

Um Estudo sobre Manipulação Cooperativa em Ambientes Virtuais Colaborativos

Paulo Vinícius de Farias Paiva e Liliane Machado dos Santos
Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística
Universidade Federal da Paraíba - CCEN
paulovfppiox@gmail.com, liliane@di.ufpb.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo a respeito do uso da colaboração e manipulação cooperativa de objetos em Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs), analisando as diferentes técnicas e arquiteturas de colaboração já existentes. Pretende-se com o estudo propor uma expansão para o módulo de colaboração do *framework* CyberMed, voltado para a construção de simuladores médicos baseados em realidade virtual.

Abstract

This paper has the objective of presenting the main concepts related to collaboration and its use in collaborative virtual environments (CVEs) to produce an analysis of techniques and architectures found in literature. This work intends to support an expansion of the collaboration module of the CyberMed framework, a software for the development of virtual reality based medical simulators.

1. Introdução

Ambientes Virtuais (AVs) são sistemas de Realidade Virtual (RV) que oferecem aos seus usuários ambientes imersivos com técnicas de interação em cenas tridimensionais que exploram canais sensoriais humanos [6]. Neste contexto, alguns destes sistemas, baseados no conceito de Trabalho Cooperativo Assistido por Computador (CSCW – *Computer-Supported Cooperative Work*), trazem consigo a possibilidade de seus usuários realizarem tarefas em conjunto [4]. Estes ambientes são conhecidos como Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) baseados em RV [3].

Os AVCs utilizam a capacidade da Internet em aproximar as pessoas e suas ações, contribuindo assim, na construção do conceito de colaboração dentro da RV. Além de suas características fundamentais como a

visualização de uma cena 3D e da manipulação de objetos virtuais, os AVCs baseados em RV permitem aos seus usuários a sensação de estarem compartilhando de suas experiências e ações, em tempo-real, com outros usuários localizados em diferentes localidades geográficas [6]. Dentro do contexto educativo, por exemplo, a colaboração é utilizada em ambientes virtuais de treinamento em geral, onde o profissional atuante de uma área pode guiar e avaliar as interações de outros usuários [11].

A medicina também tem sido beneficiada com sistemas baseados em RV, particularmente aqueles voltados ao ensino e treinamento conhecidos como simuladores médicos. Estes têm como vantagens a redução de custos de treinamento, a eliminação da necessidade de cobaias, a possibilidade de variabilidade nos casos apresentados e a realização de práticas de ensino mais interativas. Na interação dos usuários com estes simuladores, é preferível o uso de dispositivos que envolvam outros sentidos, além da visão, a fim de tornar a experiência mais realista e os seus resultados mais eficazes. Este é o caso dos dispositivos hápticos, que explorando o sentido tátil dos seus usuários, os permite reconhecer através do toque vários tipos de texturas e propriedades materiais (maciez, rigidez, viscosidade, elasticidade) dos objetos virtuais dispostos no AV [12].

Dispositivos hápticos são importantes, por exemplo, em ambientes que simulam procedimentos que envolvam ferramentas médicas como agulhas ou bisturis, ou apenas o toque para a realização de diagnósticos mais realistas. Neste contexto, o AVCs baseados em RV fornecem a possibilidade de tutoria remota e da troca de experiências entre estudantes de procedimentos cirúrgicos [6]. O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo relacionado a algumas técnicas de manipulação cooperativa de objetos existentes em AVCs baseados em RV, bem como analisar as funcionalidades dispostas no *framework* CyberMed, a fim de propor uma expansão ao seu módulo de colaboração.

2. Colaboração em Ambientes Virtuais Imersivos

Existem diferentes abordagens para o uso da colaboração em Realidade Virtual (RV). De acordo com Margery [1] elas diferem quanto aos níveis de colaboração e inserem-se em três diferentes categorias:

- *Nível 1* - Os usuários percebem-se independentemente uns aos outros através de seus avatares sem que ocorram alterações no estado corrente do AV;
- *Nível 2* - A cada usuário é permitido alterar a cena individualmente e de forma seqüencial;
- *Nível 3* - Os usuários podem alterar, simultaneamente, as mesmas ou diferentes propriedades de um objeto virtual.

