

Colaboração em Ambientes Heterogêneos de Realidade Virtual para Aplicações de Treinamento

Eduardo R. Silva

Tecgraf - Tecnologia em Computação Gráfica/PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea
Rio de Janeiro, RJ - Brasil - CEP: 38097
(+55 21) 3527-1001
eribeiro@tecgraf.puc-rio.br

Alberto B. Raposo

Departamento de Informática - Pontifícia Universidade
Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea
Rio de Janeiro, RJ - Brasil - CEP: 38097
(+55 21) 3527-1001
abraposo@inf.puc-rio.br

ABSTRACT

Over the years, many studies have explored the potential of virtual reality technologies to support collaborative work, especially for training and simulation applications. With the use of a virtual environment, one can create applications for simulation and training, capable of representing real scenes, also allowing greater flexibility for making structural changes in objects and dealing with other aspects of virtual scenery, to, for example, simulate emergency situations and accidents, difficult to be simulated in a real scenario. This work studies the use of collaboration in heterogeneous immersive environments to support training of users. A group of collaborative tools to support the common tasks performed in virtual environments are proposed and an application is built to test the collaborative training between a user immersed in a CAVE and a remote user is not immersed, using a desktop computer.

RESUMO

Nos últimos anos, muitos estudos têm explorado o potencial das tecnologias de realidade virtual para apoiar o trabalho colaborativo, especialmente para aplicações de treinamento e simulação. Por meio de um ambiente virtual é possível criar aplicações de simulação e treinamento capazes de representar cenas reais com maior flexibilidade para realizar mudanças estruturais nos objetos e para lidar com outros aspectos do cenário virtual, por exemplo, simular situações de emergência e acidentes, difíceis de serem simulados num cenário real. Este trabalho estuda o uso da colaboração em ambientes imersivos heterogêneos para dar suporte ao treinamento de usuários. É proposto um conjunto de ferramentas colaborativas para apoiar tarefas comumente executadas nos ambientes virtuais e construída uma aplicação para avaliar o treinamento colaborativo entre um usuário imerso numa CAVE e um usuário remoto não-imerso, usando um computador de desktop.

Categories and Subject Descriptors

H.5.3 [Information Interfaces and Presentation (e.g., HCI)]:
Group and Organization Interfaces – *computer-supported*

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. SBSC 2013 Brazilian Symposium on Collaborative Systems. October 8-11, 2013. Manaus, AM, Brazil. Copyright 2013 SBC. ISSN 2318-4132 (pendrive).

cooperative work, synchronous interactions.

General Terms

Design, Experimentation, Human Factors.

Keywords

Collaboration, Immersive Environments, CAVE, Virtual Reality, Human-Computer Interaction.

1. Introdução

Nos últimos anos a área de realidade virtual (VR - *Virtual Reality*) vem se tornando cada vez mais importante. O uso de ambientes virtuais tem sido explorado em diversas áreas, incluindo arquitetura, medicina, educação, militar, jogos e indústria. A principal vantagem na utilização de ambientes virtuais é a possibilidade de simular situações reais sem a necessidade de acesso ao recurso real, e o fato dos ambientes virtuais poderem ser utilizados em qualquer tempo. O ambiente virtual permite também a mudança de estruturas em objetos e aspectos da cena, permitindo a simulação de diferentes cenários, incluindo situações de emergência que seriam difíceis de realizar com equipamentos reais. As tecnologias de realidade virtual podem ampliar o entendimento do conteúdo em qualquer atividade de projeto de engenharia. Usada em conjunto com tecnologias para colaboração remota, a visualização em VR pode ser de fundamental importância para decisões mais rápidas e mais seguras em engenharia. Dodd [4] menciona que o próximo grande passo nesse sentido será o reforço dos times interdisciplinares de engenharia com ferramentas de colaboração que incluem visualização imersiva.

O conceito de Ambiente Virtual Colaborativo (CVE – *Collaborative Virtual Environment*) é a evolução dos ambientes virtuais para suportar múltiplos usuários participando de uma mesma interação. Santos et al. definem CVE como sendo o ponto de convergência da pesquisa das áreas de realidade virtual e sistemas colaborativos (CSCW - *Computer Supported Cooperative Work*) [17]. Essa área de pesquisa propõe o estudo dos modelos de colaboração que possam vir a ajudar os sistemas de realidade virtual a fornecer suporte a ferramentas de colaboração em ambientes virtuais, determinando as características de interação e os recursos que devem estar disponíveis pela aplicação.

Esses modelos são importantes para auxiliar a projetar sistemas que dão suporte ao trabalho em grupo a partir da compreensão do modo como as pessoas colaboram [9], permitindo classificar e organizar recursos pertencentes a esses ambientes. Um desses

modelos é o Modelo 3C de Colaboração, proposto originalmente por Ellis *et al.* [7].

O modelo analisa a colaboração em três dimensões: comunicação, cooperação e coordenação [15] [8]. Esse modelo define que em um ambiente de colaboração os indivíduos necessitam trocar informações (comunicação) e que se organizem (coordenação) para que possam trabalhar em conjunto em ambiente compartilhado (cooperação) para alcançar um determinado objetivo. A Figura 1 mostra o relacionamento entre as três dimensões do modelo 3C.

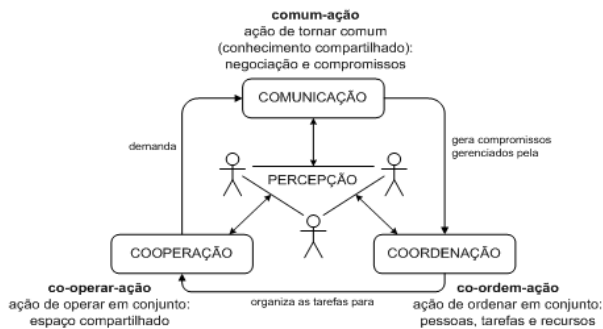


Figura 1. Relacionamento entre as três dimensões do modelo 3C [8].

