

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**UM DISPOSITIVO DE INTERAÇÃO EM AMBIENTES
VIRTUAIS DE VISUALIZAÇÃO**

ANDRÉ BENVENUTI TROMBETTA

Porto Alegre

2008

ANDRÉ BENVENUTI TROMBETTA

**UM DISPOSITIVO DE INTERAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS DE
VISUALIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Dr. Márcio Sarroglia Pinho

Porto Alegre

2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T849d Trombetta, André Benvenuti.
Um dispositivo de interação em ambientes virtuais de visualização /
André Benvenuti Trombetta. – Porto Alegre, 2008.
76 f.

Diss. (Mestrado) – Fac. de Informática, PUCRS.
Orientador: Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho

1. Informática. 2. Realidade Virtual. 3. Interação Homem-
Computador. 4. Visualização. 5. Processamento de Imagens. 6. Imagens
Médicas. I. Pinho, Márcio Sarroglia. II. Título.

CDD 006.6

**Ficha Catalográfica elaborada pelo
Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

TERMO DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação intitulada "**Um Dispositivo de Interação em Ambientes Virtuais de Visualização**", apresentada por André Benvenuti Trombetta, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Sistemas Interativos de Visualização, aprovada em 26/03/09 pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho -
Orientador

PPGCC/PUCRS

Profa. Dra. Soraia Raupp Musse -

PPGCC/PUCRS

Profa. Dra. Carla Maria Dal Sasso Freitas -

UFRGS

Homologada em 14/07/09, conforme Ata No. 12 pela Comissão Coordenadora.

Prof. Dr. Fernando Gehm Moraes
Coordenador.

PUCRS

Campus Central

Av. Ipiranga, 6681 - P32 - sala 507 - CEP: 90619-900

Fone: (51) 3320-3611 - Fax (51) 3320-3621

E-mail: ppgcc@pucrs.br

www.pucrs.br/facin/pos

Dedico esta dissertação aos meus pais,
sem o apoio deles nunca teria concluído
mais esta fase da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao Finep por prover o suporte financeiro para quase toda a extensão do meu mestrado, agradecer também à PUCRS por fornecer toda a infra-estrutura que permitiu o desenvolvimento da minha pesquisa. Também não poderia deixar de agradecer ao meu orientador Marcio Pinho por, claro, todo o suporte dado durante os dois anos de mestrado, mas também pela paciência nesse período, uma vez que não fui um orientando exemplar em termos de prazos.

Gostaria de agradecer também à minha família, afinal foi ela que teve que agüentar nos momentos de desespero por conta dos prazos. Em especial agradecer aos meus pais, que sempre me deram todo o suporte de que eu precisava, mesmo nos momentos mais difíceis onde existiu a possibilidade de ser forçado a desistir do mestrado.

Agradeço também ao GRV, o grupo o qual acompanhou minha jornada desde os tempos de iniciação científica. À todos meus colegas de trabalho o qual me aturaram por esses dois anos (alguns até um pouco mais), por algumas ideias que me salvaram em alguns momentos e algumas outras que me atrapalharam, e claro tenho que agradecer a eles por algumas sessões de jogatina, nada como matar zumbis para aliviar o stress.

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre as tarefas de interação contidas em sistemas de visualização de imagens médicas. Baseado nesse estudo, o desenvolvimento de um dispositivo de interação para ambientes imersivos de visualização de imagens médicas é proposto. Esse dispositivo agrega as vantagens do mapeamento direto das ações do usuário para interação em um ambiente virtual com um método para entrada de valores numéricos através de um sensor *multi-touch*. Como resultado foi constatado que, apesar dos usuários gastarem mais tempo com as tarefas de entrada de valores no ambiente virtual, o dispositivo apresentou uma precisão similar à obtida em um ambiente desktop.