A colaboração de Nível 3, também conhecida como manipulação cooperativa de objetos [2,3], pode ocorrer de diversas formas visto que um objeto virtual permite diferentes transformações sobre si (rotação, translação, cor, etc). Deste modo, múltiplas ações poderão ser combinadas desde que, antes de iniciada a colaboração, sejam pré-estabelecidas regras a fim de definir quais propriedades do objeto cada participante deverá alterar [2], senão todas. Estas são definidas por meio de uma Metáfora Colaborativa [1,2] que visa estabelecer as diretrizes por meio das quais as ações serão integradas.

Quanto à liberdade das ações dos usuários, Rudle [3] afirma que elas podem ser escolhidas entre a *interação simétrica*, onde as ações dos participantes são coordenadas em todos os aspectos (mesma magnitude, tempo, sentido e direção), ou a *interação assimétrica*, onde os participantes são livres para alterarem qualquer propriedade do objeto, estando o sistema encarregado de apresentar uma transformação resultante ao objeto. Para que se compreenda como as interações assimétricas ou simétricas se dão no contexto de uma colaboração de Nível 3, faz-se necessário o conhecimento do conceito de níveis de liberdade (DOF – *Degrees of freedom*) para movimentação de um objeto virtual. Estes nada mais são que os eixos do plano cartesiano (x, y e z) aos quais os objetos se encontram livres para serem movimentados e comumente são explorados como componentes básicas de uma atividade cooperativa. Os níveis de liberdade são explorados principalmente pelos AVCs que utilizam dispositivos hápticos na aplicação de forças físicas sobre um objeto, sendo estes também conhecidos como ambientes virtuais hápticos

(*Haptic Virtual Environment – HVE*) [5]. De maneira geral, os HVEs contribuem para a realização de interações mais realistas dentro de ambientes que prezem pela sensação de imersão de seus usuários, sendo este o caso das aplicações de simulação médica onde os dispositivos hápticos possuem fundamental importância.

2.1. Manipulação Cooperativa de Objetos

Com o intuito de compreender melhor como vários usuários devem interagir simultaneamente com um único objeto, faz-se necessário a introdução de alguns conceitos já divulgados na literatura acerca da temática. A técnica de manipulação cooperativa nomeada SkeweR [7], baseia-se na interação assimétrica, onde os interadores dos usuários são fixados nas extremidades de um objeto e a cada um deles, apenas é permitida a aplicação de movimentos translacionais, a fim de alterar a posição e orientação final do objeto.

No *framework* colaborativo proposto por Pinho [2], as regras de cooperação são baseadas em duas possíveis abordagens. A primeira separa os graus de liberdade da técnica interativa entre os participantes da cooperação sendo esta, portanto, assimétrica. Por exemplo, um usuário pode mover um objeto no plano horizontal, enquanto o outro altera a sua posição verticalmente. A segunda realiza a combinação de todas as transformações em uma única etapa.

Experimentos que abordam a cooperação têm-se desenvolvido e podem ser encontrados em alguns deles além das técnicas interativas, o uso de dispositivos hápticos explorando assim, os diversos graus de liberdade na movimentação dos objetos virtuais. No experimento realizado por Basdogan [2] nomeado *ring on a wire*, onde os usuários cooperam para mover um anel em volta de um fio. Neste caso, a Metáfora Colaborativa usada limita as ações dos usuários sobre uma mesma componente das forças emitidas via seus dispositivos hápticos (eixo X), sem que forças residuais, isto é, aquelas direcionadas às componentes não-comuns (eixos Y e Z), fossem computadas pelo AV. Neste modelo de interação háptica, é usada a interação simétrica e apenas foram simulados os movimentos translacionais do anel sobre o fio, dispensando os movimentos de rotação ou outros movimentos bruscos que porventura um usuário pudesse realizar.