A comunicação é o elemento básico para trabalhar em grupo. Ela permite que os indivíduos troquem informações, negociem e gerem compromissos para alcançar o objetivo da tarefa.

A coordenação é caracterizada pelo gerenciamento de pessoas, atividades e recursos. É importante coordenar os esforços dos indivíduos para impedir a duplicação de trabalho e garantir que partes produzidas individualmente se encaixem, uma vez que as ações feitas para atingir um objetivo em comum possuem uma relação de interdependência.

Já a cooperação é caracterizada pela atuação conjunta no espaço compartilhado para a produção de um objetivo. O espaço compartilhado pode ser físico, onde os participantes se encontram em um mesmo local, ou remoto, onde os participantes se encontram fisicamente remotos, sendo necessário estabelecer recursos para a interação.

Outro fator importante definido pelo Modelo 3C de Colaboração é a percepção: do espaço, da duração da tarefa, dos participantes de um grupo e de seu respectivo papel, do andamento da tarefa, que permitem ao participante obter *feedback* de suas ações e *feedthrough* das ações dos outros participantes. O objetivo da percepção é estabelecer ligação entre as contribuições individuais e as atividades do grupo, possibilitando que os participantes avaliem as ações dos outros indivíduos e ajustem seus comportamentos para o bom andamento do trabalho [5].

O objetivo deste trabalho é estudar a colaboração entre usuários remotos em um ambiente atípico e heterogêneo, visando proporcionar um modelo que atenda as necessidades para a realização da colaboração. O modelo 3C é usado para identificar as características fundamentais necessárias, em cada uma das três dimensões de colaboração, para que os usuários sejam capazes de cumprir as tarefas propostas em conjunto de maneira eficiente e com o mínimo de dificuldade.

O cenário a ser usado envolve um usuário utilizando a CAVE sendo auxiliado por um segundo usuário remoto em um *desktop*.

O usuário da CAVE, doravante chamado usuário imerso, interage com o sistema em pé dentro da área de interação da CAVE, tendo todo o seu campo de visão coberto pelas telas, usa o dispositivo *flystick* para realizar a interação e é desprovido de *mouse* e teclado para realizar a comunicação. O segundo usuário, aqui chamado de usuário remoto, se encontra em outro ambiente, utilizando uma aplicação rodando em um *desktop*, sem o mesmo nível de imersão do primeiro usuário e com acesso a *mouse* e teclado para interagir com o sistema e se comunicar.

2. Motivação

A CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) [3] [2] consiste em um dispositivo de saída visual que tem três ou mais telas de projeção, geralmente entre dois e quatro metros de largura e altura, que circundam o usuário. A principal vantagem da CAVE está na imersão causada pelo elevado estímulo visual proveniente das grandes superfícies de projeção. A Figura 2 mostra a CAVE utilizada, com quatro telas de projeção.



Figura 2. CAVE com quatro telas usada neste trabalho.

Atualmente diversas CAVEs estão sendo montadas em centros de pesquisas com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de produtos. Protótipos de peças podem ser criados e testados, interfaces podem ser desenvolvidas, e uma planta industrial, uma aeronave, ou um automóvel podem ser simulados antes de se investir recursos em partes físicas. Isto dá aos projetistas uma ideia melhor do que está sendo projetado e diminui a possibilidade de problemas em estágios mais avançados do projeto. Recentemente os ambientes virtuais começaram a ser usados em diversas áreas, como aplicações militares, indústria automobilística e treinamento de segurança [16]. O uso de ambientes imersivos é importante para a realização de treinamento para aquisição de habilidades e de conhecimento tácito, que podem ser transferidos para cenários reais enfrentadas pelos usuários [20].

O uso de sistemas visuais como a CAVE está principalmente ligado à imersão, definido por Marini [12] como o grau em que um sistema de realidade virtual estimula o sistema sensorial, sem interferências do ambiente externo, criando uma sensação de presença dentro do mundo virtual e de capacidade de interagir com os objetos presentes. As telas da CAVE proporcionam alta resolução espacial e um campo de visão grande, permitindo ao usuário utilizar sua visão periférica. Quando o usuário é rastreado e usa óculos estereoscópicos, o dispositivo também fornece pistas adicionais de movimento e profundidade, aumentando a imersão.

De acordo com Kahai [11] existe pouco estudo focando em como a colaboração em ambientes virtuais (VR) se compara com as colaborações efetuadas em outros tipos de aplicações. O uso da CAVE torna o processo de colaboração atípico e heterogêneo, fugindo do modelo de colaboração desktop/desktop. Nesse caso o usuário se encontra em um ambiente imersivo, desprovido de teclado e mouse, tendo uma ferramenta para a navegação (*Flystick* – Figura 3, *Nintendo Wiimote*, *Microsoft Kinect*) e apenas os meios de comunicação providos pela aplicação (e.g., voz) para se comunicar.

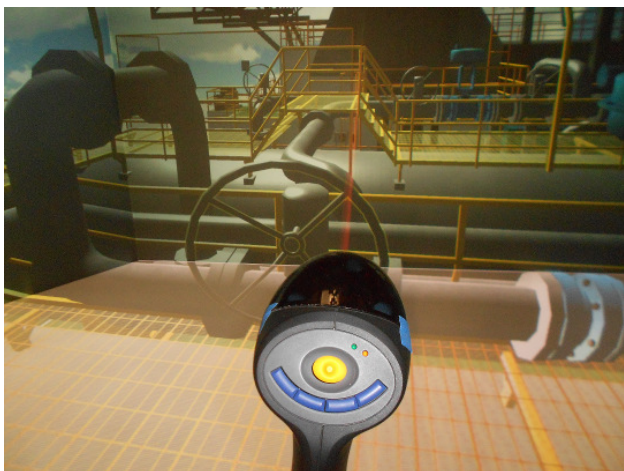


Figura 3. *Flystick*, ferramenta usada para interação com o sistema na CAVE.