Abstract

This paper presents a study of interaction tasks contained in medical imaging visualization systems. Based on this study, a device was developed for interaction in medical imaging visualization virtual environments. This device combines the advantages of direct mapping of the actions of the user to interact in a virtual environment with a method for input values through a multi-touch sensor. As a result, despite the users spend more time to complete the tasks in the virtual environment, in terms of accuracy the device was as effective as the desktop interface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Demonstração do conceito de reconstrução de um volume de dados	20
Figura 2 – Influência dos parâmetros de centro(c) e largura(w) na imagem	21
Figura 3 – Gráfico do gradiente (eixo y) pelos tons de cinza dos <i>voxels</i> (eixo x)	22
Figura 4 – Utilização do sistema de funções de transferência dinâmicas	23
Figura 5 – Efeito do plano de corte sobre o modelo	24
Figura 6 – Dispositivo utilizado em edições de vídeos, conhecido como <i>Jog-Wheel</i>	25
Figura 7 – Exemplo do resultado de segmentação	25
Figura 8 – Medições Realizadas em ambientes	26
Figura 9 – Exemplo de menu ocupando muito espaço do campo de visão.....	28
Figura 10 – Demonstração do usuário movimentando o modelo através de interface tangível.....	30
Figura 11 – Modo <i>Probe</i> em utilização	30
Figura 12 – A interação com a caneta (a) e a interação com o quadro (b).....	31
Figura 13 – <i>Eye of Ra</i> e suas duas modalidades, à esquerda como rastreador e à direita como caneta <i>stylus</i>	32
Figura 14 – Exemplo da deformação realizada com uma das ferramentas, a esfera	33
Figura 15 – Medição da distância através do uso de uma régua e do volume através de um copo.....	34
Figura 16 – Exemplo de <i>rendering</i> utilizando o software AMIDE.....	40
Figura 17 – Exemplo de <i>rendering</i> obtido através da biblioteca VolPack	41
Figura 18 – Exemplo de <i>rendering</i> do software DeskVox.....	42
Figura 19 – Exemplo de <i>rendering</i> através do software VolSuite	42
Figura 20 – Dispositivo de Interação	46
Figura 21 – Posicionamento da câmera no interior do dispositivo.....	47
Figura 22 – Indicação da posição dos botões no dispositivo de interação	48
Figura 23 – Menu do dispositivo	48

Figura 24 – Dedo do usuário rastreado	49
Figura 25 – <i>ThumbWheel</i> como exibida no dispositivo	50
Figura 26 – Movimentos de <i>zoom-in</i> e <i>zoom-out</i> para o ajuste da precisão da entrada de valores numéricos	50
Figura 27 – Função de transferência de opacidade sendo exibida no dispositivo....	51
Figura 28 – Utilização do plano de corte com o dispositivo, à esquerda é mostrada a interação durante a movimentação e à direita após a movimentação.....	52
Figura 29 – Imagem a ser tratada para detecção dos dedos do usuário e após o realizar o tratamento.....	53
Figura 30 – Imagem de referência posicionada na parede esquerda do AV	56
Figura 31 – Projeção do plano de corte, à esquerda como estava no início do desenvolvimento e à direita como ficou após a modificação	57
Figura 32 – Plano transparente que representa o corte atual, à esquerda como estava no início do desenvolvimento e à direita como ficou após a modificação	57
Figura 33 – Tela de controle do janelamento no ambiente <i>desktop</i>	59
Figura 34 – Gráficos de referencia para as funções de transferência	59
Figura 35 – Tela de controle das funções de transferência no ambiente <i>desktop</i>	60
Figura 36 – Imagens de referência do posicionamento do volume e do plano de corte	60
Figura 37 – Telas de controle da movimentação do volume e do plano de corte no ambiente <i>desktop</i>	61
Figura 38 – Gráfico das médias do tempo gasto pelas tarefas realizadas em cada ambiente.....	64
Figura 39 – Gráfico da média dos erros nas funções de transferência	66
Figura 40 – Gráfico das médias das notas de cada tarefa	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as ferramentas	43
--	----

