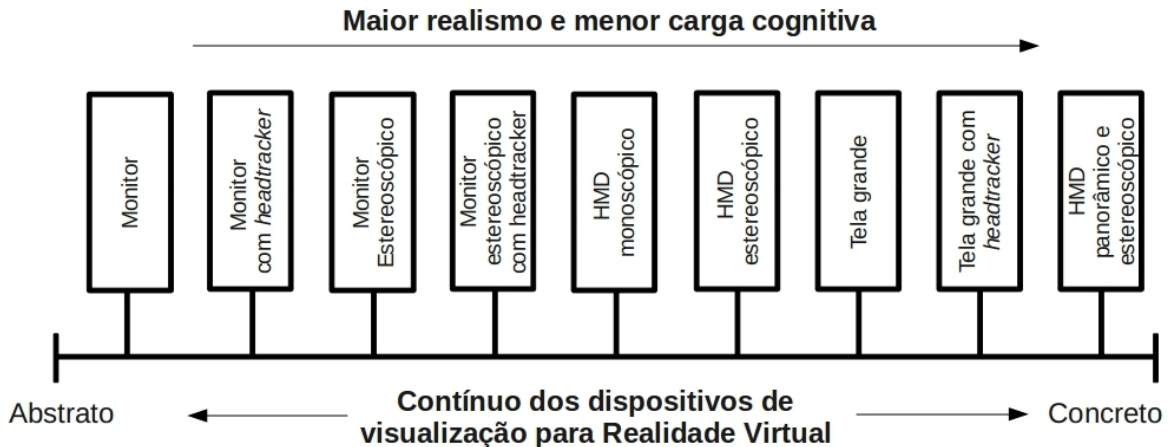


Figura 5.1: Contínuo dos dispositivos de visualização em Realidade Virtual

Embora se tenha apenas uma ideia aproximada do nível de realismo proporcionado e da carga cognitiva demandada por cada tipo de dispositivo, essa classificação pode oferecer uma visão geral e ajudar a orientar as escolhas envolvidas em um projeto de sistema de treinamento baseado em RV.

Na Figura 5.1, o termo *headtracker* se refere ao esquema tipo *fishtank* (aquário), como

foi apresentado no Capítulo 3 (Fig.3.10). Além disso, considerou-se que uma tela grande oferece um campo de visão maior do que aquela oferecida por um HMD. Considerou-se também que HMDs panorâmicos (Fig.3.11) oferecem um campo de visão maior do que telas grandes.

Em concordância com a classificação apresentada na Figura 5.1, o estudo de Qi et al. (2006) obteve indícios de que o esquema *fishtank* possibilita maior acurácia e rapidez na execução de tarefas em um ambiente 3D, quando comparado ao uso de HMD. Outro estudo, de Demiralp et al. (2006), compara qualitativa e quantitativamente o desempenho de usuários em interfaces baseadas em CAVE e em *fishtank*. O estudo revela que, em tarefas de busca visual, o *fishtank* mostrou-se mais rápido e preciso que a CAVE.

Tan et al. (2006) afirmam que grandes monitores envolvem os usuários no problema espacial levando-os a desenvolver estratégias cognitivas mais eficientes quando comparados a outros dispositivos. As telas com grandes dimensões oferecem benefícios na execução de tarefas como a navegação 3D e na formação de mapas cognitivos. Outros estudos também têm mostrado que telas grandes aumentam o desempenho do usuário em ambiente 3D, tanto em atividades habituais (CZERWINSKI et al., 2003) quanto em tarefas espaciais em primeira pessoa. A resolução maior da imagem contribui para um melhor desempenho (NI; BOWMAN; CHEN, 2006; SCHULZE et al., 2005).

Além do dispositivo de visualização, outro elemento considerado como uma dimensão na taxonomia proposta por Wang e Dunston (2011) é o “mecanismo de entrada”, o qual basicamente consiste no conjunto de dispositivos utilizado e suas funcionalidades para interação com o sistema. O mecanismo de entrada mais intuitivo é aquele em que as características do dispositivo físico mais aproximadamente correspondem à sua contraparte virtual, tanto em aparência quanto em funcionalidade.

No mundo real, objetos podem ser manipulados em seis graus de liberdade, ou seja, translação e rotação nas três direções. Dessa maneira, dispositivos que oferecem menor grau de liberdade, como, por exemplo, o *mouse*, que oferece apenas translação em duas

direções, requerem transformações adicionais para permitir um total controle de objetos no espaço 3D. Com isso, um maior esforço mental é necessário. Portanto, o *mouse* não é o dispositivo ideal para manipular objetos no espaço, pois exige que o usuário realize muitas transformações mentais. É preferível que o usuário possa engajar-se na tarefa a ser realizada prestando maior atenção ao trabalho e despendendo menor esforço mental ao utilizar o dispositivo de interação.

Inspirado na ideia de uma linha contínua ligando um extremo, em que a carga cognitiva despendida para manipular um objeto e navegar em um ambiente virtual 3D é máxima, a outro extremo, onde a interação se dá de forma tão intuitiva e natural que a carga cognitiva é mínima, propõe-se a ordenação de dispositivos de interação citados (Capítulo 3). A Figura 5.2 ilustra a ordenação de dispositivos de interação usados em G&RV, em que dispositivos mais à direita demandam menor carga cognitiva, ou seja, são mais intuitivos e congruentes.

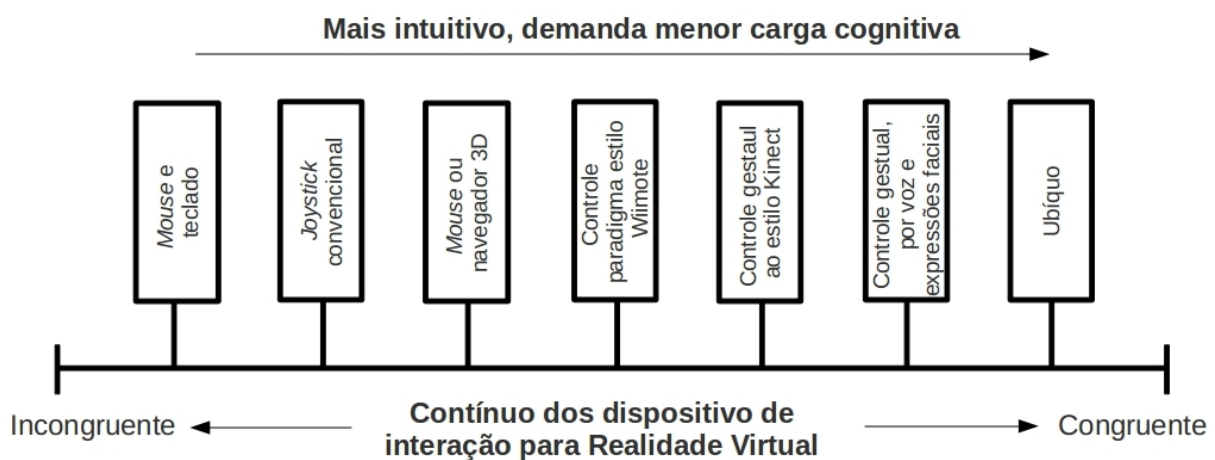


Figura 5.2: Contínuo dos dispositivos de interação em Realidade Virtual

Classificar dispositivos de interação em função de uma suposta usabilidade pode parecer incoerente ou então uma tarefa sem sentido, dadas as inúmeras possibilidades e formas de interação que cada dispositivo apresenta. No entanto, neste estudo foi considerado o uso em ambientes virtuais tridimensionais, em que basicamente dois tipos principais de interação são fundamentais, a saber, a navegação em primeira pessoa e a seleção e manipulação de objetos no espaço.

Wang e Dunston (2011) atentam ainda para a importância da análise da tarefa que o usuário deverá executar no ambiente virtual, pois o mecanismo de *output*, ou seja, a apresentação da cena virtual bem como as características das respostas do sistema às ações do usuário, devem ser apropriadamente modeladas para se obter maior qualidade na usabilidade do sistema.

Nesse sentido, o ponto de vista do observador tem uma importância primordial, pois o usuário precisa ter uma visão detalhada, clara e desobstruída das informações, objetos e ferramentas. Dependendo dos requisitos de centralidade da tarefa a ser realizada, é preferível o ponto de vista egocêntrico (para identificação e localização de objetos ou estimar distâncias), exocêntrico (para informações de navegação e autolocalização), ou ainda vistas simultâneas.

Decidir sobre o melhor esquema de visualização durante o desenvolvimento de um projeto não é uma tarefa trivial. Muitos fatores, os quais não foram mencionados nos trabalhos supracitados, podem ser relevantes na tomada de decisão. Por exemplo, no caso do projeto RV-Copel, algumas características específicas têm influência direta sobre as escolhas dos dispositivos de interface. O fato de o electricista encontrar-se dentro de uma cesta suspensa por uma haste e, dessa forma, ter seus movimentos restringidos, deve ser considerado. Além disso, toda tarefa de manutenção em linha viva ocorre em uma região limitada em torno da estrutura a ser modificada (em geral, próximo ao topo de um poste), com isso, o electricista mantém-se praticamente no mesmo lugar e olhando para uma região limitada do espaço à sua frente.

Ponderando-se as características da aplicação pretendida neste trabalho e as experiências relatadas na literatura científica, é possível deduzir que uma possível solução para a plataforma visada deverá integrar grandes telas estereoscópicas ao esquema *fish-tank*. Algumas considerações sobre o desenvolvimento do *software* para a utilização de tais dispositivos serão exploradas na próxima seção. Na Seção 5.3 é descrita a proposta completa da plataforma.

5.2 Desenvolvimento do *software* principal

Diferentes linguagens de programação, formato de arquivos, bibliotecas e ferramentas computacionais são utilizadas no desenvolvimento de *software* para RV. Além de pacotes comerciais para autoria de ambientes virtuais 3D, tais como o EON Reality¹, o 3DVIA Virtools², o Unigine³ e o Unreal Development Kit⁴, existem diversas bibliotecas de desenvolvimento com distribuição livre ou código aberto, como o Open Simulator⁵, o Open Scene Graph⁶, o VRJuggler⁷ e o Ogre3D⁸.

Além das ferramentas de desenvolvimento de *software*, padrões para formato de arquivos também devem ser definidos, seja para modelos 3D ou para conteúdo multimídia. Ferramentas específicas para modelagem geométrica, além de edição de imagem, áudio e vídeo são necessárias para gerar todo conteúdo que integra um ambiente virtual 3D. Por esta razão, um estudo envolvendo testes preliminares com ferramentas de desenvolvimento e modelagem geométrica foi realizado visando obterem-se fundamentos às escolhas necessárias.

As primeiras atividades para a produção do *software* foram divididas em quatro grupos com características distintas. A primeira delas foi a modelagem geométrica tridimensional de equipamentos e outros objetos que seriam utilizados na composição da cena virtual. A segunda atividade foi a análise e escolha de plataforma de desenvolvimento. Paralelamente, uma terceira atividade foi a de concepção e modelagem das propriedades funcionais do sistema a ser desenvolvido. Finalmente a quarta foi a organização, digitalização e edição do material didático para geração de conteúdo multimídia a ser integrado ao sistema.

¹<http://www.eonreality.com/>

²<http://www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virtools/>

³<http://unigine.com/>

⁴<http://www.unreal.com/>

⁵http://opensimulator.org/wiki/Main_Page

⁶<http://www.openscenegraph.org/>

⁷<http://www.vrjuggler.org/>

⁸<http://www.ogre3d.org/>

5.2.1 Modelagem geométrica 3D e renderização

Foram feitas algumas experiências utilizando diferentes ferramentas de modelagem 3D com o objetivo de avaliar a usabilidade desses programas e buscando obter maior produtividade, já que o trabalho de geração dos modelos geométricos demanda esforço e tempo significativos.

Para a construção do cenário estático, ou seja, dos elementos da cena 3D que não fazem parte dos equipamentos de linha viva, foi utilizado o SketchUp⁹, pois sua interface permite gerar modelos de maneira consideravelmente rápida e intuitiva, especialmente modelos que não requerem precisão dimensional. Para os equipamentos de linha viva foram utilizadas ferramentas do tipo CAD (AutoCAD¹⁰ e Solidworks¹¹), pois são mais adequadas quando se deseja obter um maior controle das dimensões e especificações geométricas. O programa 3D Studio Max¹² também foi utilizado para a otimização de geometrias além de aplicação de texturas e efeitos de iluminação.

Usando o *plugin* OsgMaxExp¹³, foi possível exportar os modelos a partir do 3D Studio Max para o formato IVE, o qual é compatível com a biblioteca *Open Scene Graph* (OSG), utilizada no desenvolvimento de aplicações de RV.

O trabalho de modelagem geométrica envolveu a consulta às especificações dos equipamentos e estruturas de linha viva utilizadas pela Copel. Devido à complexidade da geometria, para cada objeto, foi realizado um planejamento prévio visando definir a melhor estratégia. Algumas vezes é mais adequado criar o sólido por meio da rotação de uma região fechada (sólidos de revolução), outras vezes é mais adequado usar extrusão.

Foi definido iniciar a modelagem pela chamada “Estrutura N1”, de redes de distribuição aérea, a qual consiste de poste, cruzeta, mão francesa, isoladores, parafusos e condutores (Fig 5.3).

⁹<http://sketchup.google.com/>

¹⁰<http://www.autodesk.com.br/>

¹¹<http://www.solidworks.com/>

¹²<http://www.autodesk.com.br/>

¹³<http://sourceforge.net/projects/osgmaxexp/>

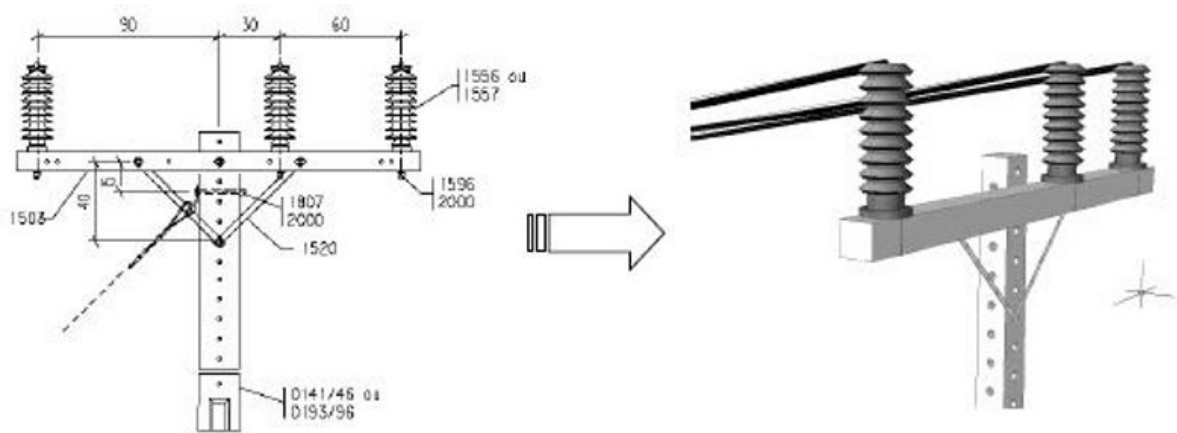


Figura 5.3: Modelagem da estrutura N1.

Durante o processo de modelagem alguns objetos foram gerados em três diferentes níveis de detalhes para implementação da técnica chamada *Level Of Detail (LOD)*, com a finalidade de melhorar o desempenho da renderização (Fig. 5.4).

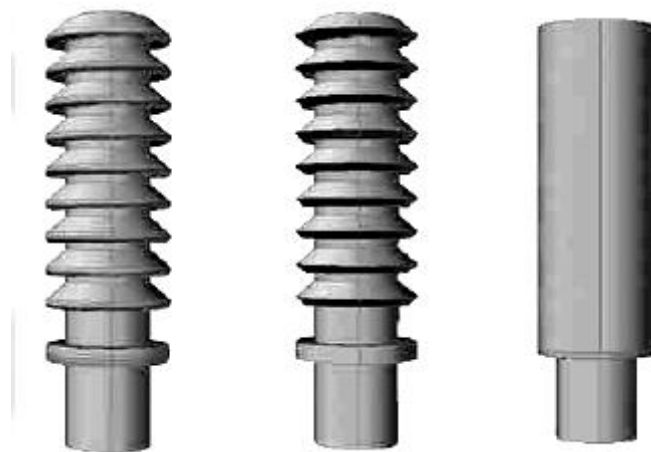


Figura 5.4: Diferentes níveis de detalhe para o modelo de um isolador do tipo torre.