3. Trabalhos Relacionados

Em seu trabalho sobre a ontologia da colaboração, Vivacqua e Garcia [19] analisam os métodos de comunicação para a colaboração, afirmando que o meio utilizado para a comunicação afeta diretamente a qualidade da mesma. A interação “face a face” é mais rica que a comunicação feita pelo computador, devido a nuances da comunicação não verbal, como o tom de voz, linguagem corporal, expressões de fisionomia, entre outros. A comunicação feita pelo computador não possui a mesma riqueza de detalhes: a comunicação por voz limita a comunicação apenas ao áudio, enquanto que o texto tem como limitação a ausência de inflexões da voz, que pode resultar em ambiguidade do conteúdo e má interpretação da mensagem.

Edwards [6] apresenta um sistema que permite aos usuários controlar a colaboração ao instaurar políticas que servem como diretrizes gerais para restringir e definir o comportamento do sistema em reação ao estado do mundo. Políticas são descritas em termos de direitos de controle de acesso em objetos de dados, e são atribuídos a grupos de usuários, através da definição de papéis. Ainda de acordo com Edwards, os sistemas colaborativos são ambientes “potencialmente caóticos” para os usuários, a interação com o sistema não é tão simples quanto em sistemas com apenas um usuário. Em sistemas colaborativos, as ações dos outros colaboradores nem sempre são previsíveis, pois estes possuem seus próprios objetivos e níveis de experiência, acrescentando à interação o potencial de incerteza e imprevisibilidade. Por isso é importante definir os papéis que podem ser assumidos e suas determinadas funções e responsabilidades, diminuindo as incertezas. Também é necessário definir políticas que regram o trabalho colaborativo,

como privacidade e acesso aos artefatos gerados e objetos do cenário.

Santos e colaboradores [17] apresentam um modelo que categoriza a colaboração em diferentes níveis de acordo com o seu apoio para a comunicação coordenação, cooperação e interoperabilidade. A abordagem é especialmente adequada para cenários altamente heterogêneos, envolvendo software diferente, especialistas em diferentes áreas com modelos particulares de informação e restrições tecnológicas ou culturais para a implementação de um ambiente totalmente colaborativo. Os autores defendem a importância da percepção como sendo o quarto elemento do modelo 3C, que está profundamente relacionado com a comunicação, coordenação e cooperação. A percepção é essencial para o fluxo de colaboração, pois permite que o usuário construa seu próprio contexto de trabalho e coordene suas atividades com as dos outros.

Gutwin e Greenberg [10] definem que em ambientes colaborativos a percepção do espaço dos modelos de colaboração envolve conhecimento sobre os colaboradores, atividades nas quais trabalham, suas ações e intenções, assim como a localização dos mesmos. A localização inclui a posição, a direção em que está olhando e o alcance de visão do usuário.

Mendes *et al.* [14] propõem um sistema colaborativo com o uso de dispositivos visuais grandes e dispositivos móveis para visualização, navegação e inspeção de modelos CAD 3D da indústria do petróleo. O sistema permite que os engenheiros de campo e as equipes em um centro de controle trabalhem juntos em colaborações. Quatro características colaborativas foram implementadas para melhorar a colaboração entre os usuários, fornecendo formas diretas e indiretas de comunicação, visibilidade e percepção: comunicação por voz, *viewport* compartilhado, avatares e congelamento de câmera. O uso do áudio permite comunicação remota, natural entre os usuários, que é crucial para o sucesso das tarefas colaborativas. O *viewport* compartilhado permite que outros participantes vejam o ponto de vista de um usuário, dando suporte a tarefas como mostrar a localização de objetos pequenos e visitas guiadas. O avatar representa a posição e orientação corrente no ambiente. Isso permite um rápido reconhecimento do local onde os usuários estão localizados e qual direção geral eles estão olhando em comparação com o compartilhamento de câmera. O congelamento de câmera permite aos usuários congelar a visão atual e mover-se em torno do *tablet*, sem temer que os movimentos realizados mudem a posição da câmera e conseqüentemente do avatar.

Em seu trabalho, Medeiros *et al.* [13] realizam um estudo sobre a colaboração remota em ambientes virtuais. Um caso de estudo é apresentado para ilustrar a seleção e avaliação de diferentes ferramentas que visam apoiar as ações de comunicação, cooperação e coordenação entre os usuários que interagem em um ambiente virtual. O cenário apresentado naquele trabalho envolve a realização de operações de manutenção em plataformas de óleo e gás. A aplicação consiste de dois módulos: um módulo para o técnico remoto e um modo para o operador. O técnico interage com uma mesa *multitouch*, possuindo os mapas do cenário com a posição do operador, e uma tela que mostra a visão, em primeira pessoa, do operador. Já o operador se encontra em um ambiente imersivo, utilizando um joystick para a navegação, auxiliado por um minimapa que mostra sua localização na plataforma. O sistema proposto por Medeiros *et al.* utiliza áudio para a comunicação, uma vez que o módulo do operador não fornece meios tradicionais para a interação com o sistema (e.g., mouse e

teclado). O uso de *waypoints*, setas que indicam o caminho a ser seguido, suporta a coordenação. O uso do minimapa com a localização do trabalhador permite que os participantes trabalhem juntos no ambiente compartilhado. O ponto de vista do trabalhador sendo apresentado para o técnico permite que ele tenha consciência das ações e dificuldades enfrentadas pelo usuário imerso.