SUMÁRIO

1. Introdução.....	17
2. Visualização de Imagens Médicas	19
2.1 Imagens Médicas	19
2.2 Técnicas de Interação em Ambientes de Visualização de Imagens Médica 19	
2.2.1 Definição da Janela da Imagem	20
2.2.2 Controle da Opacidade e das Cores	21
2.2.3 Reposicionamento do Volume	22
2.2.4 Controle do Plano de Corte	23
2.2.5 Segmentação de Regiões de Interesse	24
2.2.6 Medições no Modelo	26
3. Sistemas de Realidade Virtual para Visualização de Imagens Médicas	27
3.1 Ajustes de Parâmetros Numéricos	27
3.2 Manipulação do Volume de Dados.....	28
3.3 Exploração do Interior do Volume	29
3.4 Segmentação dos Volumes	31
3.5 Medições nos Volumes	33
3.6 Vantagens da Utilização de AVs	34
3.7 Desvantagens da Utilização de AVs	35
3.8 Utilização de dispositivos convencionais em AV	36
3.9 Requisitos para um Dispositivo de Interação em AVs.....	36
4. Ferramentas de Visualização	39
4.1 AMIDE.....	39
4.2 VolPack	40
4.3 DeskVox	41
4.4 VolSuite.....	41
4.5 Comparação das Ferramentas.....	42
5. Dispositivo de Interação	45
5.1 Estrutura Física	45

5.2	Menu de opções.....	47
5.3	Entrada de Dados Numéricos	49
5.4	Funções de Dragging em 2D	50
5.5	Manipulação do Volume e do Plano de Corte	50
5.6	Detalhes de Implementação.....	51
6.	Avaliação do Dispositivo de Interação.....	55
6.1	Testes Preliminares.....	55
6.2	Perfil dos Usuários	58
6.3	Tarefas	58
6.4	Protocolo de Testes	61
6.5	Teste Piloto	62
6.6	Testes e Resultados.....	63
6.6.1	Avaliação Objetiva.....	63
6.6.2	Avaliação Subjetiva.....	66
7.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	69
	Referências	71
APÊNDICE A	- Termo de consentimento livre e esclarecido.....	74
APÊNDICE B	- Protocolo de execução dos testes	75
APÊNDICE C	- Questionário pré-teste	80
APÊNDICE D	- Questionário pós-teste.....	81

1. Introdução

A reconstrução tridimensional de modelos a partir de imagens obtidas através de exames radiológicos, como por exemplo, tomografia computadorizada ou ressonância magnética, vem cada vez sendo utilizada com mais frequência por médicos como auxílio na detecção de patologias nos pacientes.

O recurso de reconstrução tridimensional dos órgãos do corpo humano, a partir destas imagens, está presente em grande parte das ferramentas de visualização de dados médicos para ambientes *desktop*. Esses ambientes também oferecem outros recursos para avaliação das imagens, tais como plano de corte, alteração de parâmetros da imagem, medições, etc.

O uso de Realidade Virtual (RV) para interação neste tipo de ambiente pode trazer alguns benefícios, como por exemplo, tornar mais intuitiva a manipulação do volume de dados tridimensional. Apesar de já existirem alguns estudos sobre a implementação das tarefas suportadas pelos ambientes de visualização de imagens médicas, tais como, maneiras de se controlar um plano de corte [QI05], métodos para se realizar medidas nos volumes [REI06], métodos de segmentação interativa [BOR06], etc., essa utilização ainda é pouco explorada. Uma das razões disto é o fato de que a utilização de interfaces puramente imersivas acarreta complicações para operações simples como, por exemplo, a entrada de dados textuais ou numéricos e a escolha de opções em menus [SER99]. Nestes casos a utilização de dispositivos convencionais, como mouse e teclado, para a entrada dos dados acarretaria perda da sensação de imersão por parte do usuário.