5.2.2 A escolha da plataforma de desenvolvimento

A escolha da plataforma de desenvolvimento demandou um estudo específico, pois as premissas do projeto exigiam ferramentas livres. As dificuldades encontradas estavam ligadas basicamente à instabilidade das distribuições e problemas de compilação dos componentes e à configuração do ambiente de desenvolvimento. Tentativas foram feitas utilizando

algumas das plataformas descritas na literatura, com o objetivo de se obter informações quanto à facilidade de uso, instalação e configuração.

Dentre os casos relatados na literatura, tem-se em CORSEUIL et al. (2003) o uso de OSG e VRJuggler. Em Sherman et al. (2007) também foi utilizado um conjunto de ferramentas livres, dentre elas destaca-se a FreeVR¹⁴. Em Netto, Gouveia e Cateriano (2005) é descrito um ambiente virtual 3D aplicado ao projeto de redes de distribuição de energia elétrica em que foram utilizados 3DMAX e AutoCAD para modelagem geométrica além de VRJuggler e OSG para o controle dos dispositivos de interação e renderização. Em Gerbaud et al. (2008), é apresentada uma plataforma que utiliza um *toolkit* chamado OpenMASK¹⁵ para a renderização, o qual utiliza o *engine* Ogre3D.

Em Park, Jang e Chai (2006) é apresentado um sistema de RV imersivo, semelhante ao idealizado aqui, para treinamento de trabalhadores que operam em linhas vivas. A plataforma apresentada, baseada em desktop, consiste em um HMD, uma luva de dados, um conjunto de sensores de posição e um computador. Uma particularidade do sistema apresentado nesse trabalho é o reconhecimento de fala, utilizado para simular a comunicação entre os membros da equipe. O principal *software* utilizado foi o WorldToolKit que é uma biblioteca escrita em C.

Neste trabalho, os *toolkit* OSG e VRJuggler foram compilados a partir de seus códigos fonte. Para isso, utilizou-se o aplicativo Cmake¹⁶ em Windows e, então, os ambiente de desenvolvimento Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition¹⁷, NetBeans¹⁸ e o Eclipse¹⁹. Outra biblioteca testada foi a chamada VRKit²⁰, a qual combina VRJuggler com OpenSG²¹. Esta última é uma biblioteca para gerenciar grafos de cena, desempenhando papel semelhante ao do OSG.

¹⁴<http://www.freevr.org/>

¹⁵<http://www.openmask.org/>

¹⁶<http://www.cmake.org/>

¹⁷<http://www.microsoft.com/express/vc/>

¹⁸<http://www.netbeans.org/>

¹⁹<http://www.eclipse.org/>

²⁰<https://realityforge.vrsource.org/trac/vrkit>

²¹<http://opensg.vrsource.org/>

Também foram feitos alguns testes com o X3D. A ferramenta de autoria X3D-Edit permite construir conteúdos X3D e integra-se ao ambiente NetBeans para inserção de códigos Java. A dificuldade encontrada nesse ambiente foi em relação aos visualizadores de conteúdo X3D disponíveis, pois os visualizadores gratuitos ou de código aberto apresentaram limitações e instabilidade.

Os testes realizados indicaram que a solução mais estável e que resultou em melhor desempenho da renderização final em termos de *framerate*, foi obtida utilizando-se a biblioteca OSG (versão 2.8.1) com o ambiente de desenvolvimento Eclipse (versão 3.1) sob o sistema operacional Linux Ubuntu (versão 9.04). Uma descrição mais detalhada dos componentes que compõe a plataforma final será apresentada na Seção 5.3.

5.2.3 Concepção do modelo funcional

A concepção do modelo funcional envolveu o estudo sobre como são realizadas as atividades de manutenção em linha viva e do processo de treinamento. Dentre os métodos utilizados pela Copel, o método “ao contato” é o mais frequente, ocorrendo em 95% dos casos. Os objetivos do treinamento em linha viva pelo método ao contato, como já foi citado no Capítulo 2, são: estabelecer os procedimentos, sequências e medidas de segurança; dimensionar os recursos necessários para execução; fornecer informações sobre características mecânicas e dielétricas das ferramentas; e fornecer dados sobre os cuidados com o uso, conservação e recuperação dos equipamentos.

Para que o sistema baseado em G&RV atinja os objetivos do curso de forma melhorada, ou seja, trazendo um ganho de efetividade no aprendizado, reduzindo tempo e custo, é sensato pensar que todo o material didático utilizado esteja, de alguma forma, acessível ao usuário. Então, imaginou-se utilizar todos os recursos multimídia suportados inseridos no contexto do ambiente virtual, de tal forma que a cena 3D possa servir de interface para acessar documentos, fotos, vídeos e animações.

Por meio de recursos multimídia, todas as informações que são transmitidas aos alu-

nos durante o curso podem ser disponibilizadas em um ambiente 3D de maneira que o usuário possa acessar, navegar e interagir com o conteúdo de maneira livre e exploratória. Por exemplo, o usuário poderia selecionar uma determinada estrutura ou equipamento e solicitar ao sistema que mostre como é feito o seu desmonte. Então uma animação 3D iria instruir o usuário, passo a passo. Textos e fotos de peças reais podem ser utilizados para enriquecer as instruções.

Três módulos diferentes podem compor a aplicação completa visada, (1) um Módulo de Exploração Livre, (2) um Módulo de Instruções e (3) um Módulo de Simulação Interativa. O módulo de exploração livre seria um ambiente virtual 3D que fosse como uma interface de navegação e acesso a todo material didático disponível. O Módulo de Instruções seria aquele que transmitiria as informações de modo metódico em uma sequência didática, enfatizando os pontos principais e questões de segurança. E o Módulo de Simulação Livre seria aquele em que o usuário iria simular alguma atividade de manutenção em linha viva e estar sujeito a cometer erros. O sistema responderia simulando a realidade, podendo, por exemplo, ocorrer explosões, ruptura de uma estrutura e outros acidentes, de maneira simulada.

5.2.4 Organização do material didático integrado

As atividades de organização, digitalização e edição do material didático para geração de conteúdo multimídia consistem no tratamento de fotos (corte, redução de tamanho, etc.), edição de vídeo e elaboração de textos instrutivos baseados no material didático utilizado nos cursos de treinamento em linha viva.

Durante o treinamento, é apresentado um filme instrutivo que descreve detalhadamente diferentes atividades de manutenção em linha viva, além das atividades que são comuns a todas elas, como os procedimentos básicos de segurança, por exemplo. Esse filme foi editado e convertido em pequenos vídeos que poderão ser utilizados no sistema. O uso pode se dar, por exemplo, no caso do usuário, durante a simulação, esquecer de

realizar algum procedimento. O vídeo poderá, então, mostrar ao usuário o procedimento correto.

Assim, o trabalho foi reunir todo o material didático e instrutivo utilizado no curso de treinamento, organizá-lo e editá-lo de maneira e torná-lo adequado para inserção e acesso por meio do ambiente virtual 3D a ser construído.

5.3 A plataforma proposta

Após um período de avaliação, foi estabelecido que a plataforma de desenvolvimento seria baseada no *toolkit* OSG que consiste de uma biblioteca multiplataforma, de código aberto, escrita em C++ padrão e OpenGL. Além do OSG, outras bibliotecas foram utilizadas para integrar a plataforma completa. Todos os componentes da plataforma serão descritos nesta seção.

OSG (MARTZ, 2007) é um *toolkit* de código aberto multi-plataforma para aplicações gráficas de alto desempenho. É voltado para áreas como simulação visual, jogos, realidade virtual, modelagem e visualização científica. Funciona em uma camada de abstração de alto nível e extensível, desenvolvida sobre o OpenGL, provendo uma interface de programação mais produtiva para o desenvolvimento de aplicações de computação gráfica. Características tais como possuir uma estrutura hierárquica de renderização eficiente, empregar técnicas avançadas de gerenciamento de memória e possuir capacidade para lidar com modelos 2D/3D e imagens em vários formatos fazem de OSG uma boa escolha para integrar a plataforma de desenvolvimento.

Buscou-se, para a plataforma visada, a integração de um conjunto de bibliotecas e *kits* de desenvolvimento destinado às seguintes funções:

- Renderização, gerenciamento e otimização do grafo de cena;
- Simulação física (dinâmica e colisão);
- Controle de áudio;
- Controle de dispositivos E/S.

Para a primeira função, foi escolhido o OSG por reunir uma série de características desejáveis, tais como ser de código aberto, orientado a objetos, multiplataforma, escrito em C++, eficiente e com documentação e exemplos acessíveis. O desenvolvimento foi realizado utilizando a linguagem de programação C++.

Para a simulação física, após a realização de experimentos com ODE e Bullet²², optou-se pelo PhysX²³. Apesar do PhysX não ser de código aberto, é de distribuição livre e possui versões para plataforma Windows e Linux. A principal razão para essa escolha foi a intenção de utilizar o adaptador gráfico com processador NVidia²⁴ para realizar o processamento numérico exigido na simulação física.

Alguns dispositivos de interação não convencionais foram utilizados para compor a plataforma desenvolvida. Como, por exemplo, o controle Wii Remote²⁵, ou Wiimote, e o navegador 3D Space Navigator²⁶. Para controlar esses dispositivos, foram utilizadas as bibliotecas Cwiid²⁷ e a biblioteca SpaceNav²⁸, respectivamente.

Finalmente, para o controle de áudio 3D foi utilizada a biblioteca multiplataformas OpenAL²⁹, projetada para uso em jogos e simuladores. O modelo de áudio fornecido por essa biblioteca provê uma coleção de fontes sonoras pontuais que podem mover-se no espaço e são percebidas pela perspectiva de um único ouvinte, cuja localização e orientação são definidas.

Em especial, a simulação física requer um esforço de modelagem geométrica adicional, uma vez que, para computar a dinâmica e a colisão, uma malha simplificada deve ser utilizada ao invés da malha a ser renderizada para visualização. O objetivo é reduzir o esforço de processamento numérico intenso realizado pelo “motor de física” (*physics engine*). Na Figura 5.5 são mostradas as duas malhas utilizadas para representar um

²²<http://bulletphysics.org/wordpress/>

²³http://www.nvidia.com/object/physx_new.html

²⁴<http://www.nvidia.com>

²⁵<http://www.nintendo.com/wii/console/controllers/>

²⁶<http://www.3dconnexion.com/products/spacenavigator.html>

²⁷<http://abstrakraft.org/cwiid/>

²⁸<http://spaconav.sourceforge.net/faq.html>

²⁹<http://connect.creativelabs.com/openal/>

transformador. A cada quadro (ou *frame*), durante a simulação, a posição e orientação de todos os objetos dinâmicos da cena devem ser atualizadas, ou seja, a malha física deve ser sincronizada com o objeto renderizado.

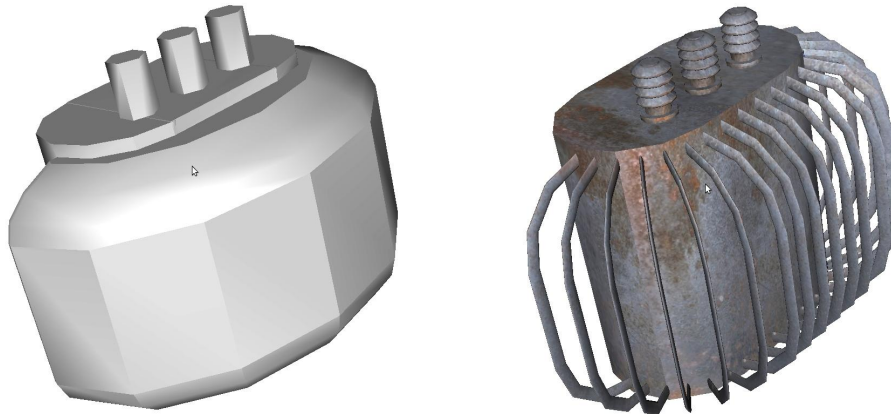


Figura 5.5: Malhas geométricas para um transformador: para a simulação física e para visualização.

Quanto a *hardware*, a proposta inicial do projeto RV-Copel contemplava um HMD, luvas com sensores, um conjunto de rastreadores de posição (*trackers*) e um colete especial, adaptado a partir de um colete de esgrima. Após um estudo mais detalhado e testes com alguns desses equipamentos concluiu-se que essa combinação de dispositivos poderia não ser a melhor escolha para a plataforma final (BURIOL et al., 2009).

A atividade em linha viva ocorre sempre em um equipamento imóvel, como uma cruzeta ou transformador fixado ao poste, isso significa que o electricista não precisa ter uma visão panorâmica de todo o ambiente pois sua atenção estará voltada ao equipamento em manutenção. Além disso, o operador tem a sua movimentação limitada pela cesta isolada (ver Capítulo 2, Fig.2.1) o que impede sua locomoção livre. Seus movimentos ficam basicamente restritos a inclinar-se para frente ou para os lados. Dessa forma, um dispositivo do tipo HMD tornar-se-ia subutilizado, uma vez que sua propriedade de egocentricidade não é essencial, podendo ser mais eficiente o uso de uma grande tela juntamente com um dispositivo do tipo *fishtank* para mapear o ponto de vista do usuário.

O HMD modelo 5DT 800-26, por exemplo, possui resolução de 800 por 600 pixels e oferece um campo de visão restrito, de 28° na horizontal e 21° na vertical, 26° na

diagonal. Seu cabo e o peso de aproximadamente 600g diminuem o conforto e restringem a movimentação do usuário. Esse modelo custa em torno de USD 4.000 e o modelo 5DT HMD 800-40, com campo de visão de 40° na diagonal, custa em torno de USD 10.000. Para a cena ser atualizada de acordo com a posição da cabeça do usuário do HMD é preciso usar um *tracker*. O modelo Polhemus MINUTEMAN³⁰ com 3 graus de liberdade (3 DOF em inglês), ou seja, capaz de detectar a inclinação em relação aos 3 eixos principais, custa aproximadamente USD 1.500.

Ponderando essas características, optou-se por substituir o HMD por duas televisões Mitsubishi WD-73735 de 73 polegadas. Esse aparelho custa aproximadamente USD 2.500 e possui resolução de 1920 por 1080 *pixels*, suporta a geração de imagens estereoscópicas e, com o usuário distante 1,5 metros da tela, fornece um campo de visão de $57,8^\circ$ na horizontal e $40,5^\circ$ na vertical. Posicionando outra televisão abaixo da primeira e com uma inclinação de 45° com a horizontal (Veja Fig.5.6), o ângulo do campo de visão do usuário pode chegar a 81° na vertical. Ou seja, usando as duas televisões o campo de visão horizontal dobra e na vertical é quatro vezes maior comparado ao HMD.