4. Soluções Propostas

Para este trabalho foi implementado um programa de treinamento colaborativo entre um usuário imerso em uma CAVE e um usuário remoto não imerso, usando um *desktop*. O usuário da CAVE, imerso, interage com o sistema em pé dentro da área de interação da CAVE, tendo todo o seu campo de visão coberto pelas telas, usa o dispositivo *flystick* para realizar a interação e é desprovido de *mouse* e teclado para realizar a comunicação. O segundo usuário, aqui chamado de usuário remoto, se encontra em outro ambiente, utilizando uma aplicação rodando em um *desktop*, sem o mesmo nível de imersão do primeiro usuário e com acesso a *mouse* e teclado para interagir com o sistema e se comunicar.

No modelo 3C, o gerenciamento de pessoas, tarefas e recursos ocorre na dimensão da coordenação. Uma vez definidos os objetivos a serem atingidos é necessário gerenciar os esforços dos participantes envolvidos e definir as áreas de ação de cada indivíduo, evitando duplicação de trabalho.

A definição de papéis e a aplicação de limitações nas ações dos usuários evita conflitos que ocorrem em ambientes colaborativos [6]. O modelo proposto possui dois papéis bem definidos:

- Usuário imerso (trainee), que é responsável por realizar as tarefas, interagir com os objetos da cena, podendo ou não solicitar ajuda do outro participante. Ele está limitado pelo sistema às leis físicas, ou seja, é sujeito à colisão com o cenário e ação da gravidade durante a simulação.
- Usuário remoto (treinador), não imerso, que é responsável por auxiliar o usuário imerso com os meios disponíveis pela aplicação. Suas tarefas são, principalmente, mostrar a localização de objetos de interesse e indicar caminhos até determinados pontos utilizando a ajuda das técnicas propostas. Este usuário não sofre a ação da gravidade e pode atravessar os elementos contidos nos cenários, ou seja, possui uma navegação livre, e tem acesso a mais informações sobre o ambiente.

No sistema proposto, a comunicação pode ser efetuada pela interação entre os usuários através de canais de áudio ou texto. A comunicação por áudio, no cenário do usuário imerso em um ambiente virtual, é a menos intrusiva. Não interfere visualmente na imersão e permite que todos os participantes possam se comunicar, de forma natural e remotamente, sendo capazes de se organizarem durante a realização da tarefa.

A comunicação por *chat* de texto tem a vantagem de oferecer um armazenamento das últimas mensagens recebidas, que fornece suporte à cooperação entre os participantes, e à coordenação, através da lista de usuários participando da conversa. Foi proposta a utilização de um *tablet*, localizado em um suporte ao lado do usuário imerso, para realizar a comunicação por texto, uma vez que o usuário imerso não dispõe de teclado para a interação, apenas dispositivos de navegação.

Com relação às formas de interação do usuário imerso, Bowman define três categorias principais onde a maioria das interações em ambientes virtuais se encaixa, sendo elas navegação, seleção e manipulação [1]. Esses três elementos são utilizados no nosso cenário para a realização da cooperação entre os participantes, através de técnicas de *wayfinding*, *highlight* de objetos e identificação de direções para movimentação e rotação de objetos, permitindo aos participantes identificarem recursos e tarefas.

Bowman define *wayfinding* como sendo o processo cognitivo de definir um caminho através de um ambiente, utilizando e adquirindo conhecimento espacial, auxiliado por pistas naturais e artificiais [2]. A implementação do *waypointing* permite auxílio à navegação, indicando caminhos e rotas a serem tomados pelo usuário imerso para chegar a determinado objetivo. A Figura 4 mostra um exemplo de *waypointing*, com a seta mostrando o caminho a ser seguido.



Figura 4. Exemplo de técnica de waypointing para facilitar a tarefa de wayfinding.

Para guiar o usuário por ambientes complexos o usuário remoto usa pistas artificiais, no caso setas, indicando a direção a ser seguida. O *waypointing* é um substituto para a comunicação na tarefa de indicar o caminho. Do lado do *desktop*, a técnica de *wayfinding* permite que o usuário não-imerso crie e manipule o *waypoint*, modificando sua posição, rotação e escala, como mostrado na Figura 5.

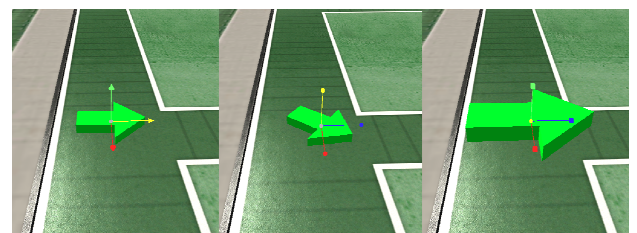


Figura 5. Manipulação do waypoint, translação, rotação e escala.

O método de *highlight* de objetos consiste em adicionar um contorno colorido a um determinado objeto, destacando-o no ambiente. Essa técnica funciona como método de navegação e de seleção. Para navegação, consiste numa pista artificial, permitindo ao usuário saber o objeto até onde deve navegar.

Para a seleção, ou *target acquisition task* [21], tarefa de adquirir ou identificar um objeto particular de todo o conjunto de objetos disponíveis, o *highlight* tem o objetivo de facilitar o usuário a

identificar o objeto a ser manipulado. A Figura 6 mostra o uso do *highlight* e a facilidade para determinar o objeto a ser manipulado.

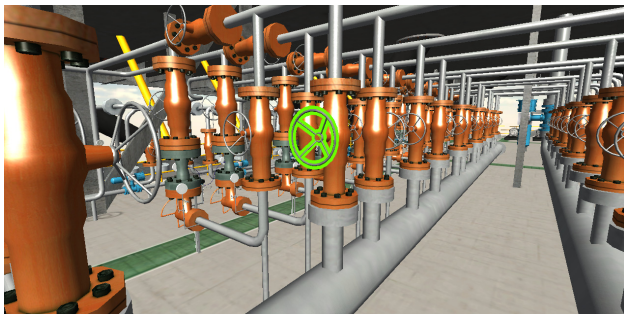


Figura 6. Highlight destacando um objeto.