Neste sentido, este trabalho desenvolveu um dispositivo de interação que tem o objetivo de permitir a manipulação de dados médicos em ambientes imersivos. Foram abordadas tarefas interativas de perfil essencialmente tridimensional, como a manipulação do volume e do plano de corte, bem como tarefas de entrada de dados numéricos ou textuais com precisão. A idéia central é possibilitar que o usuário, de posse do dispositivo desenvolvido, possa realizar as duas classes de tarefas de forma simples e sem a quebra da sensação de imersão no ambiente tridimensional, mesmo quando se estiver fazendo uma tarefa essencialmente bidimensional.

Para atingir este objetivo, foi desenvolvida uma ferramenta que unificou o controle das funcionalidades tridimensionais com as bidimensionais. As tarefas

tridimensionais, como a manipulação do volume, são executadas de maneira simples, uma vez que o dispositivo possui um rastreador de posição para este tipo de controle. Para prover o suporte necessário para entrada de dados foi utilizada uma superfície sensível ao toque.

O capítulo seguinte apresenta um estudo sobre as principais tarefas interativas encontradas nos sistemas de visualização de dados médicos. Os sistemas que desempenham as tarefas comuns à ambientes de visualização de imagens médicas fazendo uso de realidade virtual são apresentados no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta um levantamento das principais ferramentas de visualização de dados médicos existentes, seguido de um estudo comparativo sobre as funcionalidades destes ambientes. No capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento do dispositivo e no capítulo 6 uma avaliação do mesmo. O texto finaliza com um capítulo de conclusões e possibilidade de trabalhos futuros.

2. Visualização de Imagens Médicas

Ambientes de visualização de imagens médicas tem como objetivo auxiliar médicos na tomada de decisões. Para fornecer este suporte, estas ferramentas precisam desempenhar diferentes tarefas que permitam uma exploração mais clara dos dados. Estas tarefas variam entre realizar modificações nas imagens, e aplicar técnicas de exploração de regiões de interesse (ROI – *Region of Interest*) da imagem. Neste capítulo é apresentada uma pequena introdução sobre imagens médicas e também são apresentadas algumas das tarefas utilizadas por ambientes de visualização.

2.1 Imagens Médicas

Neste trabalho são abordadas as imagens médicas que representam um conjunto de fatias do corpo, isso porque esse tipo de imagem permite que seja feita uma reconstrução tridimensional. Essas imagens podem ser obtidas através de exames como, por exemplo, tomografia computadorizada (CT) ou ressonância magnética (MRI). Os *pixels*, onde *pixel* é a menor parcela da imagem [FOL90], dessas imagens variam em uma escala de tons de cinza. Em imagens DICOM [DIC08], que é o formato de armazenamento padrão de equipamentos de aquisição de imagens médicas, os tons de cinza da imagem são representados em 12 bits, permitindo uma maior precisão para identificar a variação de tonalidades entre as diferentes estruturas do corpo.

A partir dessas imagens é possível reconstruir graficamente um modelo volumétrico do corpo humano. Esse modelo volumétrico nada mais é do que uma série de imagens 2D empilhadas que passam a idéia de um **volume**. A Figura 1 ilustra esse conceito de empilhar imagens para criação de um modelo volumétrico. A partir desse modelo podem ser realizadas operações sobre os *voxels*, análogo a *pixel* só que em relação a volumes [FOL90], de maneira que se possa visualizar os órgãos reconstruídos com mais clareza.

2.2 Técnicas de Interação em Ambientes de Visualização de Imagens Médica

Em imagens médicas as partes que compõe um órgão possuem tons de cinza semelhante. Assim, para se visualizar uma determinada região ou órgão do

corpo humano, é necessário que se realizem alguns ajustes nos parâmetros de exibição da imagem. Esses ajustes permitem que os órgãos de interesse sejam visualizados com mais clareza. Dentre os parâmetros utilizados para a geração dessas imagens destacam-se o janelamento, a opacidade e a cor.