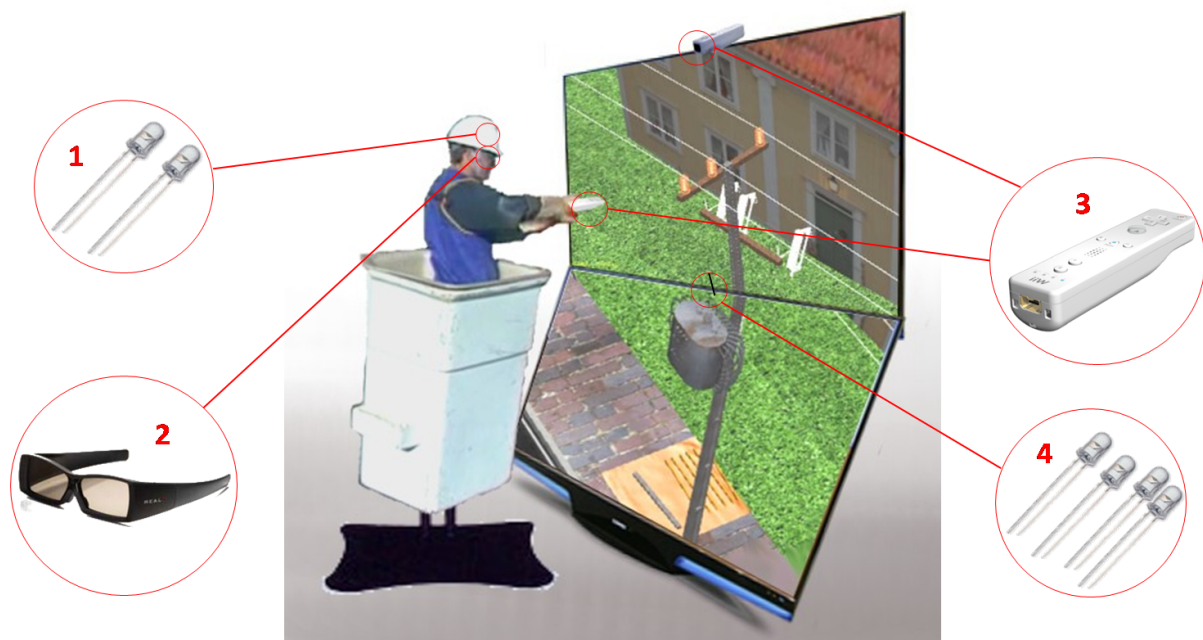


Figura 5.6: Plataforma proposta: (1) conjunto de LEDs para o *headtracker*; (2) óculos para a visão 3D, (3) Wiimotes, (4) LEDs para o *pointer*

³⁰<http://www.polhemus.com/>

Durante a atividade em linha viva, o eletricista permanece dentro de uma cesta isolada. Seus movimentos ficam, portanto, limitados, e a posição da cabeça não ultrapassa um metro em torno da posição central. Essa situação configura um caso propício para utilização de um *headtracker* (rastreador da posição da cabeça) baseado no sistema de Lee (2008). Nesse sistema o ponto de vista do usuário é rastreado por meio da câmera infravermelha de um wiimote que capta sinais de um par de LEDs infravermelhos acoplados aos óculos do usuário. Uma desvantagem desse sistema é que o usuário precisa estar no campo de visão da câmera, o que, para este trabalho, não representa nenhuma limitação considerando que o usuário possui restrição de movimentação.

O dispositivo principal de interação, que inicialmente seria um par de luvas de dados (*dataglove*), foi substituído por outro wiimote, controlado pelo treinando. Essa opção considera a possibilidade de usar o wiimote como um dispositivo “apontador” para selecionar e movimentar objetos na cena virtual de maneira fácil e intuitiva. Para tanto, basta apontar, clicar e arrastar os objetos da cena. Em contrapartida, a luva requer que o usuário memorize uma série de gestos (BROUGH et al., 2007). Além disso, um par de luvas modelo 5DT Data Glove 5 Ultra custa aproximadamente USD 2000,00 e o wiimote custa aproximadamente USD 35,00.

A câmera do wiimote pode detectar e rastrear até quatro fontes de luz infravermelha por meio de um processador de imagens interno que analisa a imagem, identifica manchas brilhantes, e calcula suas coordenadas. Esses valores podem ser consultados pelo computador conectado ao wiimote via Bluetooth. O wiimote também possui um conjunto de botões programáveis que permitem, por exemplo, navegar no ambiente virtual, acessar menus ou qualquer outra funcionalidade. Na seção 5.5 será descrito em maiores detalhes o “modelo de navegação” desenvolvido.

Dessa maneira, na plataforma proposta, um wiimote é usado para rastrear a posição da cabeça do usuário e outro é usado para manipular os objetos da cena. As coordenadas 2D das fontes de luz infravermelha, usadas como pontos de referência para o wiimote, são mapeadas para um cursor na tela, ou seja, funciona de forma semelhante a um *mouse* e

permite, de forma análoga, selecionar e arrastar objetos na cena. Ao selecionar um objeto e “pegá-lo” pressionando um dos botões do wiimote, o usuário passa a ter um controle 3D do objeto na cena. A distância entre os LEDs, posicionados no friso do televisor, fornece as informações necessárias para o cálculo da terceira coordenada, ou seja, a profundidade. Na seção 5.6 o “modelo de interação” será descrito em maiores detalhes.

Outro aspecto considerado relevante para este trabalho, do ponto de vista da imersão, é a reprodução das condições em que o electricista se encontra durante a prática da atividade. Além de usar os EPIs que são pesados e pouco confortáveis, o electricista ainda tem sua mobilidade limitada devido à cesta isolada dentro da qual ele permanece enquanto realiza a tarefa. A cesta isolada limita os movimentos, balança e se movimenta. Dessa maneira, a estrutura mostrada na Figura 5.6 tem o objetivo de reproduzir tais condições e, dessa maneira, aumentar o nível de imersão experimentado pelo usuário.

5.4 Modelo de avaliação para o sistema proposto

O projeto de ambientes virtuais 3D efetivos em termos de qualidade e usabilidade é um desafio para desenvolvedores de sistemas computacionais e para especialistas em fatores humanos. Isso ocorre pelo fato de que os princípios de usabilidade tradicionais, amplamente pesquisados para as tradicionais interfaces gráficas 2D, não consideram as características específicas dos sistemas 3D, tais como os modelos de navegação, seleção e manipulação de objetos bem como a integração dos sistemas de saída audiovisual e háptica.

Stanney et al. (2003) identificam e categorizam diversos critérios de *design* para interface de Ambiente Virtual Tridimensional (AV3D), os quais envolvem atributos específicos desse tipo de sistema. A abordagem sistemática de categorização apresentada pode subsidiar a definição de heurísticas de usabilidade e também decisões de projeto importantes durante o desenvolvimento da interfaces. Com base na análise de Stanney et al. (2003) e no conjunto de heurísticas apresentado por Sutcliffe e Gault (2004), além de outros tra-

balhos (RIEDER; PINHO, 2011; VIDANI; CHITTARO; CARCHIETTI, 2010; ZHANG; GU, 2009; MAURTUA, 2009; TROMBETTA; BACIM; PINHO, 2007; REBELO; BARCIA, 2004), propõe-se um modelo de teste com usuários baseado em observação direta do uso do sistema e aplicação de questionários.

As hipóteses a serem testadas são:

1. a interface é suficientemente simples a ponto de permitir que usuários não familiarizados com esse tipo de tecnologia consigam desempenhar tarefas obtendo desempenho próximo àqueles usuários com maior experiência;
2. o mecanismo de interação permite que os usuários melhorem seu desempenho com a prática de uso;
3. a qualidade gráfica e funcional do sistema promove o engajamento do usuário.

A coleta de dados será realizada por observação direta, tomadas de tempo e captura em vídeo das atitudes dos usuários durante o uso do aplicativo. Além de questionários pré-teste e pós-teste.

O primeiro questionário proposto pretende coletar informações sobre o perfil do usuário, identificando características relevantes tais como a familiaridade do usuário com ambientes virtuais e com jogos eletrônicos ou de computador. O questionário pós-teste tem como objetivo avaliar o ambiente virtual desenvolvido e o mecanismo de interação proposto indicando o grau de satisfação do usuário, facilidade de uso e de aprendizado, bem como a impressão geral de cada usuário.

O teste seguirá um protocolo simples que consiste das seguintes etapas:

1. Pedir ao usuário para responder ao questionário pré-teste.
2. Informar ao usuário a tarefa que ele deverá realizar.
3. Mostrar uma única vez como usar o dispositivo, fornecendo algumas informações básicas, pré definidas, da mesma forma para todos os usuários.
4. Pedir para que o usuário realize uma determinada tarefa uma vez “pensando em

voz alta”.

5. Pedir para que o usuário realize a mesma tarefa sem comunicar-se com o avaliador.
6. Pedir para que o usuário realize a mesma tarefa pela segunda vez sem comunicar-se com o avaliador.
7. Pedir ao usuário para responder ao questionário pós teste.

5.5 O modelo de navegação e visualização

No ambiente virtual de treinamento aqui proposto, o modelo de navegação utiliza o controle wiimote para reproduzir um apontador a laser, similar àqueles usados em apresentações multimídias. Isso é feito utilizando duas fontes de luz infravermelha, dispostas na base do *display*, que são detectadas pela câmera do wiimote. Com isso, o wiimote pode ser usado para controlar o cursor como o *mouse* o faz, constituindo, portanto, um cenário familiar para quem está acostumado a usar computador. Pressionando o botão A, mostrado na Figura 5.7, o cursor controla a câmera virtual podendo rotacioná-la em relação aos eixos vertical e horizontal. O centro da tela é o ponto neutro, a velocidade da rotação é proporcional à distância entre o cursor e o ponto central da tela. Portanto o usuário pode focar a câmera para qualquer ponto da cena simplesmente deslocando o cursor para cima e para baixo ou para os lados de forma simples e intuitiva



Figura 5.7: O dispositivo wiimote e testes de uso para navegação e interação.

Para transladar a câmera na direção do foco, ou seja, “andar para frente e para trás”

o usuário precisa manter o botão A pressionado enquanto aproxima e afasta o controle da tela, respectivamente. Rotando e transladando a câmera ao mesmo tempo, é possível navegar livremente no espaço 3D da cena. A velocidade da navegação é controlada pela aproximação ou afastamento do controle à tela. Ao pressionar o botão, o sistema computa a distância entre os LEDs e quando essa distância aumenta ou diminui, a velocidade aumenta no sentido positivo e negativo proporcionalmente. O resultado é que, se o usuário quer “andar para frente”, basta aproximar o controle da tela. Quanto mais próximo o controle estiver da tela, maior será a velocidade. Para “andar para trás” o procedimento é análogo, afastando o controle da tela.

Além da navegação 3D na cena, o usuário ainda pode simplesmente movimentar a cabeça para obter um novo ponto de vista da cena devido ao *headtracker*. Isso promove a sensação de imersão e permite que o usuário mude a posição da câmera virtual sem a necessidade de utilizar um dispositivo de interação convencional. Os movimentos naturais e intuitivos que o usuário faz com o corpo visando a obter um melhor ângulo de visualização da cena alteram a posição da câmera virtual de forma a simular o que ocorre no “mundo real”.

A Figura 5.8(a) ilustra o esquema do *headtracker* feito com o wiimote mostrando três possíveis posições da cabeça do usuário (A, B e C), onde B é a posição inicial. Em 5.8(b) são indicadas as correspondentes posições da câmera virtual e em 5.8(c) é mostrado o mapeamento das posições dos LEDs, presos aos óculos do usuário, para a tela.

Na Figura 5.8 são apresentados, em cada posição, três pontos que correspondem aos dois LEDs e ao ponto médio do segmento de reta que liga esses dois pontos. Baseado na distância entre os LEDs, medida em *pixels*, é calculada a variação da distância do usuário à tela em relação à posição inicial e, com isso, a câmera virtual é transladada para controlar o nível de *zoom* e o ângulo de abertura do campo de visão *frustum*. O resultado é que, se o usuário se aproximar da tela, ele obterá um campo de visão maior do mundo virtual semelhante ao que acontece quando nos aproximamos de uma janela. Dessa forma, busca-se causar a sensação de que a tela funciona como uma janela para o

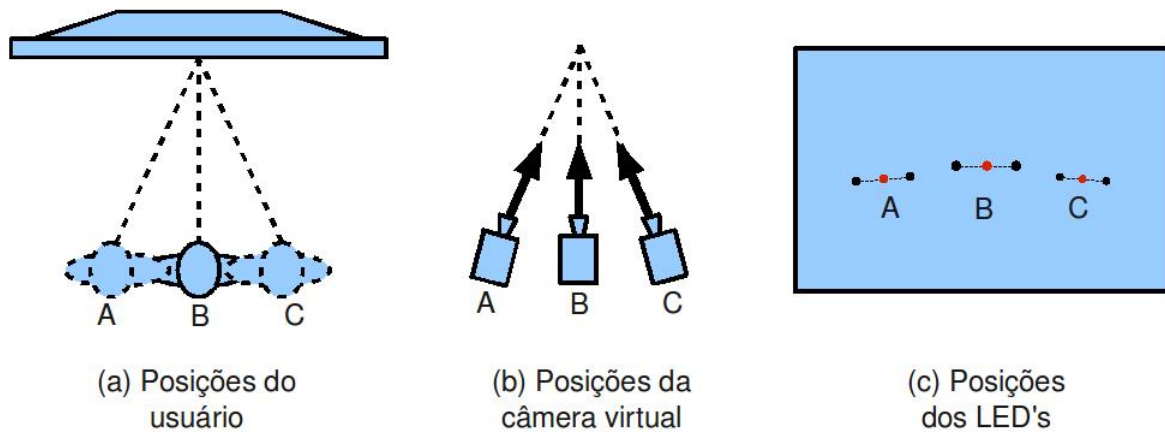


Figura 5.8: Ilustração de possíveis posições do treinando.

mundo virtual.

A Figura 5.9 ilustra o funcionamento do *headtracker*. É possível observar os diferentes pontos de vista do usuário correspondentes às diferentes posições onde ele se encontra.

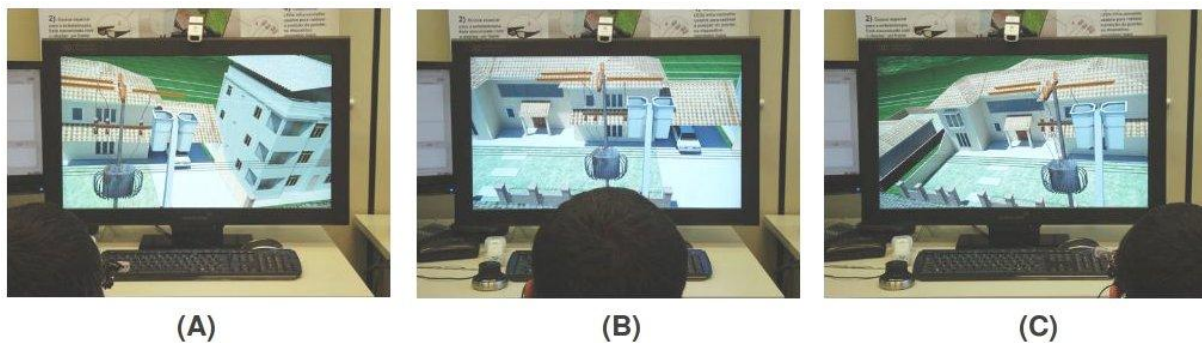


Figura 5.9: Funcionamento do *headtracker*.

Dessa forma, a câmera virtual é reposicionada, a cada *frame*, de acordo com a posição do usuário de maneira que o *display* simule uma janela para o mundo virtual, como citado anteriormente. Assim, o usuário usa os movimentos naturais do corpo, podendo aproximar-se da tela para aumentar o campo de visão ou movimentar-se para o lado para observar objetos obstruídos por outros objetos na cena.

5.6 O modelo de seleção e manipulação

Um dos principais objetivos do treinamento é garantir que o aluno lembre a sequência correta dos procedimentos que devem ser realizados durante a atividade de manutenção. Uma vez que o electricista encontra-se próximo ao condutor energizado, na posição correta para o início da atividade, ele deve primeiramente cobrir os cabos de baixa tensão utilizando uma cobertura isolante rígida. Então, em seguida, deve cobrir o cabo de alta tensão da fase mais próxima. Passo a passo, o electricista precisa executar os procedimentos, obedecendo à sequência pré-determinada e utilizando os equipamentos corretos. Dessa forma, em geral, pode-se dizer que a atividade consiste de uma sequência de ações simples, envolvendo basicamente selecionar um equipamento e reposicioná-lo corretamente.

Dessa maneira, é importante que o sistema ofereça formas de interação simples e intuitivas, em que o usuário possa selecionar objetos na cena e movimentá-los livremente no espaço 3D sem dificuldade ou limitações. Essa interação deve ser natural o suficiente para que o usuário possa concentrar-se na atividade em si, sem precisar memorizar comandos ou funções de botões, ou seja, reduzindo a carga cognitiva externa ao conteúdo. Além disso, deseja-se que a interação ocorra de forma semelhante ao que ocorre na realidade para, com isso, promover a sensação de imersão.