Para a tarefa de manipulação, uma alteração na técnica de *waypointing* permite indicar como interagir com o objeto, como por exemplo, mostrar a direção da rotação ao manipular uma válvula, ou a direção correta para movimentar um objeto.

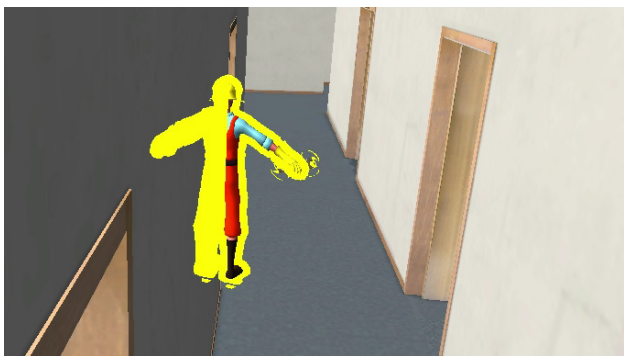


Figura 7. Avatar com silhueta, para fácil identificação, mesmo através de obstáculos do cenário.

Para facilitar a identificação da localização da posição do usuário que está imerso e da direção em que ele está olhando, um avatar foi inserido na versão desktop para representar o usuário da CAVE. O avatar conta com uma silhueta colorida, que permite que ele seja identificado facilmente, uma vez que é possível visualizar o avatar através dos objetos da cena. A Figura 7 mostra o avatar do usuário imerso entrando em uma das salas, mostrando que é possível localizá-lo mesmo através da parede. O uso do avatar permite que os usuários trabalhem juntos no ambiente compartilhado, tomando decisões e gerenciando a posição do usuário em treinamento.

Com essas soluções propostas, uma aplicação de teste foi construída. A aplicação da CAVE é responsável por passar as informações sobre posição e rotação do usuário imerso para a aplicação utilizada pelo usuário remoto, que então apresenta as informações na forma de um avatar no cenário. Ao usuário remoto, é permitido criar e modificar *waypoints* e aplicar *highlight* nos objetos da cena, enviando-os então para o usuário imerso. Ambos usuários têm acesso à comunicação por texto, pela aplicação do usuário remoto e do uso do *tablet* pelo usuário imerso, e por voz.

5. Testes e Resultados

5.1 Testes

Para avaliar o cenário heterogêneo de colaboração foi realizada uma série de testes com usuários, verificando aspectos como:

importância e eficácia da comunicação por áudio, necessidade da comunicação por texto e papel das técnicas auxiliares (*highlight* e *waypointing*) como eventuais substitutos ou complementares às técnicas de comunicação, em tarefas baseadas em situações reais com diferentes níveis de complexidade.

Para a realização dos testes foram selecionados dezoito participantes com experiência no uso de aplicações 3D e colaboração em ambientes virtuais, principalmente através de jogos eletrônicos, e sem experiência com ambientes CAVE. Os participantes se encontram na faixa etária entre 15 e 50 anos, com idade média de 28 anos, sendo dezesseis do sexo masculino e dois do sexo feminino. Todos os usuários possuem experiência com aplicações 3D, sejam programas de modelagem, visualização ou jogos, já tendo realizado tarefas de navegação e seleção, embora alguns usuários tenham afirmado nunca terem realizado a manipulação de objetos em ambientes 3D.

O cenário utilizado para a realização dos testes foi uma plataforma de petróleo *offshore*. Assim como nas tarefas de treinamento da plataforma, as tarefas planejadas para a realização dos testes são simples e repetitivas, onde muitas tarefas diferentes exigem que o usuário realize os mesmos procedimentos. As tarefas consistiam em abrir/fechar válvulas e inspecionar equipamentos. Foram utilizados dois cenários com complexidades distintas: um simples, onde existia um número menor de válvulas, cerca de trinta, que se encontram espalhadas, em pequenos grupos contendo entre uma e três válvulas, sendo, dessa maneira, fácil para o usuário determinar pontos de referência ao dar as instruções. O segundo cenário, complexo, possui um grande número de válvulas, cerca de cento e vinte, espalhadas em grandes grupos, muito próximos um dos outros, como podemos observar na Figura 8.



Figura 8. Parte do cenário complexo.

Cada um dos cenários possuía duas variações: A e B. Como os usuários realizariam cada um dos cenários duas vezes, uma usando apenas áudio e outra usando áudio e técnicas auxiliares (*highlight* e *waypointing*), foi necessário fazer alterações entre as variações, a fim de evitar que as instruções dadas simplesmente informassem ao usuário para repetir as ações tomadas anteriormente, selecionando os mesmos objetos de cena. A tarefa dos cenários foi dividida em duas partes. A primeira parte consistia no deslocamento do usuário a partir do ponto inicial até a válvula pedida e a sua seleção, para abrir/fechar a mesma. A segunda parte consistia de, após a seleção da válvula correta, dirigir-se e inspecionar um equipamento específico na plataforma.

A ordem de execução das versões utilizadas pelos usuários não foi a mesma para todas as duplas, isto tinha como objetivo minimizar o efeito de aprendizado provocado pelo uso da primeira versão sobre a segunda.