3. Colaboração no *framework* CyberMed

O CyberMed é um *framework* de código livre voltado para o desenvolvimento de aplicações médicas

baseadas em RV. Como todo *framework*, o CyberMed viabiliza ao desenvolvedor um desenvolvimento mais ágil de sistemas, além de oferecer a possibilidade de extensão do código fonte e inclusão de novos recursos. O CyberMed destaca-se, principalmente, pela ampla gama de recursos oferecidos pelos seus módulos. Dentre suas principais funcionalidades destacam-se: visualização mono e estereoscópica, interação através de dispositivos convencionais (mouse e teclado) e não-convencionais (háptico e de rastreamento), uso de modelos tridimensionais deformáveis, suporte à detecção de colisão, suporte a aplicações de colaboração e integração de métodos de avaliação *online*. Assim, ele é constituído por dez módulos, como pode ser visto na Figura 1, dispostos em três camadas principais: *Application Engine*, *Core* e a *Utils*. A camada *Core* é responsável pelo controle dos estados internos, como aquisição, cálculo, armazenamento e acesso aos dados do sistema [8]. A camada *Application Engine* provê um conjunto de métodos que auxiliam o usuário na construção de suas aplicações na inserção de recursos como a visualização, a colisão, a deformação, a avaliação e a interação háptica. Por fim, a camada *Utils* oferece uma série de facilidades na construção e edição de menus e na realização de operações matemáticas como cálculo de matrizes e operações lineares.

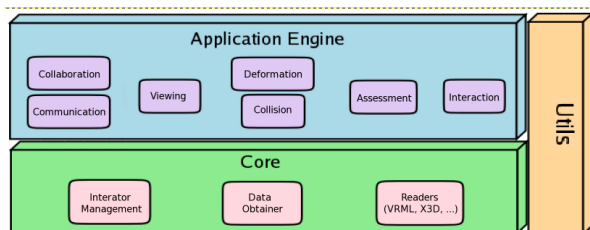


Figura 1 – A arquitetura de camadas e módulos do CyberMed.

O módulo de rede, chamado *CybNetwork*, prover comunicação de rede para a camada de colaboração *CybCollaboration* e simula tanto as comunicações confiáveis, isto é, aquelas onde há a garantia na integridade das mensagens, como também as comunicações não-confiáveis, que são mais freqüentemente utilizadas por aplicações em que a velocidade possui maior importância em relação à qualidade da mensagem final, como nos casos de sistemas de multimídia (áudio e vídeo). Os protocolos de transporte suportados são o UDP/IP (*User Datagram Protocol*) e o TCP/IP (*Transmission Control Protocol*), sendo o primeiro não-confiável e o último confiável. O *CybNetwork* dá suporte, ainda, para os três tipos básicos de estruturas de comunicação em

rede que são o *Unicasting*, onde a mensagem é endereçada a um único host de destino, o *Broadcasting*, em que a mensagem é divulgada através da rede para todos os clientes conectados e por último o *Multicasting*, onde a mensagem também é divulgada para vários clientes de destino, sendo que neste é possível a distinção entre vários grupos de máquinas de destino, entre outras vantagens.