Idealmente, os ambientes virtuais tridimensionais deveriam permitir ao usuário interagir diretamente com objetos virtuais utilizando o seu conhecimento sobre a física do mundo real. No entanto, em muitos casos este nível de interação não é alcançado. As limitações encontradas têm diversas razões, além das restrições e limitações tecnológicas impostas pelos dispositivos, como tempo de resposta, excesso de fios para conexão e baixa qualidade visual das imagens, outros fatores menos óbvios impedem o desenvolvimento de aplicações efetivamente úteis.

A incapacidade inerente aos dispositivos de realidade virtual de captar todas as informações que podem ser produzidas pelo usuário, obriga este usuário a seguir regras rígidas e às vezes pouco naturais no processo interativo (PINHO, 2000). A principal di-

ficuldade é a falta de restrições dos ambientes tridimensionais gerados por computador, pois as técnicas de interação tridimensionais simulam o toque em objetos virtuais que não dão ao usuário o retorno tátil e comportamental que o objeto real provê.

A realização de tarefas em um ambiente virtual imersivo, passa necessariamente por uma ou mais destas tarefas básicas: navegação, seleção e manipulação. Segundo Mine (1995), na análise de qualquer das tarefas interativas citadas pode-se definir três categorias, de acordo com tipo de controle exercido pelo usuário, a saber, a Interação Direta, em que o usuário utiliza os movimentos de seu próprio corpo (mãos, braços, cabeça, etc) para interagir; a Interação com Controles Físicos, em que o usuário interage por meio de um controle físico que pode ser um *joystick* ou o guidão de um carro; e Controles Virtuais, cuja ideia é representar virtualmente um controle físico.

Antes da manipulação de um objeto é essencial que o usuário selecione o objeto a ser manipulado. Para isso é necessário que o usuário possa indicar ao sistema qual objeto deseja manipular e receba um *feedback*, indicando que o sistema “entendeu” a intenção do usuário para que ele possa, enfim, confirmar a seleção. Para selecionar objetos na cena pode-se usar um raio de apontamento. Nesta técnica, conhecida por *ray casting*, uma espécie de raio laser sai da mão do usuário e projeta-se na direção do ambiente virtual sendo controlado pelo movimento de algum objeto ou pela própria mão do usuário. A seleção pode ser realizada sobre a imagem 2D do ambiente 3D, ou seja, a direção de apontamento é ortogonal à tela, dada pelo cursor sobre a tela, o primeiro objeto atingido pelo raio é indicado para seleção.

A manipulação de um objeto no ambiente 3D, segundo POUPYREV e ICHIKAWA (1999), consiste na mudança de algum parâmetro ou o estado de um objeto previamente selecionado. Esta mudança de estado e inclui rotação, posição, tamanho ou outro parâmetro qualquer. Para efetuar estas operações pode-se usar manipulação direta, controles físicos e apontamento por raios (MINE, 1995). Para rotação, torna-se bastante natural a aplicação de giros ao redor do eixo definido pelo raio. No caso da translação o deslocamento do raio pode, fácil e intuitivamente, alterar a posição do objeto. Para dar um controle total ao

usuário é necessário algum tipo de comando que aproxime ou afaste o objeto do ponto de origem do raio.

No caso da manipulação de objetos utilizando a metáfora do raio apontador, é desejável que o objeto esteja no campo de visão do usuário. Isso não é problema se o usuário usa um HMD mas pode ser uma limitação em um sistema que utiliza tela ou monitor. Então, para que o objeto permaneça no campo de visão do usuário sem que este tenha seu movimento restringido, é possível alterar a posição da câmera virtual fixando-a em relação ao objeto que está sendo manipulado.

Tendo isso em mente, é possível fazer uma analogia com o comportamento humano, quando algum objeto é transportado, especialmente algo que requer cuidado e atenção. Nota-se que é comum o participante da cena permanecer olhando para o objeto enquanto o transporta de um local para outro. De maneira bastante simplificada, pode-se dizer que o participante permanece olhando o objeto durante o trajeto até que ambos, objeto e local de destino, estejam no campo de visão. Em um ambiente virtual, esse comportamento pode ser simulado fazendo com que o usuário controle a câmera, durante a movimentação de um determinado objeto, mantendo a posição desse objeto fixo em relação à câmera.

Fazendo analogia com uma atividade cotidiana, imagine-se uma situação onde alguém está transportando uma xícara de café quente da cozinha até a mesa da sala. Durante o trajeto, é natural que essa pessoa fique olhando para a xícara enquanto caminha da cozinha até a sala. Ela certamente continuará olhando para a xícara até que a mesa da sala também esteja no seu campo de visão. Quando estiver ao seu alcance, ela repousará a xícara sobre a mesa, concluindo a ação.

Essa ideia é a base do modelo de interação desenvolvido para o sistema descrito aqui. A movimentação dos objetos contidos na cena virtual 3D foi feita usando o wiimote como dispositivo apontador. O cursor é utilizado para selecionar um objeto na cena. Quando o cursor se encontra sobre um objeto, esse objeto muda sua coloração indicando ao usuário que é um objeto selecionável e que “está na mira”. Se o usuário pressionar o botão B

(Figura 5.7), o cursor passará a rotar a câmera virtual, exatamente da mesma maneira que ocorre no modelo de navegação. No entanto, agora, o objeto também está sendo movimentado, mantendo-se fixo em relação à câmera.

É comum, em computação gráfica, descrever a localização e orientação da câmera por meio de um conjunto de três vetores, a saber, os vetores *up*, *eye* e *center*, que são utilizados na especificação câmera em OpenGL (CHIN et al., 1998). Na Figura 5.10, é mostrado o esquema do posicionamento do objeto em relação à câmera virtual que foi usado no ambiente virtual aqui descrito. Os vetores que definem a câmera são chamados *up*, *focus* e *uxf*, e o vetor *v* define a posição do objeto em relação à câmera. Para manter o objeto fixo em relação à câmera, basta descrever o vetor *v* em função de suas componentes nas direções dos vetores que definem a câmera.

Da mesma forma como ocorre no modelo de navegação, o usuário pode rotar a câmera apenas movimentando o cursor, levando o cursor para a direita ou para a esquerda. Na tela, a câmera é rotada em relação ao vetor *up*, causando o efeito de olhar para um ou outro lado. Levando o cursor para cima e para baixo, a câmera rota em relação ao eixo *uxf*, causando o efeito de olhar para cima ou para baixo, respectivamente. Dessa maneira, o usuário tem total controle sobre qual direção ele quer visualizar. Além disso, o objeto permanece dentro do campo de visão, fixo em relação à câmera, enquanto é movimentado.

Para completar o modelo de interação, o usuário precisa também poder soltar o objeto em qualquer posição da cena. Isso significa que, além de rotar livremente a câmera, o usuário deve poder transladar no sentido de aproximar ou afastar o objeto de si, ou melhor, da câmera virtual. Em outros termos, observando a Figura 5.10, é possível perceber que para afastar o objeto da câmera, é preciso aumentar o tamanho do vetor *v*, ou seja, multiplicar por um número maior do que 1. Analogamente, para aproximar o objeto da câmera é preciso multiplicar o vetor *v* por um número entre 0 e 1. Então, controlando o tamanho do vetor *v* e a direção para onde a câmera aponta, o usuário pode soltar o objeto em qualquer ponto da cena 3D.

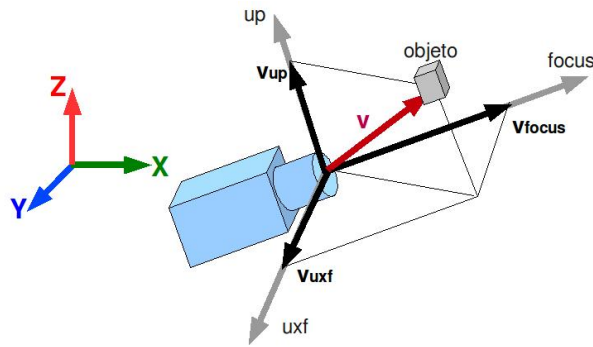


Figura 5.10: Esquema de posicionamento de um objeto em função da câmera virtual.

A forma como o usuário altera a magnitude do vetor v no modelo de interação aqui apresentado é simplesmente aproximando e afastando o controle wiimote da tela. Em outras palavras, se o usuário deseja projetar o objeto para “dentro da tela”, basta que aproxime o controle. Dessa maneira, movendo o wiimote para frente e para trás, o objeto virtual é deslocado nos sentidos “para dentro” e “para fora” da tela respectivamente. A implementação desse método é relativamente simples, como também o é o conceito subjacente, pois baseia-se apenas na distância entre os dois pontos de referência (fontes de luz infravermelha), fixados na tela. Quanto mais afastado o wiimote está das fontes de luz infravermelha, mais próximos os pontos aparecem na câmera e vice-versa.



Figura 5.11: Testes de navegação e manipulação – diferentes pontos de vista.

Nas Figuras 5.11 e 5.12 são mostrados exemplos do sistema sendo testado no televisor 3D para a calibragem dos parâmetros da navegação e da interação para a manipulação dos objetos da cena. Na Figura 5.13 são mostradas duas cenas, uma foto da cena real e uma captura da tela da cena virtual. Na imagem da cena virtual aparecem alguns elementos do cenário 3D como construções e vegetação. Além disso, algumas etapas da simulação da atividade já foram realizadas, ou seja, são mostrados os cabos com algumas coberturas isolantes instaladas, além da cruzeta auxiliar devidamente posicionada.



Figura 5.12: Testes de navegação e manipulação – selecionando e manipulando objetos.

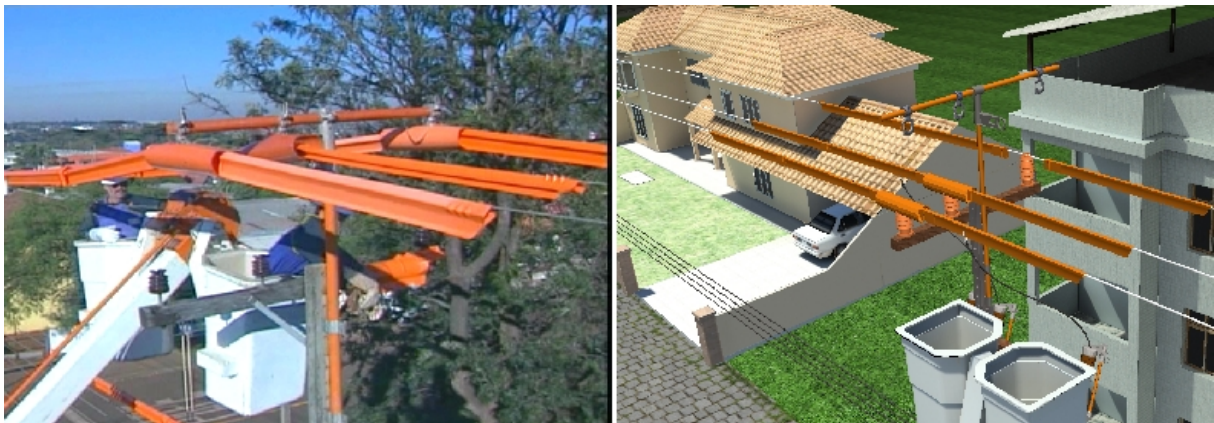


Figura 5.13: Foto da cena real e imagem da simulação (captura de tela).

Na Figura 5.14 são mostradas duas imagens que possibilitam uma melhor compreensão da forma como ocorre a manipulação dos objetos na cena. No caso, uma cobertura auxiliar está sendo movimentada e posicionada de acordo com o procedimento correto.

Em resumo, no processo de manipulação dos objetos, as coordenadas do ponto médio entre os LEDs da tela fornece os deslocamentos 2D enquanto a distância entre os LEDs fornece a terceira coordenada (profundidade). Os dois LEDs que serão a referência para o wiimote na mão do usuário ficam posicionados no friso do televisor. Há, portanto, uma relação de proporção entre o deslocamento do wiimote controlado pelo usuário e o deslocamento do objeto na cena virtual. Por exemplo, cada 20 cm de translação do wiimote correspondem a um metro na cena.

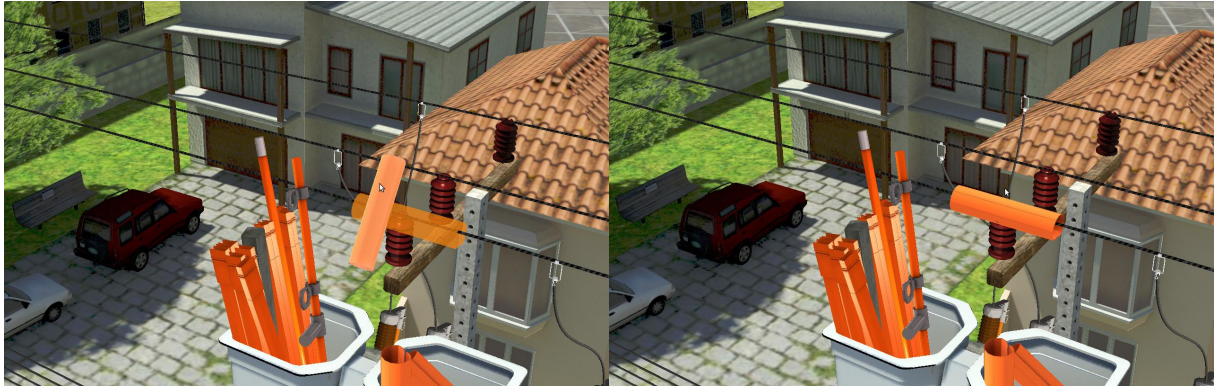


Figura 5.14: Manipulação dos objetos na cena.

5.7 Considerações finais

Potencialmente o perfil do usuário final do sistema proposto é o de eletricitistas habituados a um trabalho pesado realizado em campo. Assim, pode ocorrer que o treinando não possua familiaridade com *games* ou com computador. Essa particularidade requer do sistema de treinamento uma interface que não se apoie em paradigmas da computação ou entretenimento. Isso sugere que um dispositivo tipo “apontador”, como aqueles usados em apresentações, pode ser uma boa solução, pois basta apontar e pressionar um botão para manipular os objetos. Além disso, supostamente um ambiente com uma grande tela seria mais familiar para esse usuário do que um HDM ou uma CAVE.

Vislumbrou-se, portanto, uma solução eficiente em termos de visualização e interação mediante o uso de uma ou mais telas grandes e estereoscópicas, juntamente com um *headtracker* do tipo *fishtank* e um dispositivo apontador para interação com os objetos da cena. Essa configuração proporciona ao usuário meios simples e intuitivos de interação, os quais estão de acordo com a ideia de minimizar a carga cognitiva, conforme foi discutido.

O esquema tipo *fishtank* permite que se utilize os movimentos naturais do corpo para obter dinamicamente novos ângulos de visualização da cena. Para observar um objeto ou equipamento que se encontra obstruído por outro objeto, pode ser suficiente inclinar o corpo para o lado, dessa forma, o usuário pode concentrar-se na tarefa que deseja realizar sem precisar efetuar mentalmente transformações para prever o resultado de suas ações

ao utilizar algum dispositivo de navegação.

Além disso, o dispositivo apontador é usado para seleção e manipulação dos objetos da cena, e também, como dispositivo de navegação. Ou seja, um único dispositivo e um único botão são suficientes para navegar livremente no ambiente 3D, selecionar e manipular objetos na cena virtual, de forma a conseguir movimentá-lo em qualquer direção. Esse esquema supostamente torna a interação mais simples e mais fácil de aprender.

As respostas às ações do usuário são fornecidas constante e instantaneamente. Pode-se dizer que visualmente a interface do sistema é um cenário 3D dinâmico, onde o usuário interage manipulando diretamente os objetos da cena. Ao “apontar” para um objeto da cena, o objeto é realçado indicando a seleção, então, ao pressionar um botão do wiimote, o usuário passa a ter controle do objeto manipulando-o em tempo real, ou seja, o *feedback* é contínuo, em tempo real. Os objetos são fisicamente representados, ou simulados, de tal forma que ao soltar um objeto no ar, este irá cair e colidir com outros gerando uma cadeia de reações dinamicamente semelhantes à realidade.