5.2 Resultados

A seguir são apresentados os resultados dos testes realizados. Os dados foram obtidos das seguintes maneiras:

- Preenchimento de questionário, após a realização de cada cenário, por ambos os membros das duplas.
- Dados das atividades, como tempo gasto pelos usuários, salvos pelo sistema.
- Gravação em vídeo da interação dos usuários com o sistema, dos usuários imersos na CAVE e dos usuários no desktop.
- Log do canal de comunicação por texto (*chat* de texto no *tablet*).
- Gravação em áudio da comunicação.
- Entrevista semiestruturada, após a realização dos testes.
- Anotação dos avaliadores durante a realização da tarefa.

As tabelas a seguir apresentam os dados de tempo e erros das tarefas nos cenários simples e complexo. A coluna erros representa o número de objetos que foram selecionados equivocadamente pelo usuário imerso. Todos os erros registrados foram de seleção incorreta da válvula pedida.

Tabela 1. Tempo médio e número de erros nas tarefas do cenário simples.

<i>Versão</i>	<i>Tempo Médio</i>	<i>Erros</i>
Áudio	07:29	1
Áudio e Técnicas	08:29	0

A Tabela 1 mostra a comparação entre as versões do programa de treinamento utilizadas, no cenário mais simples. O uso da versão do áudio foi menor comparado ao uso do áudio e das técnicas para auxiliar o usuário em treinamento. No entanto, houve um erro cometido pelo usuário em treinamento ao realizar o teste com apenas o uso do áudio.

A versão com o áudio e as técnicas foi a preferida pelos usuários, mesmo sendo mais lenta para a conclusão do treinamento. Segundo os usuários, a técnica de *highlight* foi considerada mais útil que a técnica de *wayfinding*, devido à facilidade na hora de usar e a segurança que era proporcionada pelo seu uso.

Tabela 2. Tempo médio e número de erros nas tarefas do cenário complexo.

<i>Versão</i>	<i>Tempo Médio</i>	<i>Erros</i>
Áudio	09:27	10
Áudio e Técnicas	07:47	1

A Tabela 2 apresenta o tempo médio comparativo entre as versões com áudio e a com áudio e técnicas, para o cenário mais complexo. O uso da versão com auxílio do áudio e das técnicas tornou a realização do treinamento mais rápida, com o tempo médio menor comparado com o teste realizado apenas com a ajuda do áudio para a comunicação. Também é possível notar uma grande diferença no número de válvulas erradas que foram abertas na versão com apenas o áudio, dez contra apenas uma, na versão com áudio e técnicas.

Assim como no primeiro cenário, os participantes tiveram preferência pela versão que contava com as técnicas, que se mostraram mais importantes em um cenário complexo. O uso das técnicas, em especial do *highlight*, foi fundamental no cenário complexo, tendo ajudado bastante as duplas na realização do teste. O *waypointing*, apesar de não ter sido considerado tão importante quanto o *highlight*, foi utilizado com mais frequência no segundo cenário, devido à complexidade da tarefa.

Alguns participantes acharam que o cenário muito simples não justificava o uso do *highlight* para conseguir indicar à válvula correta, principalmente aqueles que já haviam realizado a tarefa apenas com o áudio anteriormente. Isto não foi registrado durante o cenário mais complexo, independente da ordem em que as duplas executavam as tarefas, o uso do *highlight* foi considerado fundamental para facilitar a interação do usuário em treinamento. Pois embora fosse possível identificar a válvula apenas com o uso do áudio, os participantes não tinham completa certeza ao selecionar. “*Se não tivesse o highlight não teria certeza da válvula*”, afirmou o usuário U14.

O uso da técnica de *waypointing* foi considerado importante, embora menos importante que o *highlight*. Os participantes argumentaram que o primeiro cenário era bastante simples para exigir o uso do *wayfinding*, sendo possível realizar a navegação apenas com o áudio. Ainda assim, eles consideraram a técnica importante por dar mais segurança, como destacado pelo usuário U7. “*O áudio possui uma margem de erro maior. O uso das técnicas permite mais segurança*”.

Os usuários que estavam auxiliando o treinamento, do desktop, tiveram dificuldade na hora de criar os *waypoints* para indicar o caminho devido ao tempo necessário para posicioná-lo corretamente. Ao criar um *waypoint*, o mesmo estava sempre com uma rotação padrão, sendo preciso modificar a rotação e, caso necessário, alterar sua posição. Foi observado que alguns usuários se confundiram com os modos de edição do *waypoint* (posição e rotação) e tiveram dúvidas de qual eixo deveriam modificar para conseguir o efeito desejado.

A comunicação por texto não foi utilizada por nenhuma dupla. Não houve nenhuma situação onde os participantes identificaram vantagem ao utilizar o texto em vez da comunicação por voz.

Embora a navegação e a seleção não estejam diretamente ligadas à colaboração, as dificuldades encontradas pelos usuários ao realizar essas tarefas tiveram impacto na coordenação dos usuários, atrapalhando o trabalho dos mesmos no ambiente compartilhado.

Houve momentos onde o membro da dupla que tinha a tarefa de auxiliar o teste não conseguia compreender por que o usuário em treinamento ainda não havia selecionado a válvula indicada ou girado na direção correta. Ele assumia que o usuário não havia entendido as informações passadas e tentavam ajudá-los repetindo a informação ou procurando pontos de referência no cenário.

A principal dificuldade observada na rotação foi bloquear, com o corpo, o *flystick* dos sensores, ocasionando em resultados não esperados na rotação. Já na tarefa de seleção, a principal dificuldade foi localizar a ponta do raio de seleção na cena.

Também foi observada uma dificuldade na hora de passar as instruções por voz, o que reforçou a importância das técnicas propostas. Os usuários em treinamento, com certa frequência, se confundiram com as direções que eram dadas. O exemplo mais notável desse problema aconteceu quando o participante U5, que estava no desktop, indicou que a válvula estava localizada ao lado

esquerdo do usuário em treinamento. “Vire a esquerda que você vai ver a válvula.”. O usuário na CAVE gira para o lado direito e é corrigido, de forma confusa, pelo outro membro da dupla, o usuário U5. “Não! Não, a outra esquerda.”. Após isso, o usuário consegue se localizar e virar na direção certa.