Dentro do contexto de colaboração atualmente implementado no *framework*, foi utilizado o protocolo UDP/IP em conjunto com a arquitetura *peer-to-peer*, devido à velocidade de transmissão que este modelo oferece, sendo essencial para manter o efeito de realismo proposto pelas aplicações de simulação médica com sistemas hápticos, uma vez que estes operam sob taxas superiores a 1 KHz [5]. Logo, a colaboração atualmente implementada é realizada sem que haja um servidor atuando como mediador das conexões dos clientes, evitando assim, o acréscimo de tempo nas respostas e possíveis atrasos. Apesar disso, o cliente criador da colaboração, atua como um facilitador que fica responsável pela coleta e divulgação dos endereços IPs e das posições dos interadores de todos os participantes. Esta arquitetura pode ser vista na Figura 2. Pode-se dizer, ainda, que o módulo de colaboração do CyberMed possui uma arquitetura distribuída onde cópias da base de dados principal são distribuídas entre todos os nós da rede. Esta distribuição é realizada por meio de um modelo de distribuição de objetos virtuais conhecido como replicação ativa [4]. Com esta abordagem, a cópia principal do AV é replicada entre todos os processos ou grupo de processos clientes que estejam conectados na colaboração.

Uma vez observado que apenas uma versão do AV é executada por todos os participantes da colaboração ao mesmo tempo, faz-se necessário realizar o controle de consistência, de modo que os estados de todas as versões estejam em razoável sincronia. Na replicação ativa, este controle é realizado mediante a divulgação de todos os estados das cópias locais, logo após cada alteração ou inserção de novos objetos e participantes na colaboração. Deste modo, cada cliente fica responsável por enviar mensagens periódicas contendo o estado corrente de suas cópias locais. Este mecanismo também é conhecido como *heartbeat* [6]. Uma desvantagem na utilização do mecanismo de replicação e de suas mensagens de estado, principalmente para os AVCs de grande escala, é o aumento na propagação de mensagens pela rede, visto a necessidade de replicação da base de dados principal para todos os clientes, sendo que estas mensagens muitas vezes são irrelevantes para certos clientes.

Deste modo, é importante observar que tal abordagem foi optada para o *CybCollaboration* por

dois principais motivos. Primeiramente, por ser um módulo voltado para a construção de simulações médicas colaborativas, onde normalmente existem poucos usuários, geralmente em torno de dez participantes, interagindo entre si. Em segundo lugar, AVCs desta magnitude, não possuem grande volume de dados trafegando pela rede, o que não chega a comprometer a execução correta do ambiente em todos os clientes. Em relação à liberdade de alteração de um objeto por parte dos participantes em uma colaboração, dois estados de gerenciamento de manipulação são oferecidos que é a *Livre* e o *Bloqueado*. O estado *Livre* permite uma colaboração onde todos podem alterar o objeto sequencialmente. Já no estado *Bloqueado*, o objeto é bloqueado e apenas um solicitante poderá alterá-lo. Este modo é utilizado nas colaborações de tutoria, onde apenas o tutor tem a permissão de manipular o objeto.

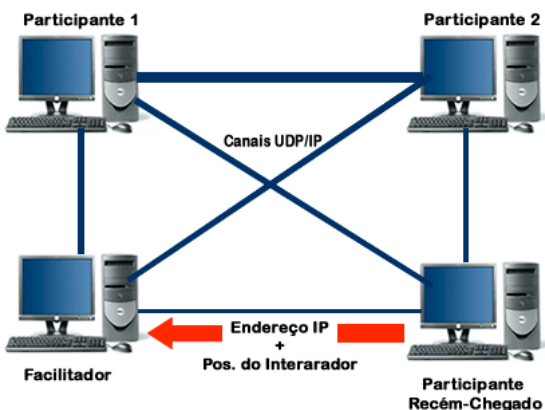


Figura 2 – A arquitetura de rede usada pelo módulo de colaboração.

Assim, o CyberMed possibilita ao seu usuário a escolha entre diferentes tipos de colaboração, a partir da combinação de um dispositivo de interação (háptico, mouse ou de rastreamento) com um modo de gerenciamento da manipulação (*Livre* ou *Bloqueado*). O caso mais comum é o da colaboração livre utilizando-se o mouse. Outra forma possível pela atual implementação é a colaboração guiada, onde um usuário designado como líder, utilizando-se de um dispositivo háptico, pode guiar os movimentos dos outros participantes que o acompanham através do retorno tátil provido por seus dispositivos.