O cenário onde ocorre a atividade é uma rua onde há carros passando, sons de pássaros e latidos de cachorro, assim, há um conjunto de elementos que dão ao usuário um *feedback* indireto, que indica claramente que “o tempo está passando” e o sistema está em execução. O esquema de *headtracker* que modifica a posição da câmera virtual dinamicamente, também fornece um *feedback* ao usuário, pois responde instantaneamente aos movimentos do corpo do usuário indicando que o status do sistema é “ativo”.

A interface proposta busca criar uma situação visualmente próxima da real onde o usuário pode obter diferentes pontos de vista para avaliar a cena, selecionar qualquer equipamento disponível e manipulá-lo livremente. O usuário pode, por exemplo, instalar um isolador na cruzeta a qualquer tempo, bem como retirá-lo. Com isso o sistema provê liberdade de ação ao usuário o que promove o engajamento e a imersão.

Pretende-se que os modelos de visualização e interação desenvolvidos integrem uma interface fácil de aprender e de utilizar, bem como, minimize a carga cognitiva exigida ao

usuário para que ele possa concentrar-se na tarefa e ter o máximo de aproveitamento em termos de aprendizagem.

Capítulo 6

Testes com Usuários e Análise de Resultados

Com o objetivo de levantar informações para avaliação e validação do sistema desenvolvido bem como da interface proposta, testes junto a usuários foram conduzidos. O experimento baseou-se em seções utilizando o ambiente virtual onde uma tarefa padrão deveria ser completada duas vezes. Os tempos necessários para completar a tarefa pela primeira vez (tempo T1) e pela segunda vez (tempo T2) foram medidos. Os testes também incluíram entrevistas e aplicação de questionários pré e pós-teste.

O protocolo das seções de testes compreendeu cinco passos, ilustrados na Figura 6.1.

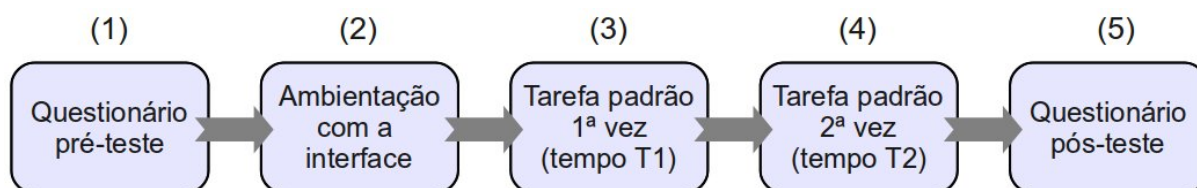


Figura 6.1: Fluxograma do protocolo da seção de testes.

O primeiro passo consistiu do preenchimento do questionário pré-teste e visou levantar informações sobre o perfil do usuário, tais como faixa etária e experiência com tecnologias relacionadas a G&RV. Essas informações são importantes para que se possa entender melhor como usuários com diferentes tipos de conhecimento utilizam a interface desen-

volvida. Deseja-se realizar uma comparação do desempenho, satisfação e aprendizado do uso do sistema com usuários experientes e usuários não experientes nessas tecnologias.

O questionário Pré-Teste continha as seguintes questões:

1. Em que faixa etária você se enquadra?
 - (a) 10 a 20 anos
 - (b) 20 a 30 anos
 - (c) 30 a 40 anos
 - (d) 40 a 50 anos
 - (e) 50 a 60 anos

2. Em relação à utilização de computadores, em qual item você se enquadra?
 - (a) Sei escrever programas
 - (b) Considero-me um usuário avançado
 - (c) Considero-me um usuário intermediário
 - (d) Considero-me um usuário principiante
 - (e) Não entendo muito de computadores

3. Em relação a jogos de computador, ou videogame, em qual item você se enquadra?
 - (a) Praticamente nunca joguei
 - (b) Jogava no passado mas não jogo mais
 - (c) Jogo eventualmente
 - (d) Jogo com frequência
 - (e) Jogo muito! Sempre que tenho um tempo livre

4. Em relação aos modernos videogames, quais você já usou?
 - (a) XBox 360
 - (b) Play Station
 - (c) Nintendo Wii
 - (d) Jogos de PC

- (e) Outros
5. Em relação aos novos tipos de controle para videogames, quais você já usou?
- (a) Joystick sem fio
 - (b) Volante e pedais para simular um automóvel
 - (c) Wiimote
 - (d) Kinect
 - (e) Outros acessórios do Nintendo Wii
6. Se você joga, em qual item você se enquadra?
- (a) Só gosto de jogar com *joystick*
 - (b) Posso jogar com teclado e mouse, mas prefiro joystick
 - (c) Consigo jogar da mesma maneira com teclado e mouse ou com joystick
 - (d) Consigo jogar com qualquer controle
 - (e) Acho mais fácil usar os controles tipo Wiimote ou Kinect
7. O que você sabe sobre Realidade Virtual?
- (a) Nem sei o que é
 - (b) Sei o que é, mas nunca experimentei
 - (c) Sei o que é, já experimentei
 - (d) Conheço bem, mas nunca cheguei a trabalhar com Realidade Virtual
 - (e) Já trabalhei com Realidade Virtual
8. Em relação a jogos ou cinema 3D, em qual item você se enquadra?
- (a) Nunca vi nem joguei e não tenho interesse
 - (b) Nunca vi nem joguei, mas tenho curiosidade
 - (c) Já experimentei, mas não gostei
 - (d) Já experimentei e gostei
 - (e) Acho muito interessante
9. Você acha que um videogame pode ensinar alguém a operar uma máquina?

- (a) Sim, com certeza
- (b) Acho que sim
- (c) Acho que não
- (d) Definitivamente não
- (e) Não tenho opinião

Os questionários foram criados com base em publicações científicas (WITMER; SINGER, 1998; VORA et al., 2002; BOWMAN; GABBARD; HIX, 2002; PRATES; BARBOSA, 2003; MACHADO; ZUFFO, 2003; STANNEY et al., 2003; SUTCLIFFE; GAULT, 2004; REBELO; BARCIA, 2004; TROMBETTA; BACIM; PINHO, 2007; SOUSA-SANTOS et al., 2009; ZHANG; GU, 2009; MAURTUA, 2009; VIDANI; CHITTARO; CARCHIETTI, 2010; RIEDER; PINHO, 2011) e adaptados para o caso específico do sistema desenvolvido durante este trabalho.

Buscou-se obter informações que indicassem respostas para questões como: O sistema é fácil de usar? O sistema é fácil de aprender? O sistema desperta o interesse dos usuários? O sistema pode auxiliar no treinamento e melhorar o resultado? A interface demanda baixa carga cognitiva externa ao conteúdo? Usuários pouco familiarizados com G&RV conseguem obter desempenho semelhante àqueles que costumam jogar *videogame*? Pessoas de diferentes idades, experiências e preferências poderiam se adaptar bem à interface proposta?

Este trabalho não teve o objetivo de realizar ensaios exaustivos, mas sim obter informações úteis para a continuidade do desenvolvimento do sistema proposto. Assim a os resultados obtidos são preliminares e não conclusivos, mesmo assim podem fornecer dados importantes sobre o potencial da aplicação e impressões dos usuários a respeito do esquema de interação proposto. Tal avaliação junto os usuários utilizando o sistema ainda em fase de protótipo é importante por permitir detectar falhas ainda durante a fase de desenvolvimento.

Os testes foram aplicados a doze usuários e os resultados das informações levantadas no

questionário pré-teste são sintetizados na Tabela 6.1. Observa-se que, embora voluntários tenham sido recrutados aleatoriamente, as respostas obtidas, especialmente nas questões 4 e 5, mostram que a maioria dos voluntários possuía alguma experiência com videogames.

	Questão 1					Questão 2					Questão 3					Questão 4					Questão 5					Questão 6					Questão 7					Questão 8					Questão 9														
Usuário	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e										
1			X			X								X		X	X				X	X				X					X					X					X					X									
2			X			X					X					X	X				X	X				X	X				X					X					X					X									
3			X			X					X			X		X	X	X	X	X	X	X				X	X				X					X					X					X									
4			X			X					X					X					X					X					X					X					X					X									
5			X			X					X					X					X					X					X					X					X					X									
6			X			X					X			X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X			X					X					X					X					X				
7			X			X					X	X				X	X				X	X	X			X	X	X			X					X					X					X									
8			X			X					X					X					X					X					X					X					X					X									
9			X			X					X					X					X					X					X					X					X					X									
10			X			X					X					X	X	X			X	X				X	X				X					X					X					X									
11			X			X					X			X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X				X					X					X					X									
12			X			X					X					X	X				X	X				X	X				X					X					X					X									

Tabela 6.1: Compilação dos resultados do questionário pré-teste.

Com o intuito de comparar o desempenho de usuários que são habituados a utilizar dispositivos de G&RV com o desempenho de usuários que não são familiarizados com essas tecnologias, realizou-se uma classificação por nível de experiência de cada usuário. Para isso foi desenvolvido um “índice de familiaridade” (IF), obtido a partir das informações coletadas por meio do questionário pré-teste.

O IF foi calculado usando uma média ponderada onde foram atribuídos pesos (de 1 a 5) para cada questão. Em questões que permitiam assinalar uma única alternativa, um peso diferente foi atribuído a cada alternativa. Peso 1 correspondendo à opção que indica menor experiência e peso 5 para opção que indica maior experiência. Para as questões que permitiam assinalar mais de uma alternativa, foi atribuído peso unitário para cada alternativa e o peso da questão foi obtido pela somatória. Então, as médias ponderadas dos usuários foram normalizadas para valores entre 0 e 1, sendo valores próximos de 1 indicando maior familiaridade com dispositivos utilizados em G&RV.

A Tabela 6.2 mostra os pesos atribuídos a cada uma das alternativas. As questões 4 e 5 permitiam assinalar mais de uma alternativa. Portanto, o peso da questão foi obtido pela somatória dos pesos individuais de cada alternativa. As questões 1, 2, 6, 7 e 8 permitiam assinalar apenas uma alternativa. Portanto, o peso da questão foi assumido igual ao peso da alternativa assinalada. Assim, todas as questões tinham peso entre 1 e 5, sendo um

	a	b	c	d	e	IF
Questão 1	5	4	3	2	1	valor
Questão 2	5	4	3	2	1	valor
Questão 3	1	2	3	4	5	valor
Questão 4	1	1	1	1	1	soma
Questão 5	1	1	1	1	1	soma
Questão 6	1	2	3	4	5	valor
Questão 7	1	2	3	4	5	valor
Questão 8	1	2	3	4	5	valor
Questão 9	1	2	3	4	5	valor

Tabela 6.2: Peso atribuído às alternativas do questionário pré-teste para obtenção do Índice de Familiaridade (IF) com tecnologias baseadas em G&RV.

valor maior indicando maior experiência em G&RV. A questão número 9 não foi utilizada no cálculo do IF por expressar uma opinião pessoal.

Após essa classificação, os usuários foram separados em dois grupos distintos onde o primeiro grupo (G1) foi formado pelos usuários cujo IF está abaixo do IF médio, que foi de 0,726, e o segundo grupo (G2) foi formado pelos usuários com IF maior do que a média. Assim, como resultado dessa classificação obtiveram-se seis usuários para o grupo G1, correspondendo aos usuários não experientes em G&RV, e seis usuários para o grupo G2, correspondendo aos usuários experientes ou familiarizados com essa tecnologia. Esse processo é ilustrado na Tabela 6.3.

A primeira avaliação realizada foi sobre o tempo T1 necessário para completar, pela primeira vez, a tarefa solicitada, e, então, mediu-se o tempo T2 necessário para realizar a tarefa pela segunda vez. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.4.

A média dos tempos T1 dos usuários do grupo G1 foi de 80 segundos enquanto para o grupo G2 foi de 45 segundos. Como era esperado, o grupo G1, composto de usuários não experientes em G&RV, precisou de mais tempo do que os indivíduos do grupo G2, de usuários experientes. Na segunda tomada de tempo (tempos T2), em que foi solicitado aos usuários que repetissem a tarefa realizada no primeiro momento. A média dos tempos obtidos para os usuários não experientes G1 foi de 39 segundos, enquanto a média dos tempos utilizados pelos usuários experientes G2 foi de 42 segundos. Surpreendentemente

Grupo	Usuário	IF1	IF2	IF3	IF4	IF5	IF6	IF7	IF8	Soma	IF
G1	9	2	5	1	0	0	0	2	5	15	0,000
G1	4	2	3	3	1	1	2	3	5	20	0,357
G1	1	3	5	3	2	2	3	2	2	22	0,500
G1	5	3	5	4	1	1	4	4	2	24	0,643
G1	2	3	5	2	2	2	3	4	4	25	0,714
G1	8	3	5	5	2	1	3	2	4	25	0,714
G2	10	2	5	3	3	2	5	2	5	27	0,857
G2	12	3	5	3	2	3	5	3	4	28	0,929
G2	3	3	5	4	5	1	2	4	5	29	1,000
G2	6	2	3	3	5	3	5	3	5	29	1,000
G2	7	3	5	5	3	3	4	2	4	29	1,000
G2	11	3	5	4	5	3	3	2	4	29	1,000

Tabela 6.3: Índices de familiaridade com G&RV por usuário e classificação nos grupos G1 (usuários não experientes) e G2 (usuários experientes).

Número do usuário	Tempo T1 em segundos	Tempo T2 em segundos
1	86	26
2	120	30
3	28	34
4	140	50
5	39	55
6	49	65
7	48	33
8	32	25
9	61	50
10	70	24
11	43	59
12	34	36

Tabela 6.4: Medidas do tempo utilizado pelos usuários para completar a tarefa pela primeira vez (T1) e pela segunda vez (T2).

os usuários não experientes obtiveram melhor desempenho, como ilustrado na Figura 6.2).

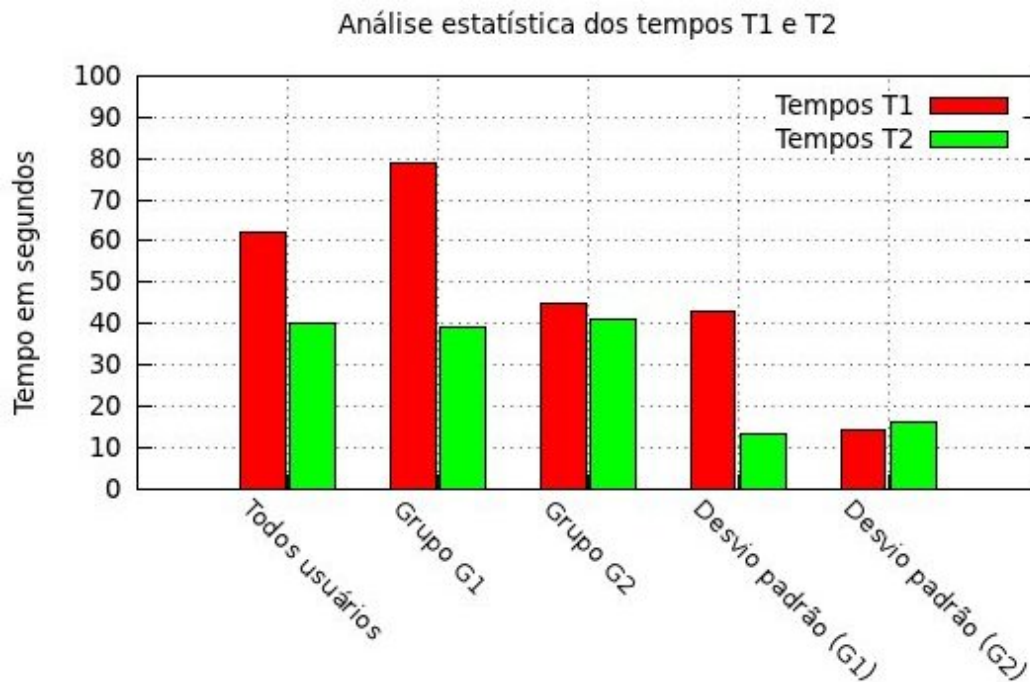


Figura 6.2: Análise estatística dos tempos T1 e T2 obtidos nas seções de testes com usuários.

O resultado dessa avaliação sugere que a interface e o mecanismo de interação do sistema proposto provêm facilidade de aprendizado, permitindo que usuários não experientes possam obter desempenho semelhante ao de usuários experientes. Isso representa um resultado satisfatório para este trabalho.