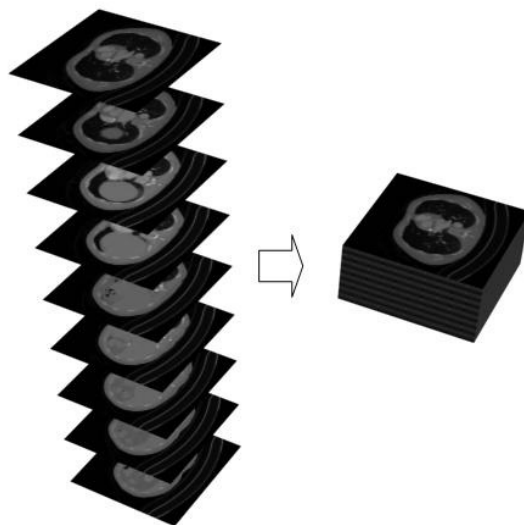


Figura 1 – Demonstração do conceito de reconstrução de um volume de dados.

2.2.1 Definição da Janela da Imagem

O **centro** e a **largura** da janela da imagem são parâmetros de importância para dar maior destaque a determinadas regiões do corpo humano. A alteração desses parâmetros implica na alteração de um “mapeamento” que é feito entre os tons de cinza existentes nas imagens DICOM e os tons de cinza que são apresentados para o usuário.

Nas imagens DICOM os tons de cinza são representados em 12 bits, e como em monitores convencionais (CRT, LCD, etc.) os tons de cinza são representados em 8 bits, existe a necessidade de se realizar esse mapeamento. O mapeamento realizado nada mais é do que a escolha de uma parcela dos tons de cinza da imagem original que será exibida com os 8 bits de tons de cinza representáveis.

A Figura 2 demonstra como a alteração dos parâmetros de janelamento influencia na exibição da imagem. Na parte superior da figura estão as imagens resultantes da alteração dos parâmetros. Os gráficos na parte inferior da imagem mostram a escala de tons de cinza que são representáveis pela aplicação (eixo y) e a intensidade dos tons de cinza dos *pixels* da imagem original (eixo x). A imagem

deste exemplo tem a intensidade de seus *pixels* variando de 0 a 170.

Na imagem central a janela foi definida com o centro em 85 e largura em 171, assim toda a escala de tons de cinza será utilizada para representar todas as intensidades dos *pixels* da imagem original. Na imagem à esquerda, a largura da janela foi reduzida. Com isso é possível aumentar o nível de detalhes da imagem uma vez que a escala de tons de cinza suportados pela aplicação tem de representar um número menor de tons de cinza pertencentes à imagem original. Já a imagem à direita teve o valor do centro alterado para 40 e a largura mantida em 171, com isto uma parte da escala de tons de cinza não está sendo utilizada para representar os tons de cinza da imagem original, mais precisamente a parcela correspondente às cores mais escuras, gerando, assim, uma imagem mais clara. Os valores centro e largura da imagem também são conhecidos como, respectivamente, brilho e contraste.

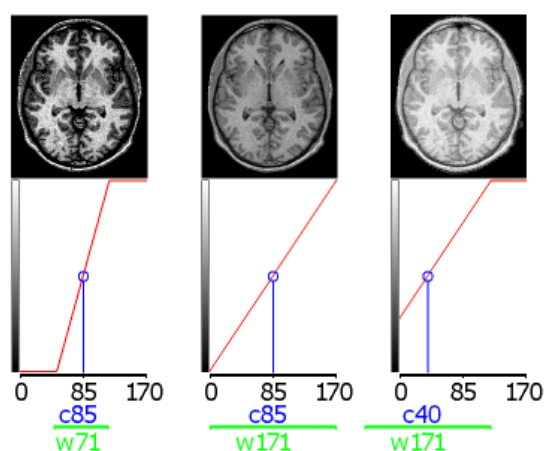


Figura 2 – Influência dos parâmetros de centro(c) e largura(w) na imagem
 Fonte: <<http://www.sph.sc.edu/comd/rorden/dicom.html>>.