4. Proposta de Expansão

Como visto anteriormente, a manipulação cooperativa de objetos ainda não é suportada pelo CyberMed. Após serem observados os diferentes tipos de colaboração e modelos de comunicação de rede

existentes e através da comparação de seu estado atual com as arquiteturas dos diferentes *frameworks* pesquisados, foi possível a detecção de alguns requisitos que o CyberMed ainda não possui e deverá ter implementado para que este venha a suportar a manipulação cooperativa. De acordo com Ruddle [3], existem alguns requisitos para que uma atividade de cooperação ocorra corretamente e estes envolvem três importantes questões:

(a) A comunicação de rede. A combinação das ações exige que os dados emitidos pelos usuários não sejam perdidos ou corrompidos, para que a resultante das ações tenha consistência em todos os clientes. Logo, é imprescindível o uso de um canal confiável para a transmissão de tais ações.

(b) O *feedback* das ações de cada usuário auxiliando-os na percepção do resultado de suas ações na cooperação, como é o caso das técnicas de *awareness* [2] que exploram o recurso da visualização a fim de que os usuários percebam entre si as intenções das ações.

(c) As formas pelas quais as várias ações serão integradas.

Em relação ao requisito de comunicação em rede, o módulo de colaboração atualmente faz uso do protocolo não-confiável UDP/IP com o *Unicasting*, para que as transferências de mídia-háptica ocorram a uma taxa razoável. Tal protocolo ainda é inviável para que a cooperação ocorra corretamente, já que não há um controle da integridade ou ordenamento dos dados enviados pelos usuários. O *Unicasting* apesar de não oferecer nenhum grande impedimento para a cooperação, possui a desvantagem de fazer com que mesmo aqueles usuários que não estejam envolvidos na manipulação de um objeto em dado momento, recebam as mensagens de estado, como por exemplo, as mensagens de *awareness*. Assim, uma alternativa para este problema, seria a integração de técnicas de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*), como o controle de fluxos e ordenamento dos pacotes, ao protocolo UDP/IP uma vez que, este protocolo ainda é uma opção por conta de sua velocidade de transmissão quando comparado com o protocolo TCP/IP.

Uma alternativa ao TCP/IP seria o uso do UDP/IP confiável a partir de bibliotecas específicas tal como a *QUANTA Networking Library* [9]. Em relação à estrutura básica de comunicação, poderia ser utilizado o *Multicast*, que é um modelo onde se torna possível a criação de grupos de usuários, associados a um único endereço IP. Deste modo, apenas os clientes associados àquele endereço recebem os pacotes contendo determinados tipos de dado. Com esta abordagem, seria possível a divisão entre dois grupos *Multicast* distintos, onde o primeiro estaria associado àqueles usuários que estivessem a participar de uma

manipulação cooperativa em determinado momento e o segundo constituiria o grupo daqueles que não estariam envolvidos. Para que um cliente pertença a um grupo *Multicast* faz-se necessário que ele se subscreva no mesmo, e para esta proposta, tal subscrição poderia ocorrer na etapa de seleção do objeto escolhido. Vale ressaltar que os pacotes destinados a grupos de *Multicast*, apenas são processados por roteadores específicos, e o conjunto desses forma o *Mbone* [6], que se trata de um *backbone* especial para processamento dos pacotes de *Multicast*. Assim, nem todos os roteadores da Internet possuem tal recurso e as aplicações que utilizam o *Multicast* poderiam ser prejudicadas caso não houvesse rotas possíveis para as suas mensagens.

Para contornar este problema, Zyda [6] faz referência a uma camada de *software* que cria grupos de *Multicast* e mascara-os, ou seja, empacota-os em mensagens de *Unicasting*, fazendo com que estes possam trafegar livremente pela Internet, já que os pacotes de unidifusão não possuem a necessidade de roteadores específicos com suporte ao *Multicast*. Esta abordagem, conhecida como AOIM (Area Of Interest Management), poderia ser acrescentada ao módulo de rede *CybNetwork*, pois este possui o protocolo de *Multicast* já implementado. A forma como o AOIM é disposta na rede pode ser visualizada na Figura 3.