Analisando mais detalhadamente os dados, nota-se que, embora os tempos médios tenham diminuído na segunda vez em que se realizou a tarefa, apenas sete dos doze (58,3%) usuários reduziram seu tempo. Desses sete usuários, cinco eram do grupo G1 (não-experientes) e apenas dois eram do grupo G2 (experientes). Além disso, o desvio padrão dos tempos T1 para o grupo G1 foi 44 e para o grupo G2 foi 15, o que mostra que os tempos do grupo de usuários não experientes apresentam maior dispersão, ou seja, os valores formam um conjunto heterogêneo e pouco regular em comparação aos tempos do grupo de usuários experientes. O desvio padrão dos tempos T2 para o grupo G1 foi 14 e para o grupo G2 foi 16, o que revela que na segunda vez que os usuários realizaram a tarefa, além dos usuários não experientes terem uma redução maior no tempo necessário

eles ainda obtiveram tempos mais regulares (Figura 6.2).

Assim, é possível concluir que usuários experientes conseguem utilizar o sistema com desempenho satisfatório desde a primeira vez que o usam e os usuários inexperientes conseguem rapidamente, com cerca de 5 minutos de uso¹, aprender e obter desempenho semelhante ao de usuários experientes.

No questionário pós-teste, foi solicitado ao usuário que marcasse em uma escala o grau de concordância em relação a cada questão apresentada. A escala é um desenho de um segmento de reta em que um extremo corresponde à concordância absoluta da afirmação feita, e o outro extremo corresponde à negação. A escala é mostrada na Figura 6.3.

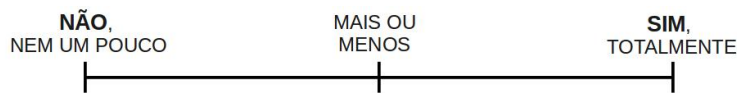


Figura 6.3: Escala para assinalar o grau de concordância sobre as afirmações apresentadas.

As questões a serem avaliadas são as seguintes:

1. Mover-me e olhar para onde eu queria no ambiente virtual foi simples
2. Eu rapidamente aprendi como me mover no ambiente virtual
3. Eu sempre pude me concentrar mais na tarefa do que nos comandos necessários para realizar a tarefa
4. Eu pude observar e identificar perfeitamente os objetos no ambiente
5. Esse tipo de aplicação pode aumentar o meu conhecimento
6. Esse tipo de aplicação poderia se integrar bem à forma como o treinamento é tradicionalmente realizado
7. Eu me senti envolvido na experiência
8. Eu gostei dos gráficos da aplicação
9. Eu gostaria de utilizar com mais frequência esse tipo de aplicação

¹O tempo médio de ambientação com a interface. Corresponde ao item 2 do protocolo das seções de testes (Figura 6.1)

	Questões															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	60	85	85	76	90	100	100	79	100	85	80	100	75	75	83	90
2	92	93	78	100	96	80	98	99	97	98	92	84	96	93	88	88
3	93	100	98	62	93	90	100	100	100	85	93	90	73	90	58	95
4	65	96	95	100	90	90	86	100	98	83	76	98	100	50	95	95
5	85	100	50	92	80	72	88	78	85	95	100	100	50	80	72	100
6	55	65	85	100	93	80	100	100	75	91	80	100	95	100	85	85
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	100	100	100
8	83	82	50	78	77	100	82	85	82	100	86	85	86	88	88	86
9	80	60	50	85	100	100	100	88	90	70	85	100	100	88	99	99
10	87	100	86	100	98	83	98	100	100	100	100	100	90	98	85	100
11	90	88	82	80	90	87	93	99	99	85	95	96	78	90	72	96
12	50	98	55	95	60	55	97	97	75	90	92	95	90	72	50	93

Tabela 6.5: Resultado do questionário pós-teste. Cada coluna corresponde a uma questão e cada linha corresponde a um usuário.

10. Eu me adaptei rapidamente aos dispositivos
11. Eu me senti confortável com a simulação
12. Eu me senti envolvido com a simulação
13. A representação visual parece bastante com a realidade
14. Eu me senti tranquilo e à vontade ao utilizar o sistema
15. A forma de navegação é fácil
16. Acho que ainda vou lembrar-me de como usar o sistema, mesmo daqui a uma semana

Utilizando-se uma escalímetro, mediram-se as marcas feitas pelos usuários na escala mostrada na Figura 6.3, atribuindo-se uma porcentagem de concordância para cada afirmação do questionário pós-teste. Considerou-se, então, 0 % de concordância para marcas no extremo esquerdo da escala da Figura 6.3, aumentando linearmente até 100 % de concordância no extremo direito. Os resultados são mostrados na Tabela 6.5.

A análise das informações obtidas por meio do questionário pós-teste foi realizada obtendo-se a média aritmética das porcentagens, primeiramente para todos os usuários, e então para os usuários não-experientes (G1) e para os usuários experientes (G2). Os resultados das médias das porcentagens de concordância são mostrados na Figura 6.4.

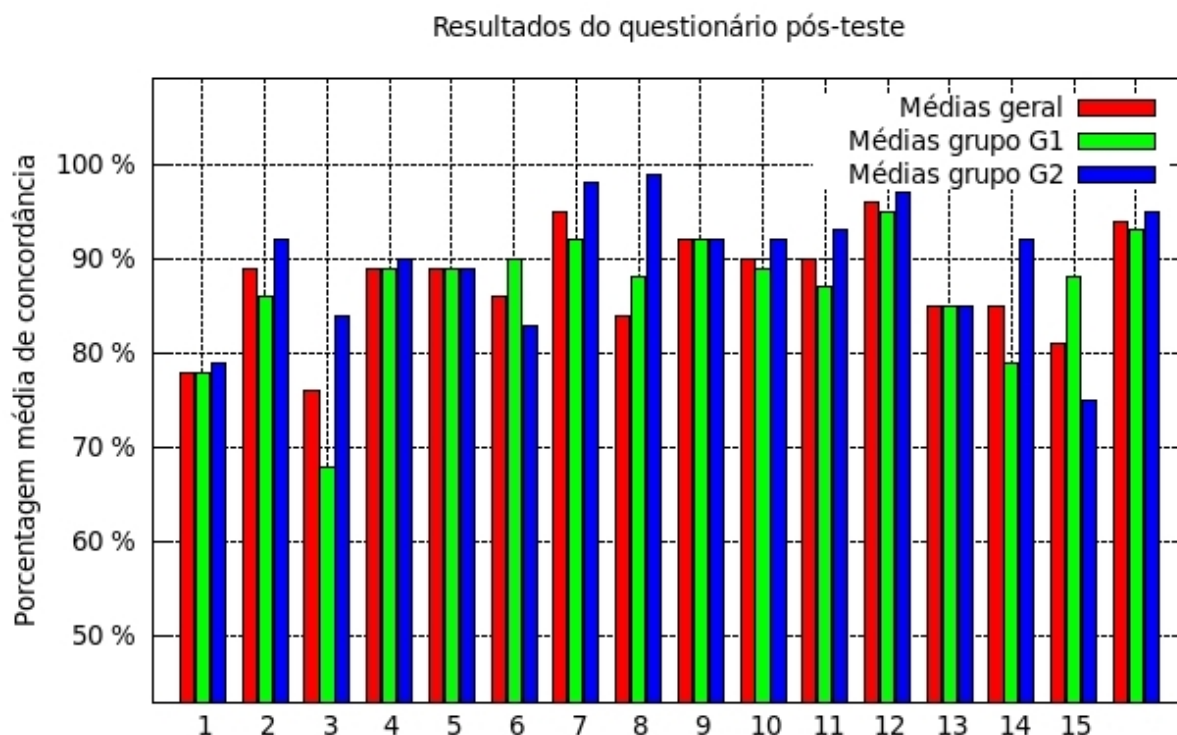


Figura 6.4: Compilação dos resultados obtidos no questionário pós-teste.

Observando as respostas obtidas, nota-se que para a maioria das questões (11 entre 16), os usuários experientes (G2) revelaram um grau de concordância maior em comparação aos usuários não experientes (G1). Esse resultado já era esperado, uma vez que, usuários habituados com videogames e computadores tendem a ter maior facilidade para utilizar sistemas baseados em G&RV.

As afirmações de número 5, 9 e 13 tiveram o mesmo grau de concordância para os grupos G1 e G2, a saber, entre 85% e 92%. Esse resultado mostra que as opiniões de usuários experientes e não experientes são semelhantes em relação ao potencial de aplicação do sistema para ensino, à qualidade gráfica, ao realismo da aplicação e, sobretudo, ao interesse em utilizar novamente aplicativos baseados em G&RV.

As afirmativas de número 6 e 15 tiveram um grau de concordância maior em usuários não experientes (grupo G2). Isso sugere que os usuários experientes têm menor convicção de que o ambiente pode ser integrado ao treinamento tradicional. Os usuários experientes não acharam a forma de navegação tão fácil quanto os usuários não experientes acharam.

Além disso, a afirmação 15, que dizia que a forma de navegação é fácil, foi a que teve menor concordância dos usuários experientes dentre todas as afirmações.

Analisando as respostas do questionário pós-teste, nota-se que as opiniões dos usuários foram positivas. As porcentagens médias obtidas foram todas acima de 75% o que mostra a validade do sistema proposto.

Capítulo 7

Considerações Finais

Este capítulo apresenta na Seção 7.1 as conclusões do trabalho. Na Seção 7.2 são listadas as contribuições científicas trazidas por este estudo. Finalmente, na Seção 7.3 são apresentadas indicações para trabalhos futuros e perspectivas para continuidade da pesquisa realizada.

7.1 Conclusão

Sistemas baseados em *Games* e Realidade Virtual possuem um conjunto de características que os tornam soluções convenientes para aplicações como ensino e treinamento de atividades críticas. Apesar de haver muitos resultados e um consenso na comunidade científica dos diversos benefícios proporcionados pelo uso destas tecnologias, percebe-se investigando a literatura científica que frequentemente os sistemas desenvolvidos não evoluem além de protótipos de laboratórios.

Durante este trabalho foi possível, por meio de pesquisa e desenvolvimento, levantar algumas possíveis causas das limitações existentes em aplicativos baseados em G&RV. De forma geral, pode-se dizer que muitos dos problemas que impedem o uso mais amplo e abrangente desses sistemas em indústrias e universidades têm origem no caráter multi-

disciplinar que eles possuem. Isso quer dizer que aspectos relacionados à usabilidade, ao sistema cognitivo e comportamento humano, ao *design* instrucional e interface do sistema, dentre outros, podem ter grande relevância e tornarem-se aspectos chave para o sucesso de um aplicativo.

Nesse sentido, foi realizado, durante este trabalho, um estudo sobre ferramentas de desenvolvimento, dispositivos de interação e visualização e fundamentos sobre aspectos de interface humano-computador que sustentam teoricamente a plataforma proposta em termos de usabilidade e carga cognitiva. Além dessa fundamentação teórica, as escolhas de *hardware* e *software* também foram discutidas e justificadas considerando-se aspectos como custo, facilidade de acesso e manutenção, tendências de mercado, facilidade de uso, aprendizado e durabilidade do equipamento.

Adicionalmente à solução proposta em termos de *hardware*, um protótipo do *software* principal foi desenvolvido e testado junto a usuários. Diversos modelos geométricos foram criados e integrados ao protótipo o que permitiu a simulação completa de uma atividade de manutenção em linha viva recorrente, a saber, a troca de cruzeta. Diversas funcionalidades foram implementadas incluindo o comportamento físico dos objetos da cena, um modelo de navegação e visualização e um modelo de seleção e manipulação de objetos virtuais. Esses dois modelos complementam-se em um mecanismo de interação com o ambiente virtual eficiente e inovador inspirado em conceitos da computação ubíqua e interfaces tangíveis. Por fim, com o objetivo de avaliar o sistema desenvolvido, em nível de protótipo, uma proposta de avaliação preliminar foi apresentada e implementada por meio de testes com usuários.

Como resultados dos testes encontrou-se que o sistema se apresenta suficientemente simples de usar e de aprender, tendo em vista o propósito para o qual foi concebido. Os dados e informações levantados durante os testes indicam que usuários com diferentes níveis de experiência em tecnologias relacionadas a G&RV conseguem obter desempenho semelhantes.

7.2 Contribuições

A principal contribuição deste trabalho é a concepção e o desenvolvimento de uma plataforma voltada à demanda do setor elétrico, no que tange ao treinamento de atividades em linha viva. Até o presente momento não foram encontrados registros na literatura científica de um sistema com as características apresentadas aqui. Além da plataforma, modelos de interação e *feedback* foram criados para atender de maneira específica a requisitos desse tipo de treinamento, adequando-se ao perfil geral dos potenciais usuários. Espera-se que essa nova forma de treinamento permita que o electricista tenha algumas impressões sensoriais (exceto hápticas) semelhantes àsquelas experimentadas durante o procedimento real. Com isso, pretende-se contribuir com a preparação técnica e psicológica para que o electricista possa enfrentar a situação real com maior controle e segurança.

Este trabalho traz as seguintes contribuições:

1. Realiza um estudo e discussão sobre as possibilidades acerca das tecnologias disponíveis e viáveis em termos de custo-benefício, usabilidade e potencial operacional, para um sistema de treinamento de manutenção em linha viva. O estudo foca a utilização de recursos 3D e tecnologias de G&RV para prover uma simulação realisticamente convincente e imersiva.
2. Propõe uma plataforma inovadora, que faz uso de televisores 3D e controles do console de *games* Nintendo Wii para compor um ambiente imersivo de fácil e intuitiva utilização.
3. Propõe um modelo funcional que envolveu a definição esquemas de *feedback* e navegação, abordando questões relacionadas à interação, dispositivos periféricos e ao processo de treinamento em linha viva.
4. Descreve soluções para interação 3D, rastreamento do ponto de vista do usuário, geração aleatória de elementos do cenário, áudio 3D, dentre outros.
5. Propõe um esquema de avaliação da usabilidade do sistema proposto e levantamento da aceitação por parte do usuário. Apresenta testes preliminares com usuários e

análise dos resultados obtidos, os quais comprovam o potencial das soluções implementadas.

7.3 O futuro do ambiente desenvolvido

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema piloto para treinamento de atividades em linha viva baseado nas tecnologias de G&RV. Testes com usuários foram conduzidos e os resultados indicaram o potencial da solução proposta. No entanto, apenas a atividade de troca de cruzeta foi contemplada, portanto, outras atividades e funcionalidades devem ser integradas a fim de se obter um sistema completo e operacional.

A pesquisa realizada durante este trabalho demonstra que o uso de sistemas baseados em G&RV para aprendizagem e treinamento é uma tendência. Alguns benefícios que podem ser trazidos pelo uso dessas tecnologias foram citados. Entretanto, questões importantes permanecem em aberto, cujas respostas poderão conduzir à solução de uma questão maior: O que é preciso para que o sistema ofereça treinamento e aprendizagem efetivos?

Ao tentar vislumbrar possíveis respostas para esta pergunta, pelo menos duas sugestões de trabalhos futuros surgem. Em termos de modelo instrucional, pode-se pensar na atividade de troca de cruzeta como um processo transacional, como discutido na Seção 4.2. Neste sentido, podem ser estabelecidos rotas e marcos para que se possa investigar o processo de construção de mapas cognitivos para memorização do processo de manutenção em linha viva. Isso pode ser feito detalhando-se a atividade em etapas de tal forma que a conclusão de cada uma delas corresponde a um marco e as diferentes formas de chegar ao fim de cada uma delas correspondem a diferentes rotas. Essa abordagem pode encontrar elementos chave para o estabelecimento de um modelo instrucional eficaz.

Outro aspecto que pode ser explorado é a inteligência artificial de um possível sistema tutor a ser integrado ao *framework*. Mensagens com diferentes graus de detalhamento da

informação podem ser utilizadas para conduzir o usuário a realizar a atividade corretamente. Imaginando-se um exemplo prático, no caso em que um usuário, em um determinado momento, seleciona uma peça errada, um sinal sonoro indicando um erro pode ser enviado. A mensagem não indica qual é a peça correta, apenas indica que um erro foi cometido. Se o usuário selecionar uma peça errada novamente, um sinal visual poderia indicar qual é a peça correta. Assim, baseado na quantidade de informações necessárias e na avaliação dos erros do usuário, o sistema pode informar se o usuário está apto ou não a realizar a tarefa na prática.