6. Conclusão

Este trabalho estudou a colaboração entre usuários em ambientes imersivos com usuários remotos não imersos. A principal motivação dessa pesquisa foi o uso de tecnologias de imersão como a CAVE para realização de tarefas colaborativas, uma vez que o uso da CAVE torna o processo de colaboração atípico e heterogêneo, fugindo do modelo de colaboração entre *desktops*.

Durante a realização dos testes foi possível identificar alguns problemas relacionados com o uso da CAVE, especialmente o da falta de percepção espacial do ambiente, que resultaram em dificuldades na realização da colaboração dos usuários.

Foram implementadas técnicas para ajudar os usuários a realizar a colaboração, *wayfinding* e *highlight*. Para ajudar o *wayfinding* era permitido ao usuário do *desktop* posicionar *waypoints*, pistas artificiais que permitiam a definição de um caminho até o objetivo da tarefa. O *highlight* consiste na aplicação de uma silhueta nos objetos, destacando-os, permitindo identificar os objetos a serem selecionados com facilidade.

A maioria dos usuários preferiu as versões que combinavam o uso do áudio e das técnicas para realizar a colaboração entre os usuários. Apesar disso, alguns usuários afirmaram que seriam capazes de realizar a tarefa sem o uso das técnicas, contando apenas com o áudio. O uso das técnicas foi considerado importante, pois elas passam segurança no caso do usuário não conseguir passar as instruções de forma clara. Outro fator que justifica o uso das técnicas foi a ocorrência de erros de seleção, onde os usuários achavam que estavam selecionando a válvula correta.

Como esperado, o áudio foi considerado o principal elemento no processo de colaboração, sendo improvável de se realizar a tarefa sem o uso do mesmo. Mesmo com o uso das técnicas, o áudio ainda foi considerado de extrema importância, pode-se observar que em muitos casos, as técnicas eram aplicadas em pontos que estavam fora da visão do usuário da CAVE, sendo necessário o uso do áudio para indicar que haviam sido colocados *waypoints/highlight*. Entre as técnicas auxiliares implementadas, o *highlight* foi considerado mais útil, principalmente em cenários complexos. Os usuários relataram ser mais prático utilizar a técnica para marcar um objeto do que descrever o mesmo na cena, procurando referências e tendo que verificar se o usuário imerso conseguiu compreender.

O principal uso do *waypointing* foi após marcar, com o *highlight*, o objeto que o usuário deveria interagir. Tendo a certeza de que o usuário imerso não selecionaria o objeto errado, foi possível se adiantar e marcar o caminho para a etapa seguinte da tarefa. Segundo os usuários, eles usariam mais o *waypointing* se o cenário apresentado fosse mais complexo ou se criação de *waypoints* fosse mais eficiente; pois era necessário muito tempo para ajustar a direção da seta.

Em relação ao modelo de colaboração, não houve problemas em relação à comunicação, os meios providos permitiram aos usuários argumentarem e negociarem, gerando compromissos. No entanto, foi possível observar que os participantes tiveram um pouco de dificuldade para operar em conjunto no ambiente

compartilhado, devido principalmente à falta de percepção do ambiente, que resultou em uma dificuldade ao organizar as tarefas e indicar os objetivos. Percebeu-se que a natureza espacial da tarefa e a heterogeneidade entre os ambientes dos usuários trouxeram dificuldades de percepção sobre o outro usuário (*awareness*). Faltou para o usuário do *desktop* um *feedback* melhor sobre o campo de visão do usuário da CAVE e da atividade de seleção.

Por fim, podemos ressaltar que foi possível identificar uma potencial vantagem em utilizar as técnicas auxiliares em ambientes ou tarefas mais complexos, podendo ser útil para o design de ferramentas desse tipo.

7. Trabalhos Futuros

Uma das dificuldades encontradas foi a falta de percepção que o usuário do *desktop* tinha do campo de visão do participante que se encontrava na CAVE. Uma possibilidade sugerida pelos participantes foi desenhar as linhas que compõem o *frustrum* de visão do usuário que se encontra imerso. Isso permitiria ao treinador enxergar os objetos da cena que estão no campo de visão do usuário imerso.

O *frustrum* permite uma troca de informações mais eficiente, sem a necessidade de descrever o campo de visão constantemente, permitindo que a dupla se organize melhor (coordenação) para cumprir os objetivos do treinamento. A Figura 9 mostra o exemplo do *frustrum* de visão do usuário da CAVE, implementado por [17], sendo possível identificar o que o usuário da CAVE está vendo e dar instruções mais precisas.

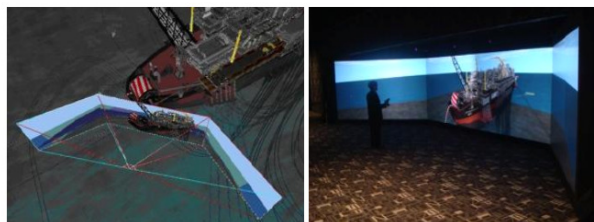


Figura 9. Desenho do frustrum do usuário da CAVE. [17].

Foi observado que o processo de criação dos *waypoints* é lento e confuso para os usuários, uma vez que consiste em criar o *waypoint* com uma rotação padrão para só depois alterar sua direção do modo desejado. Um novo modo para criar *waypoints* poderia tornar a criação deles mais rápida, permitindo que sejam utilizados com maior frequência, e requerendo menos passos para posicionar e rotacionar na direção desejada. Uma ideia é que ao pressionar o botão do *mouse* na posição desejada, o usuário ao invés de soltar imediatamente, arrastaria o mouse até uma segunda posição. Ao soltar o botão, o sistema criaria o *waypoint* apontando na direção do vetor formado pelo ponto inicial e final, tornando desnecessária a edição da rotação.