2.2.2 Controle da Opacidade e das Cores

A **opacidade** é controlada através de **funções de transferência** que são aplicadas às imagens em uma etapa de pré-processamento. Estas funções agem sobre a imagem como filtros com o objetivo de definir regiões transparentes, semitransparentes ou totalmente opacas. A opacidade de cada *voxel* é definida por uma função que, dado o nível de cinza do *voxel*, calcula um valor de opacidade que pode variar de zero (totalmente transparente) a um (totalmente opaco).

As **cores** são atribuídas à imagem também por meio de funções de transferência. Algumas funções utilizadas para determinar opacidade também

podem ser utilizadas para determinar as cores, de maneira que cada valor de tom de cinza é mapeado para um valor RGB.

Em aplicações *desktop* as alterações das funções de transferência podem ser controladas através de interfaces *WIMP* (*Window Icon Menu Pointer*), nas quais o usuário pode especificar valores de cor e opacidade para cada intervalo de tons de cinza. Kniss [KNI02] apresenta uma forma diferente de se alterar as funções de transferência, tanto para opacidade, quanto para cores. A partir de um gráfico composto pelos tons de cinza (eixo x) e pelo módulo do gradiente (eixo y) de cada *voxels* do volume, o usuário pode definir dinamicamente quais cores representam quais intensidades (Figura 3). O gradiente é um vetor cuja direção indica os locais nos quais os níveis de cinza sofrem maior variação. O módulo desse vetor varia conforme a diferença entre os tons de cinza [PED06].

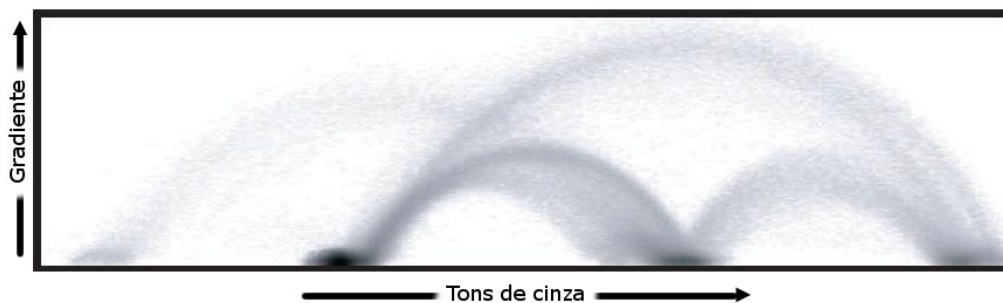


Figura 3 – Gráfico do gradiente (eixo y) pelos tons de cinza dos *voxels* (eixo x)
Fonte: [KNI02].

O resultado desse gráfico são nuvens de pontos, onde cada um desses pontos representa um *voxel*. Com isso é possível obter resultados como, por exemplo, determinar que os *voxels* que correspondem a osso encontram-se no canto inferior direito do gráfico. Isso porque ossos possuem uma tonalidade mais clara (valores mais altos de tom de cinza) e não variam muito entre si (valores baixos do módulo do gradiente).

Um exemplo dessa interface pode ser observado na Figura 4, onde, dado o gráfico das intensidades dos *voxels*, cada um dos triângulos são elementos criados pelo usuário para indicar qual cor será utilizada para os *voxels* contidos no triângulo.