Além desses dois, outros aspectos podem ser explorados e seus impactos no aprendizado dos usuários devem ser investigados e avaliados. Acredita-se que o sistema desenvolvido consiste apenas de um ponto de partida para um sistema maior e completo, o qual poderá futuramente ser uma ferramenta indispensável para o treinamento dos profissionais que realizam manutenção em linha viva. O desenvolvimento de um sistema completo e efetivamente operacional requer um amadurecimento que, por sua vez, envolve anos de desenvolvimento e experimentação junto aos usuários. Espera-se que este trabalho possa servir de guia e inspiração para outros trabalhos que deem sequência ao sistema desenvolvido.

Referências

ABULRUB, A.; ATTRIDGE, A.; WILLIAMS, M. Virtual reality in engineering education: The future of creative learning. In: *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 751 –757.

ANGELOV, A.; STYCZYNSKI, Z. Computer-aided 3d virtual training in power system education. In: *Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–4. ISSN 1932-5517.

ARENDARSKI, B.; TERMATH, W.; MECKING, P. Maintenance of complex machines in electric power systems using virtual reality techniques. In: *Electrical Insulation, 2008. ISEI 2008. Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 483–487. ISSN 1089-084X.

ARROYO, E.; ARCOS, J. Srv: a virtual reality application to electrical substations operation training. In: *Multimedia Computing and Systems, 1999. IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 1, p. 835–839 vol.1.

ARTHUR, K. W.; BOOTH, K. S.; WARE, C. Evaluating 3d task performance for fish tank virtual worlds. *ACM Trans. Inf. Syst.*, ACM, New York, NY, USA, v. 11, p. 239–265, July 1993. ISSN 1046-8188.

BARNES, T.; ENCARNACÃO, L. M.; SHAW, C. D. Serious games. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, v. 29, n. 2, p. 18–19, March-April 2009. ISSN 0272-1716.

BELARDINELLI, C. et al. Making the virtual more real: research at the fraunhofer iff virtual development and training centre. *Cognitive Processing*, v. 9, n. 3, p. 217–224, 2008.

BERNATCHEZ, M. *Resolution analysis for HMD helmets*. Acessado em: 14 de Junho de 2011. Disponível em: <http://vresources.org/HMD_rezanalysis.html>.

BEZERRA, A.; DELAMARO, M.; NUNES, F. Definition of test criteria based on the scene graph for vr applications. In: *Virtual Reality (SVR), 2011 XIII Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 56 –65.

BILLINGS, D. Teaching learners from varied generations. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, v. 35, n. 3, p. 104 – 105, 2004.

BLOOM, B. S. The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Leadership*, v. 41, n. 8, p. 4 – 17, 1984.

BLYTHE, S. Designing online courses: user-centered practices. *Computers and Composition*, v. 18, n. 4, p. 329 – 346, 2001. ISSN 8755-4615.

BOWMAN, D. A. et al. Empirical comparison of human behavior and performance with different display devices for virtual environments. In: *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. [S.l.: s.n.], 2002. p. 2134–2138.

BOWMAN, D. A.; GABBARD, J. L.; HIX, D. A survey of usability evaluation in virtual environments: classification and comparison of methods. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 11, p. 404–424, August 2002. ISSN 1054-7460. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=638095.638102>>.

BOWMAN, D. A. et al. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Redwood City, CA, USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2004. ISBN 0201758679.

BROUGH, J. E. et al. Towards the development of a virtual environment-based training system for mechanical assembly operations. *Virtual Real.*, Springer-Verlag, London, UK, v. 11, n. 4, p. 189–206, 2007. ISSN 1359-4338.

- BROWN. *User Performance in VR Environments Research Project Webpage - Brown University*. Acessado em: 15 de Fevereiro de 2011. Disponível em: <http://www.cs.brown.edu/research/projects/user_performance_in_vr_environments.html>.
- BURDEA, G. C.; COIFFET, P. *Virtual Reality Technology*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003. ISBN 0471360899.
- BURIOL, T. M. et al. Proposta de plataforma baseada em realidade virtual para treinamento de atividades em linha viva. In: *XXX CILAMCE - Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–13.
- CHAE, C.; KO, K. Introduction of physics simulation in augmented reality. In: *Ubiquitous Virtual Reality, 2008. ISUVR 2008. International Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 37–40.
- CHAKRABORTY, S.; ROY, D.; BASU, A. Advanced knowledge based systems: Model, applications & research. In: _____. [S.l.]: TMRF e-Book, 2010. v. 1, cap. Development of Knowledge Based Intelligent Tutoring System, p. 74–100.
- CHALMERS, A.; DEBATTISTA, K. Level of realism for serious games. In: *Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2009. VS-GAMES '09. Conference in*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 225–232.
- CHAN, L.-H.; CHOI, K.-S. Integrating physx and openhaptics: Efficient force feedback generation using physics engine and haptic devices. In: *Pervasive Computing (JCPC), 2009 Joint Conferences on*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 853 –858.
- CHANG, M. et al. (Ed.). *Edutainment Technologies. Educational Games and Virtual Reality/Augmented Reality Applications - 6th International Conference on E-learning and Games, Edutainment 2011, Taipei, Taiwan, September 2011. Proceedings*, v. 6872 de *Lecture Notes in Computer Science*, (Lecture Notes in Computer Science, v. 6872). [S.l.]: Springer, 2011. ISBN 978-3-642-23455-2.

- CHANG, V. et al. Evaluation of collaborative learning settings in 3d virtual worlds. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, Public Knowledge Project, v. 4, n. 3, p. 6–17, 2009. ISSN 1863-0383.
- CHEN, C. J.; TOH, S. C.; ISMAIL, W. M. F. W. Are learning styles relevant to virtual reality? *Journal of Research on Technology in Education*, International Society for Technology in Education (ISTE), v. 38, n. 2, p. 123–141, 2005. ISSN 1539-1523.
- CHIN, N. et al. *The OpenGL Graphics System Utility Library Version 1.3*. [S.l.], 1998.
- COLAVITTI, F. *A explosão da realidade virtual*. Acessado em: 25 Outubro de 2011. Revista Galileu - Tecnologia. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Galileu-/0,6993,ECT803835-1938-1,00.html>>.
- COMPANY, I. T. *Site Oficial da Immersive Technologies*. Acessado em: 17 de Janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.immersivetechologies.com>>.
- COOLE. *Coole Immersive Inc. - Training People Better*. Acessado em: 03 de Julho de 2010. Disponível em: <<http://cooleimmersive.com/>>.
- COPEL, C. P. de E. *Manual do Curso: linha viva de distribuição método ao contato, tensão 13,8 KV*. [S.l.], 2008.
- CORBETT, A. Cognitive computer tutors: Solving the two-sigma problem. In: BAUER, M.; GMYTRASIEWICZ, P.; VASSILEVA, J. (Ed.). *User Modeling 2001*. [S.l.]: Springer Berlin / Heidelberg, 2001, (Lecture Notes in Computer Science, v. 2109). p. 137–147. 10.1007/3-540-44566-8_14.
- CORSEUIL, E. T. L. et al. Buscando o uso operacional de realidade virtual em grandes modelos de engenharia. In: *VI Symposium on Virtual Reality - SVR 2003*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 187–198.
- CRUZ-NEIRA, C.; SANDIN, D. J.; DEFANTI, T. A. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the cave. In: *Proceedings of the 20th*

annual conference on Computer graphics and interactive techniques. New York, NY, USA: ACM, 1993. (SIGGRAPH '93), p. 135–142. ISBN 0-89791-601-8.

CUNHA, G. G.; BARBOSA, A. S.; BARBOSA, P. F. V. *LabCog SDK - Manual do Usuário*. 1. ed. [S.l.], 2005.

CZERWINSKI, M. et al. Toward characterizing the productivity benefits of very large displays. In: *Proc. Interact.* [S.l.]: Press, 2003. p. 9–16.

DALY, L.; BRUTZMAN, D. X3d: Extensible 3d graphics standard [standards in a nutshell]. *Signal Processing Magazine, IEEE*, v. 24, n. 6, p. 130 –135, november 2007. ISSN 1053-5888.

DARWARS. *Darwars Training Systems*. Acessado em: 18 de Janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.darwars.net/systems/>>.

DEMIRALP Çagatay et al. Cave and fishtank virtual-reality displays: A qualitative and quantitative comparison. In: *IEEE TVCG*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 323–330.

DESURVIRE, H. W. Faster, cheaper!! are usability inspection methods as effective as empirical testing? In: _____. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1994. p. 173–202. ISBN 0-471-01877-5. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=189200.189217>>.

DISPLAYSEARCH. *3D Display Revenues Forecast to Reach \$22B by 2018; 3D-Ready TV Shipments to Reach 64M Units*. Acessado em: 01 de Julho de 2010. Disponível em: <http://www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/100104_3d_display_revenues_forecast_to_reach_22_billion_by_2018.asp>.

DONDLINGER, M. J. Educational video game design: A review of the literature. *Journal of Applied Educational Technology*, v. 4, n. 1, p. 21 – 31, 2007.

EMBRAER. *Site Oficial da Embraer*. Acessado em: 16 de Janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.embraer.com.br>>.

EMBRAER. *Site Oficial da Embraer - Tecnologia*. Acessado em: 25 de Outubro de 2011. Disponível em: <<http://www.embraeraviationservices.com/portugues/content/empresa-technology.asp>>.

ESTEVEES, B. *Imersão Total*. Acessado em: 25 de Outubro de 2011. Revista Superinteressante, Ed.152. Disponível em: <http://super.abril.com.br/superarquivo/2000/conteudo_118414.shtml>.

FALCAO, T. P.; GOMES, A. S. Design de interfaces tangíveis educacionais: uma metodologia baseada em contexto. In: *IHC '06: Proceedings of VII Brazilian symposium on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, 2006. p. 13–16. ISBN 1-59593-432-4.

FRANK, P. Using simulations to provide safety and operations training in the electric power industry. In: *Power Engineering Society 1999 Winter Meeting, IEEE*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 2, p. 986–988.

FRATI, V.; PRATTICCHIZZO, D. Using kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics. In: *World Haptics Conference (WHC), 2011 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 317 –321.

GAZIN, G. *Virtual Reality used to train next generation of workers, Reliable Plant Magazine*. Acessado em: 18 de Janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.reliableplant.com/Article.aspx>>.

GERBAUD, S. et al. Gvt: a platform to create virtual environments for procedural training. In: *Virtual Reality Conference, 2008. VR '08. IEEE*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 225–232.

GILLNER, S.; MALLOT, H. A. Navigation and acquisition of spatial knowledge in a virtual maze. *J. Cognitive Neuroscience*, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 10, p. 445–463, July 1998. ISSN 0898-929X.

GLOBO. *Volkswagen inaugura Centro de Realidade Virtual*. Acessado em: 25 de Outubro de 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL470996-9658,00-VOLKSWAGEN+INAUGURA+CENTRO+DE+REALIDADE+VIRTUAL.html>>.

GUANGWEI, Y.; ZHITAO, G. Scene graph organization and rendering in 3d substation simulation system. In: *Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–4.

HALL, P.; WOOD, P. Intelligent tutoring systems: A review for beginners. *Canadian Journal of Educational Communication*, v. 19, p. 107–123, Sum 1990. ISSN 0710-4340.

HANCOCK, D. Viewpoint: virtual reality in search of middle ground. *IEEE Spectrum*, v. 1, n. 32, 1995.

HANSON, K.; SHELTON, B. E. Design and development of virtual reality: Analysis of challenges faced by educators. *Educational Technology & Society*, v. 11, n. 1, p. 118–131, 2008. ISSN 1436-4522 (online) and 1176-3647 (print).

HART, S. G.; STAVENLAND, L. E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: HANCOCK, P. A.; MESHKATI, N. (Ed.). *Human Mental Workload*. [S.l.]: Elsevier, 1988. cap. 7, p. 139–183.

HOLLENDER, N. et al. Integrating cognitive load theory and concepts of human-computer interaction. *Computers in Human Behavior*, v. 26, n. 6, p. 1278 – 1288, 2010. ISSN 0747-5632. Online Interactivity: Role of Technology in Behavior Change. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563210001718>>.

HOUNSELL, M. da S.; SILVA, E. L. da; MIRANDA, J. J. de. Detalhando aspectos de educação e treinamento em ambientes virtuais 3d. In: *INTERTECH - International Conference on Engineering and Technology Education*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 641–645.

IJSSELSTEIJN, W. A. et al. Presence: Concept, determinants and measurement. In: *Proceedings of SPIE, Human Vision and Electronic Imaging V*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 3956–3975.

- ISHII, H. The tangible user interface and its evolution. *Commun. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 51, p. 32–36, June 2008. ISSN 0001-0782.
- ISHII, H.; ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (CHI '97), p. 234–241. ISBN 0-89791-802-9.
- JACOBSON, L. Virtual reality: A status report. *AI Expert*, v. 1, p. 23–33, 1991.
- JAYARAM, S. et al. Industry case studies in the use of immersive virtual assembly. *Virtual Reality*, v. 11, n. 4, p. 217 – 228, 2007.
- JIE, G.; JINGYA, A.; LU, C. Research and application for collision detection algorithm in virtools. In: *Business Computing and Global Informatization (BCGIN), 2011 International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 457 –460.
- JUANG, J. R.; HUNG, W. H.; KANG, S. C. Using game engines for physics-based simulations - a forklift. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 16, p. 3–22, 2011. ISSN 1874-4753.
- JUNIOR, N. C. et al. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. In: _____. [S.l.]: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. v. 1, n. 1, cap. Modelagem e Programação de Ambientes Virtuais Interativos, p. 98–108.
- KINCAID, J.; WESTERLUND, K. Simulation in education and training. In: *Winter Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 273 –280.
- KRUEGER, M. W. *Artificial reality II*. MA, USA: Addison-Wesley, 1991.
- KULIK, A. et al. Demo: The globefish: A novel input device for desktop-based 3d interaction. In: *3D User Interfaces, 2009. 3DUI 2009. IEEE Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 159.

LAVIOLA, J. Bringing vr and spatial 3d interaction to the masses through video games. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, v. 28, n. 5, p. 10 –15, sept.-oct. 2008. ISSN 0272-1716.

LEE, E. A.-L.; WONG, K. W. Transactions on edutainment i. In: _____. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. v. 2, cap. A Review of Using Virtual Reality for Learning, p. 231–241.

LEE, J. Hacking the nintendo wii remote. *Pervasive Computing, IEEE*, v. 7, n. 3, p. 39–45, July-Sept. 2008. ISSN 1536-1268.

LEWIS, C. H. *Using the "Thinking Aloud" Method In Cognitive Interface Design*. [S.l.], 1982.

LI, J. R.; KHOO, L. P.; TOR, S. B. Desktop virtual reality for maintenance training: an object oriented prototype system (v-realism). *Computers in Industry*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 52, p. 109–125, October 2003. ISSN 0166-3615.

MACHADO, L. dos S.; ZUFFO, M. K. *A Realidade Virtual no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica: um estudo de caso de transplante de medula óssea*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Sistemas Eletrônicos, março 2003.

MAKSAKOV, E.; BOOTH, K. S.; HAWKEY, K. Whale tank virtual reality. In: *Proceedings of Graphics Interface 2010*. Toronto, Ont., Canada, Canada: Canadian Information Processing Society, 2010. (GI '10), p. 185–192. ISBN 978-1-56881-712-5.

MARTZ, P. *OpenSceneGraph Quick Start Guide*. [S.l.]: PMARTZ Computer Graphics Systems, 2007. 136 p.

MAURTUA, I. Wearable technology in automotive industry: from training to real production. *Human-Computer Interaction Inaki Maurtua (Ed.), InTech*, v. 1, n. 1, 2009.