Um dos usos mais interessantes do *waypoint* foi como ponto de referência, e não de forma a indicar um caminho a ser seguido. Concluímos que novos tipos de *waypoint* podem ser desejáveis. A introdução de um segundo tipo de *waypoint* em forma de círculo para marcar pontos de referência ou ponto final de um caminho pode permitir uma maior organização entre os usuários.

Uma das funcionalidades mais pedidas durante a entrevista pós-teste foi a possibilidade de apagar *waypoints* criados. Embora não tenham ocorrido problemas durante a realização dos testes ligados à impossibilidade de apagar um *waypoint*, a argumentação dos

usuários foi que pode surgir confusão em qual direção seguir quando dois caminhos indicados passam próximos um ao outro. Essa funcionalidade também seria útil caso o usuário remoto acidentalmente indicasse uma direção errada.

8. Agradecimentos

O Tecgraf/PUC-Rio é um grupo financiado principalmente pela Petrobras. Alberto Raposo agradece ao financiamento do CNPq (processo 470009/2011-0).

9. Referências

- [1] Bowman, D. A., Hodges, L. F., "Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments.", in *Journal of Visual Languages and Computing* 10, pp. 37-53, 1999.
- [2] Bowman, D. A., Kruijff, E., Laviola, J. J., Poupyrev, I., "3D User Interfaces: Theory and Practice", 2004.
- [3] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R., Hart, J. C., "The CAVE, Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment" in *Communications of the ACM*, pp. 64-72, June 1992.
- [4] Dodd, E. J., "Visualization and Collaboration for the On Demand Upstream Petroleum Enterprise.", in IBM technical reports, Toronto, Canada, May, 2004.
- [5] Dourish, P., Bellotti, V., "Awareness and Coordination in Shared Workspaces.", in *ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, Nova York: ACM Press, pp. 107-114, 1992.
- [6] Edwards, W. K., "Policies and Roles in Collaborative Applications.", in: *Proceedings of the ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 11-20, 1996.
- [7] Ellis, C. A., Gibbs, S. J., "Groupware: some issues and experiences.", in *Commun. ACM*, vol. 34, no. 1, pp. 39-58, January 1991.
- [8] Fuks, H., Raposo, A. B., Gerosa, M. A., Pimentel, M., Filippo, D., Lucena, C. J. P., "Teorias e modelos de colaboração" in *Sistemas Colaborativos*, Fuks, H., Pimentel, M., Ed. Campus, pp 16-33, 2011.
- [9] Grudin, J., "Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus.", in *Computer (IEEE)*, v. 27, n. 5, pp. 19-26, May 1994.
- [10] Gutwin, C., Greenberg, S. A., "Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware.", in *Computer Supported Cooperative Work*, Holanda, v. 11, n. 3-4, pp. 441-446, 2002.
- [11] Kahai, S. S., Carrol, E., Jestice, R., "Team collaboration in virtual worlds" in *The DATA BASE for Advances in Information Systems*, 38:4, pp. 61-68, 2007.
- [12] Marini, D., Folgieri, R., Gadia, D., Rizzi, A., "Virtual reality as a communication process", in *Virtual Reality*, v.16 n.3, p.233-241, September 2012.
- [13] Medeiros, D., Ribeiro E., Dam, P., Pinheiro, R., Motta, T., Loaiza, M., Raposo, A. B., "A Case Study on the Implementation of the 3C Collaboration Model in Virtual Environments.", in *XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality – SVR 2012*. Niteroi, RJ, Brasil, 2012.
- [14] Mendes, D., Sousa, M.; Araujo, B.; Ferreira, A.; Noronha, H.; Campos, P.; Soares, L.; Raposo, A.; Jorge, J. Collaborative 3D Visualization on Large Screen Displays. Powerwall - International Workshop on Interactive, Ultra-High-Resolution Displays – ACM CHI 2013, 2013.
- [15] Pimentel, M., Gerosa, M.A., Filippo, D., Raposo, A., Fuks, H., Lucena, C.J.P., "Modelo 3C de Colaboração para o desenvolvimento de Sistemas Colaborativos." *Anais do III Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos – SBSC*, pp. 58-67, 2006.
- [16] Pouliquen, M., Bernard, A., Marsot, J., Chodorge, L., "Virtual hands and virtual reality multimodal platform to design safer industrial systems.", in *Computers in Industry*, vol. 58, n. 1, pp. 46-56, January 2007.
- [17] Santos, I. H. F., Raposo, A.B.; Gattass, M., "Finding solutions for effective collaboration in a heterogeneous industrial scenario," in *Computer Supported Cooperative Work in Design, 2002. The 7th International Conference on*, vol., no., pp.74,79, 2002.
- [18] Santos, I. H. F.; Soares, L. P.; Carvalho, F.; Raposo, A. B., "A Collaborative Virtual Reality Oil & Gas Workflow.", in *International Journal of Virtual Reality*, v. 11, n. 1, p. 1-13, Jan. 2012.
- [19] Vivacqua, A. S., Garcia, A. C. B., "Ontologia de Colaboração", in *Sistemas Colaborativos*, Fuks, H., Pimentel, M., Ed. Campus, PP. 34-49, 2011.
- [20] Watanuki, K., Kojima, K., "Virtual reality based knowledge acquisition and job training for advanced technical skills using immersive virtual environment.", in *Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, pp. 48-57, 2007.
- [21] Zhai, S., Milgram, P., "Human Performance Evaluation of Manipulation Schemes in Virtual Environments.", in *Proceedings of the 1993 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, IEEE Press, pp. 155-161, 1993.