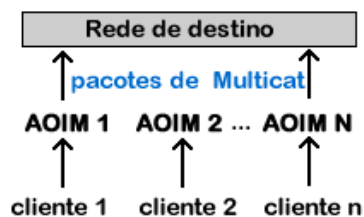


Figura 3 – Camadas de software AOIM [6].

Em relação ao segundo requisito de técnicas de *awareness*, nas colaborações encontradas no *CybCollaboration*, podem ser notados alguns identificadores básicos utilizados para que os usuários possam perceber uns aos outros na colaboração. Estes identificadores são feitos baseando-se na diferenciação de cores e tamanhos dos objetos interadores de cada usuário. Porém, tal modelo não é o suficiente para suportar a interação cooperativa. Como se pode identificar em outros *frameworks* [1,2], geralmente há um módulo à parte, exclusivo para a geração dos *awareness* do sistema. Assim, a medida que cada uma das etapas de interação for ocorrendo no momento da cooperação, faz-se necessário que o módulo de *awareness* dispare retornos visuais associados a cada

uma delas, para que o requisito de *feedback* das ações dos usuários seja suprido fazendo com que o usuário tenha consciência imediata das intenções dos usuários remotos com os quais está a cooperar. Por exemplo Bowman [2] subdivide a técnica de interação em quatro sub-componentes: a **Técnica de Seleção**, que trata do método de indicação do objeto a ser manipulado; a **Técnica de Acoplamento**, que especifica como se dá o acoplamento do interador ao objeto, a **Técnica de Posicionamento/Orientação**, que dita como o interador modificará a posição e orientação do objeto e por fim, a **Técnica de Liberação** que aborda a forma como o objeto é liberado.

Como suposição, poderia ser definido que a cada seleção em um objeto, o interador de um usuário mudasse de cor e houvesse uma indicação visual (ex: seta, círculo) a fim de informá-lo sobre o grau de liberdade que este estaria possibilitado a manipular. Também foi observado na arquitetura dos frameworks propostos por Margery [1] e Pinho [2], o uso de um módulo responsável pela combinação das ações, sendo este denominado pelo segundo trabalho como *Command Combiner*. Assim, é percebida a necessidade de integrar ao *CybCollaboration*, uma camada específica para a combinação das ações e forças aplicadas, no caso das cooperações hápticas, a fim de que este seja responsável pelo recebimento, ordenamento, processamento e divulgação de uma ação resultante a ser aplicada nas cópias de todos os clientes.

Por fim, vale salientar que um requisito importante para a combinação de tais forças é que o módulo responsável pela integração deve saber quando estas são ou não simultâneas. Do contrário, apenas haverá uma sucessão de movimentos elementares de cada usuário. Para atender a este requisito, podem ser utilizadas as equações definidas por Broll [4], que visam definir matematicamente quando diversos pedidos de manipulação são considerados concorrentes. Esta camada de software responsável pela combinação pode estar localizada em todas as cópias do AV, de forma replicada, ou pode ser disposta em um cliente central, que ficaria responsável por receber as solicitações de manipulação, avaliar quais são simultâneas e por fim, gerar uma transformação resultante ao objeto divulgando-a na rede. Por fim, pode ser observado na Figura 4, um modelo de comunicação baseado nos requisitos citados anteriormente.