- MAURTUA, I.; UNCETA, M.; PÉREZ, M. Experimenting wearable solutions for workers' training in manufacturing. In: JACKO, J. (Ed.). *Human-Computer Interaction. HCI Applications and Services*. [S.l.]: Springer Berlin / Heidelberg, 2007, (Lecture Notes in Computer Science, v. 4553). p. 663–671.
- MAYER, R. E. *Multimedia Learning*. 2nd. ed. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2009. ISBN 0521514126.
- MAYER, R. E.; HEISER, J.; LONN, S. Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, v. 93, n. 1, p. 187 – 198, 2001. ISSN 0022-0663.
- MERRIËNBOER, J. J. G. van; SWELLER, J. Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, Springer Netherlands, v. 17, p. 147–177, 2005. ISSN 1040-726X. 10.1007/s10648-005-3951-0. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>>.
- MILGRAM, P.; COLQUHOUN, H. A taxonomy of real and virtual world display integration. In: *Mixed Reality - Merging Real and Virtual Worlds*. [S.l.]: Y. O. a. H. Tamura, Ohmsha(Tokyo) and Springer Verlag (Berlin), 1999. v. 1, p. 1–16.
- MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D, n. 12, dec 1994.
- MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: *SPIE - Telem manipulator and Telepresence Technologies*. [S.l.: s.n.], 1994. v. 2351, p. 282–292.
- MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, v. 63, p. 81–97, 1956.
- MINE, M. R. *ISAAC: A Virtual Environment Tool for the Interactive Construction of Virtual Worlds*. Chapel Hill, NC, USA, 1995.

- MONACO, M.; MARTIN, M. The millennial student: A new generation of learners. *Athletic Training Education Journal*, v. 2, n. 2, p. 42–46, Apr-Jun 2007.
- NASA. *Generation Y Perspectives*. Acessado em: 20 de Junho de 2008. Disponível em: <http://www.opennasa.com/files/>.
- NETTO, A. V.; GOUVEIA, J. D.; CATERIANO, P. S. H. Interface 3d para manipulação de dados em redes de distribuição de energia elétrica. *Journal of Computer Science, Infocomp*, v. 4, p. 73–81, 2005.
- NETTO, A. V.; MACHADO, L. D. S.; OLIVEIRA, M. C. F. D. *Realidade Virtual - Definições, Dispositivos e Aplicações*. Acessado em: 31 de Outubro de 2002. Disponível em: http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2002_reic.pdf.
- NI, T.; BOWMAN, D. A.; CHEN, J. Increased display size and resolution improve task performance in information-rich virtual environments. In: *Proceedings of Graphics Interface 2006*. Toronto, Ont., Canada, Canada: Canadian Information Processing Society, 2006. (GI '06), p. 139–146. ISBN 1-56881-308-2.
- NIELSEN, J. *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993. ISBN 0125184050.
- NORTON, C. et al. Enhancing the understanding and insights of students and industry operators in process engineering principles via immersive 3d environments. In: BRAUNSCHWEIG, B.; JOULIA, X. (Ed.). *18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering*. [S.l.]: Elsevier, 2008, (Computer Aided Chemical Engineering, v. 25). p. 1175 – 1180.
- NOURIAN, S.; SHEN, X.; GEORGANAS, N. D. Xpheve: An extensible physics engine for virtual environments. In: *Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06. Canadian Conference on*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 1546 –1549.
- NUNES, M. P.; GIRAFFA, L. M. M. *A Educação na Ecologia Digital*. Av. Ipiranga, 6681, 90619-900 – Porto Alegre – RS – Brasil, 2004.

O'BRIEN, J. F.; HODGINS, J. K. Graphical modeling and animation of brittle fracture. In: *Proceedings of ACM SIGGRAPH 1999*. [S.l.]: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999. p. 137–146.

OLIVEIRA, D. et al. Virtual reality system for industrial training. In: *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1715–1720.

OSG. *OpenSceneGraph Home Page*. Acessado em: 10 de Janeiro de 2010. Disponível em: <http://www.test.org/dae/>.

PARK, C.-H.; JANG, G.; CHAI, Y.-H. Development of a virtual reality training system for live-line workers. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Taylor and Francis, v. 20, p. 285–303, 2006.

PEQUENO, H. S. et al. Frameidtv: A framework for developing interactive applications on digital television environments. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 33, n. 4, p. 503 – 511, 2010. ISSN 1084-8045.

PERRY, G. T. et al. Necessidades específicas do design de jogos educacionais. In: *SBGames 2007 - Sociedade Brasileira de Computação*. [S.l.: s.n.], 2007.

PETROBRAS. *Site Oficial da Petrobras*. Acessado em: 22 de Janeiro de 2010. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br>.

PHEATT, C.; GOERING, S. Programming user interfaces using the nintendo wii remote: tutorial presentation. *J. Comput. Small Coll.*, Consortium for Computing Sciences in Colleges, USA, v. 25, p. 306–307, May 2010. ISSN 1937-4771. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1747137%-.1747195>.

PHYSX. *NVIDIA PhysX Home Page*. Acessado em: 10 de Janeiro de 2010. Disponível em: http://www.nvidia.com.br/object/physx_new_br.html.

PINHO, M. S. *Interação em Ambientes Tridimensionais*. 2nd. ed. Porto Alegre: Minicurso para 3º Workshop de Realidade Virtual, SBC, 2000. ISBN 0521514126.

POLYS, N. et al. Future standards for immersive vr: Report on the ieee virtual reality 2007 workshop. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, v. 28, n. 2, p. 94 –99, march-april 2008. ISSN 0272-1716.

POUPYREV, I.; ICHIKAWA, T. Manipulating objects in virtual worlds: Categorization and empirical evaluation of interaction techniques. *Journal of Visual Languages & Computing*, v. 10, n. 1, p. 19 – 35, 1999. ISSN 1045-926X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X98901124>>.

PRATES, R. O.; BARBOSA, S. D. J. Jornada de atualização em informática do congresso da sociedade brasileira de computação. In: _____. Campinas: SBC, 2003. v. 2, cap. Avaliação de Interfaces de Usuário - Conceitos e Métodos, p. 101–125.

PRENSKY, M. Digital natives, digital immigrants. *On the Horizon*, MCB University Press, v. 9, n. 5, p. 1–6, 2001.

QI, W. et al. A comparison of immersive hmd, fish tank vr and fish tank with haptics displays for volume visualization. In: *Proceedings of the 3rd symposium on Applied perception in graphics and visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2006. (APGV '06), p. 51–58. ISBN 1-59593-429-4.

REBELO, I. B.; BARCIA, R. M. *Proposta de uma Ferramenta de Verificação dos Procedimentos de Interação em Sistemas de Realidade Virtual*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Abril 2004.

REKIMOTO, J. A vision-based head tracker for fish tank virtual reality-vr without head gear. In: *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'95)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1995. (VRAIS '95), p. 94–. ISBN 0-8186-7084-3. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=527216.836019>>.

RIEDER, R.; PINHO, M. S. *Avaliação da qualidade de técnicas de interação em ambientes virtuais imersivos utilizando medidas fisiológicas*. Tese (Doutorado) —

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Porto Alegre, Abril 2011.

ROBERTSON, G.; CZERWINSKI, M.; DANTZICH, M. van. Immersion in desktop virtual reality. In: *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (UIST '97), p. 11–19. ISBN 0-89791-881-9.

ROBINSON, C.; SEBBA, J. Personalising learning through the use of technology. *Computers & Education*, v. 54, n. 3, p. 767 – 775, 2010. ISSN 0360-1315. Learning in Digital Worlds: Selected Contributions from the CAL 09 Conference.

ROCHA, H. V. da; BARANAUSKAS, M. C. C. *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. 1nd. ed. Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Computação, 2003.

RUSSO, E. E. R. et al. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. In: _____. [S.l.]: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. v. 1, n. 1, cap. A Realidade Virtual na Indústria de Exploração e Produção de Petróleo, p. 313–318.

RUTHER, M.; LENZ, M.; BISCHOF, H. Nect: On using a gaming rgbd camera in micro-metrology applications. In: *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 52 –59. ISSN 2160-7508.

SAHA, D.; MUKHERJEE, A. Pervasive computing: a paradigm for the 21st century. *Computer*, v. 36, n. 3, p. 25 – 31, mar. 2003. ISSN 0018-9162.

SANTOS, A. D. et al. Avaliação baseada em lógica fuzzy para um framework voltado à construção de simuladores baseados em rv. In: *Proceeding of XII Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Natal, RN, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 2010. p. 194–202.

SANTOS, E.; LAMOUNIER, E.; CARDOSO, A. Interaction in augmented reality environments using kinect. In: *Virtual Reality (SVR), 2011 XIII Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 112 –121.

SANTOS, L. M. A.; TAROUÇO, L. M. R. A importância do estudo da teoria da carga cognitiva em uma educação tecnológica. *Novas Tecnologias na Educação*, CINTED-UFRGS, v. 5, n. 1, 2007.

SCHULZE, J. P. et al. Characterizing the effect of level of immersion on a 3d marking task. In: *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 447–452.

SEDIG, K.; ROWHANI, S.; LIANG, H.-N. Designing interfaces that support formation of cognitive maps of transitional processes: an empirical study. *Interacting with Computers*, v. 17, n. 4, p. 419 – 452, 2005. ISSN 0953-5438.

SHAHABI, C. et al. Immersidata analysis: Four case studies. *Computer*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, v. 40, p. 45–52, July 2007. ISSN 0018-9162. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1435637.1436427>>.

SHEN, Y.; SUN, X. Research and improvement of collision detection based on oriented bounding box in physics engine. In: *Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 73 –76.

SHERMAN, W. R. et al. Open-source tools for immersive environmental visualization. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, v. 27, p. 88–91, March 2007. ISSN 0272-1716.

SIEGEL, A. W.; WHITE, S. H. The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments. In: REESE, H. W. (Ed.). *Advances in Child Development and Behaviour*. New York: Academic Press, 1975. p. 9–55.

SISCOUTTO, R. A. et al. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. In: _____. Porto Alegre: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. v. 1, n. 1, cap. Estereoscopia, p. 221–245.

SLEEMAN, D.; BROWN, J. S. Introduction: Intelligent tutoring systems. *Intelligent Tutoring Systems*, New York: Academic Press, v. 41, p. 1–11, January 1982. ISSN 1380-7501.

SORDI, J. O. D.; VALDAMBRINI, A. C. Aplicabilidade da realidade virtual no desenvolvimento de protótipos: análise de sua utilização na volkswagen do brasi. In: *XXVI ENEGEP*. Fortaleza, CE, Brasil: ABEPRO, 2006. (1), p. 1–9. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR490328_7317.pdf>.

SOUSA-SANTOS, B. et al. Usability evaluation in virtual environments through empirical studies involving users. In: *ACM-CHI 2009 Workshop Challenges in Evaluating Usability and User Experience in Reality Based Interaction*. Boston, USA: [s.n.], 2009. p. 56 –65.

STANNEY, K. M. et al. Usability engineering of virtual environments (ves): identifying multiple criteria that drive effective ve system design. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 58, n. 4, p. 447 – 481, 2003. ISSN 1071-5819. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581903000156>>.

STOWERS, J.; HAYES, M.; BAINBRIDGE-SMITH, A. Altitude control of a quadrotor helicopter using depth map from microsoft kinect sensor. In: *Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 358 –362.

STUART, R. *The Design of Virtual Environments*. 1nd. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 274 p, 1996.

SUTCLIFFE, A.; GAULT, B. Heuristic evaluation of virtual reality applications. *Interacting with Computers*, v. 16, n. 4, p. 831 – 849, 2004. ISSN 0953-5438. Human

Computer Interaction in Latin America. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953543804000475>>.

SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*. New York, NY, USA: ACM, 1968. (AFIPS '68 (Fall, part I)), p. 757–764.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning,. *Cognitive Science*, v. 1, p. 257–285, 1988.

SWELLER, J. *Cognitive Load Theory: A Special Issue of educational Psychologist*. [S.l.]: LEA, Inc, 2003.

TAM, E. et al. A low-cost pc-oriented virtual environment for operator training [for power stations]. In: *Power Industry Computer Applications., 1997. 20th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 1997. p. 358–364.

TAN, D. S. et al. Physically large displays improve performance on spatial tasks. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, ACM, New York, NY, USA, v. 13, p. 71–99, March 2006. ISSN 1073-0516.

TANG, Y.; SHETTY, S. Adaptive virtual reality game system for personalized problem-based learning. In: *Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2011 IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–6.

TAS, B.; ALTIPARMAK, N.; TOSUN, A. Low cost indoor location management system using infrared leds and wii remote controller. In: *Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), 2009 IEEE 28th International*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 280–288. ISSN 1097-2641.

TAXÉN, G.; NAEVE, A. A system for exploring open issues in vr-based education. *Computers and Graphics*, v. 26, n. 4, p. 593 – 598, 2002. ISSN 0097-8493.

TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. In: _____. [S.l.]: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. v. 1, n. 1, cap. Fundamentos de Realidade Virtual, p. 2–21.

TROMBETTA, A. B.; BACIM, F.; PINHO, M. S. Avaliação de técnicas de auxílio a wayfinding em ambientes virtuais. In: *IX Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Petrópolis: [s.n.], 2007. v. 1, n. 1, p. 143–151.

VASU, M. L.; OZTURK, A. O. Teaching methodology to distance education students using rich-media and computer simulation. *Soc. Sci. Comput. Rev.*, Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA, USA, v. 27, p. 271–283, May 2009. ISSN 0894-4393.

VERHAEGH, J.; FONTIJN, W.; JACOBS, A. On the benefits of tangible interfaces for educational games. In: . [S.l.: s.n.], 2008. p. 141 –145.

VIDANI, A.; CHITTARO, L.; CARCHIETTI, E. Assessing nurses' acceptance of a serious game for emergency medical services. In: *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010 Second International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 101 –108.

VINCE, J. *Introduction to Virtual Reality*. 1nd. ed. [S.l.]: Springer, 2004. ISBN 1852337397.

VORA, J. et al. Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training: presence and comparison studies. *Applied Ergonomics*, v. 33, n. 6, p. 559 – 570, 2002. ISSN 0003-6870.

WALSH, A. E. Understanding scene graphs. *Dr Dobb's Journal*, v. 27, p. 17–26, 2002.

WANG, X.; DUNSTON, P. S. A user-centered taxonomy for specifying mixed reality systems for aec industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 16, n. 29, p. 493–508, 2011.

WARE, C.; ARTHUR, K.; BOOTH, K. S. Fish tank virtual reality. In: *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, 1993. (CHI '93), p. 37–42. ISBN 0-89791-575-5.

WASFY, A.; WASFY, T.; NOOR, A. Intelligent virtual environment for process training. *Advances in Engineering Software*, v. 35, n. 6, p. 337 – 355, 2004. ISSN 0965-9978.

WEISER, M. The world is not a desktop. *interactions*, ACM, New York, NY, USA, v. 1, n. 1, p. 7–8, 1994. ISSN 1072-5520.

WINGRAVE, C. A. et al. The wiimote and beyond: Spatially convenient devices for 3d user interfaces. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, v. 30, n. 2, p. 71 –85, march-april 2010. ISSN 0272-1716.

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Teleoperators and Virtual Environments*, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 7, p. 225–240, June 1998. ISSN 1054-7460. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1246761%-.1246762>>.

WOOLFORD, D. *Understanding and Using Scene graphs*. Acessado em: 01 Novembro de 2011. Disponível em: <http://itee.uq.edu.au/~comp4201/scene_graphs_dsaw.pdf>.

WYK, E. van; VILLIERS, R. de. Virtual reality training applications for the mining industry. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*. New York, NY, USA: ACM, 2009. (AFRIGRAPH '09), p. 53–63. ISBN 978-1-60558-428-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1503454.1503465>>.

YUSOFF, A.; CROWDER, R.; GILBERT, L. Validation of serious games attributes using the technology acceptance model. In: *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010 Second International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 45 –51.

ZHANG, S.; GU, H. Construction of a computer game oriented to disaster education and reflections on its problems. In: *Proceedings of the 4th International Conference on E-Learning and Games: Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. (Edutainment '09), p. 110–119. ISBN 978-3-642-03363-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-03364-3_15>.

ZIGELBAUM, J. et al. Slurp: tangibility spatiality and an eyedropper. In: *CHI '08 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (CHI '08), p. 2565–2574. ISBN 978-1-60558-012-8.

ZYDA, M. From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, v. 38, n. 9, p. 25 – 32, sept. 2005. ISSN 0018-9162.