2.2.3 Reposicionamento do Volume

Como as estruturas contidas no volume de dados representam objetos tridimensionais (órgãos do corpo humano), um ponto fundamental no processo de

interação com estes dados, é dar ao usuário a possibilidade para se visualizá-los de diversos ângulos. Para isso é necessário que o usuário possua uma forma de **manipular o modelo**. Como esta é uma tarefa que o usuário executa com frequência é necessário que ela seja de fácil utilização e não consuma muito tempo interação do usuário.

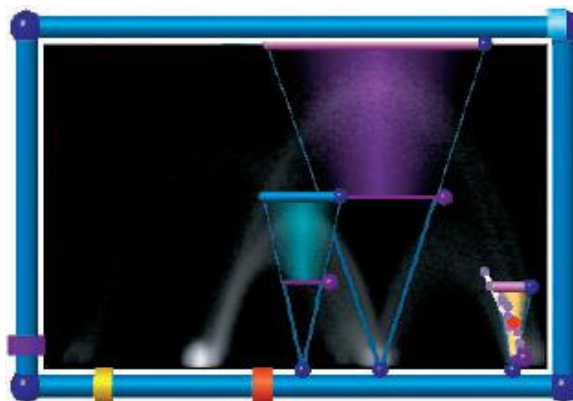


Figura 4 – Utilização do sistema de funções de transferência dinâmicas
Fonte: [PED06].

Para as aplicações *desktop* uma das formas de manipular do modelo é através de uma *Arcball* [SHO92] mapeada sobre o modelo. A *Arcball* é uma técnica para controlar a rotação de objetos tridimensionais através do mouse. A idéia é que existe uma esfera invisível envolvendo o modelo e quando o usuário movimenta o mouse sobre essa esfera ela gira, girando o modelo contido nela. O *software* VolVis [AVI94], por exemplo, utiliza esta técnica para manipulação do volume de dados.

2.2.4 Controle do Plano de Corte

Outra ferramenta de interação existente em ambientes de visualização que trabalham com modelos volumétricos é o chamado **plano de corte**. O Plano de Corte permite investigar estruturas internas do volume que está sendo visualizado. Basicamente, o usuário controla um plano que pode ser movido por dentro do volume e que permite visualizar o corte gerado pela intersecção deste plano com o volume.

Na Figura 5 pode ser observado um plano de corte aplicado a uma região do cérebro. Neste caso, um dos lados do volume cortado pelo plano fica ocluso, permitindo, assim, a visualização do interior do cérebro.



Figura 5 – Efeito do plano de corte sobre o modelo

Fonte: <<http://www.cs.montana.edu/~bnct/publications/cory/thesis.html>>.

A interação com esse plano pode ser realizada de diferentes formas em ambientes *desktop*. Rosset [ROS04], por exemplo, propõe o uso de um dispositivo utilizado para edição de vídeos, chamado *Jog-Wheel* (Figura 6), para realizar a interação com esse plano de corte. Com o *Jog-Wheel* o usuário seleciona qual dos eixos deseja movimentar o plano através dos botões. A partir disso, o usuário pode girar o plano sobre o eixo selecionado através da roda.

2.2.5 Segmentação de Regiões de Interesse

Existem casos onde é necessário que o usuário selecione determinadas regiões em um modelo volumétrico através de **segmentação de regiões de interesse**, as chamadas ROI. Existem diferentes métodos de segmentação, que variam da segmentação totalmente manual, na qual o usuário tem de especificar manualmente toda a região que tem interesse em separar das demais, até a segmentação totalmente automática, na qual o usuário deve apenas indicar que parte do corpo deseja selecionar e a aplicação determina a região. A Figura 7 exemplifica um dos resultados que pode ser obtido através do uso de segmentação nos modelos. Nesse caso, a partir de uma série de imagens da cabeça foi possível separar o osso dos demais tecidos, permitindo, assim, a geração de um modelo apenas com o crânio.