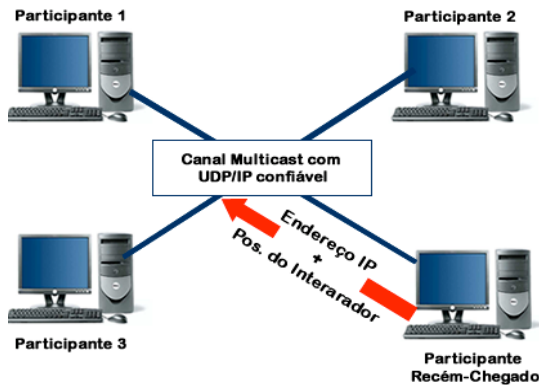


Figura 4 – Modelo de comunicação, utilizando grupos de Multicast, proposto ao CyberMed.

5. Considerações Finais

Este trabalho procurou relatar um estudo acerca da atual importância da colaboração, nos sistemas colaborativos de realidade virtual, em especial àqueles de simulação médica. Também, foram discutidos alguns conceitos já conhecidos na literatura, referentes à colaboração e as formas de interação individual e cooperativa. Nas formas de interação citadas, como a síncrona e a assíncrona, pôde-se notar como a divisão do processo interativo em sub-etapas, auxilia na execução e melhor compreensão por parte dos usuários em suas atividades cooperativas dentro de um AV. Por fim, foi apresentada uma análise dos recursos já suportados pelos módulos de colaboração e de rede do *framework* Cybermed e quais eles ainda não suporta, sendo realizada uma proposta de expansão para o módulo *CybCollaboration*.

6. Agradecimentos

Este projeto é financiado pelo CNPq através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Medicina Assistida por Computação Científica (Processo CNPq 181813/2010-6).

7. Referências

[1] D. Margery, B. Arnaldi, N. Plouzeau, (1999) “A General Framework for Cooperative Manipulation in Virtual Environments”, Springer, Vol.44, No. 7, pp. 79-85.

[2] M. Pinho, D. Bowman, C. Freitas, (2002) “Cooperative Object Manipulation in Immersive Virtual Environments: Framework and Techniques”, *Proceedings of the ACM VRST'02*, Hong Kong, pp. 171-178.

[3] R. Ruddle, J. Savage, D. Jones, (2002) “Symmetric and Asymmetric Action Integration During Cooperative Object Manipulation in Virtual Environments”, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Hong Kong, pp. 285-308.

[4] W. Broll, “Interacting in Distributed Collaborative Virtual Environments”, *IEEE VRAT'95 - Virtual Reality Annual International Symposium*, IEEE Computer Society Press, 1995, pp.148-155.

[5] Souayed, R. et al. “Haptic Virtual Environment Performance Over IP Networks: A case study”, *Proceedings of the Seventh IEEE DS-RT'03*, 2003.

[6] Singhal, S., Zyda, M., (1999) “Networked Virtual Environments: Design and Implementation”, *ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co*, New York, USA.

[7] Duval, T. et al, (2006) “SkeweR: a 3D Interaction Technique for 2-User Collaborative Manipulation of Objects in Virtual Environments”, *Proceedings of 3DUI'06*, Virgínia, USA, pp. 69-72.

[8] Machado, L. et al, (2008) “Desenvolvimento Rápido de Aplicações de Realidade Virtual Utilizando Software Livre”, *Livro de Minicursos do SVR'08*, pp. 5-33.

[9] Sung, M. Y. et al. (2006) “Experiments for a Collaborative Haptic Virtual Reality”, *Proceedings of IEEE ICAT'06*, Hangzhou, pp. 174-179.

[10] Basdogan, C. et al. (2000) “An Experimental Study on the Role of Touch in Shared Virtual Environments”. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 7, pp. 443-460.

[11] Sales, B.R.A.; Machado, L.S. (2010) "Interactive Collaboration for Virtual Reality Systems related to Medical Education and Training". *6th Int. Conf. on Tech. and Medical Sciences*. Porto. 2010 (no prelo).

[12] Nunes, F.; Machado, L.S.; Costa, Rosa M.E.M. (2009) RV e RA Aplicadas à Saúde. Book Chapter. In: Rosa Costa e Marcos Wagner. (Org.). *Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: SBC, pp. 69-89.