Porém, mesmo os métodos totalmente automáticos de segmentação podem não apresentar resultados precisos e, por isso, o usuário pode precisar refinar o resultado apresentado pela aplicação. Toennies [TOE97] apresenta uma técnica semiautomática para segmentação de modelos volumétricos através de interfaces

bidimensionais. Para o funcionamento dessa técnica o usuário deve especificar parâmetros para identificar o que ele deseja segmentar, como, por exemplo, o tom de cinza da região, e em seguida indicar com o mouse um ponto na sua tela. Esse ponto definido pelo usuário é a origem de um raio ortogonal ao espaço de coordenadas da tela do usuário. Os *voxels* pelo qual o raio passar, que possuam as características especificadas pelo usuário, serão utilizados como *voxels* iniciais para a segmentação da ROI. A partir de cada um dos *voxels* iniciais verifica-se se seus vizinhos também possuem as características especificadas pelo usuário, se possuírem esses *voxels* farão parte da ROI. Ao final do processo todos *voxels* que foram encontrados que atenderem às condições especificadas pelo usuário são exibidos para que o usuário avalie se a segmentação foi correta.

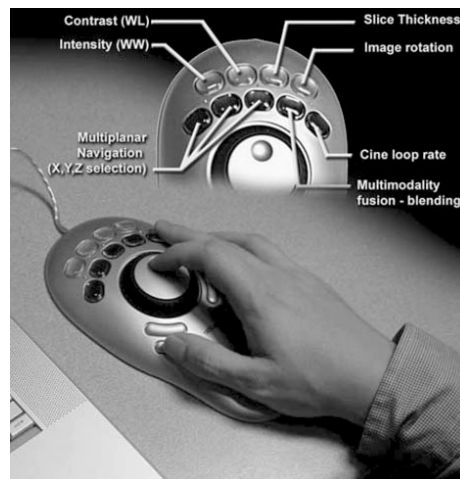


Figura 6 – Dispositivo utilizado em edições de vídeos, conhecido como *Jog-Wheel*
Fonte: [ROS04].

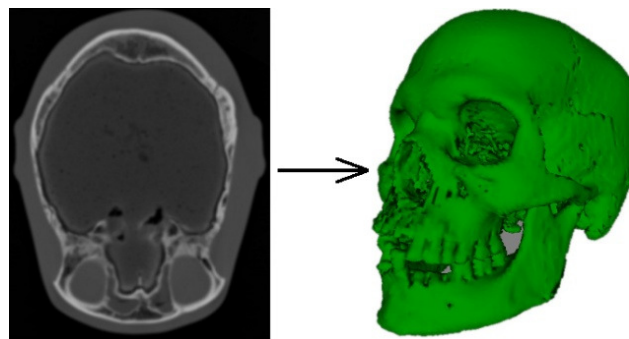


Figura 7 – Exemplo do resultado de segmentação
Fonte: <<http://campar.in.tum.de>>.

2.2.6 Medições no Modelo

Para realizar um melhor planejamento de uma cirurgia, pode ser necessário ter acesso não apenas a informações visuais. Pode ser importante obter **medições do modelo**, pois no momento da realização de um procedimento cirúrgico, o médico pode ter uma idéia mais clara de como executar o procedimento causando o menor dano possível aos tecidos, evitando, por exemplo, o corte de regiões saudáveis do paciente. Existem diferentes medidas que podem ser obtidas a partir de um modelo, dentre elas se destacam distância, área, volume e ângulo.

Preim [PRE02] mostra a implementação de algumas técnicas para realizar medições de distância, ângulo e volume em um ambiente *desktop*. Para isso ele utiliza diferentes *widgets* 3D, como pode ser visto na Figura 8a onde é apresentado o *widget* de volume, na Figura 8b o *widget* de distancia e na Figura 8c o *widget* de angulo. Esses *widgets* devem possuir cores distintas do resto da cena para facilitar sua visualização. Todas as medições realizadas pelo usuário no sistema podem ser salvas, e junto com a medida também é salva a orientação em que o usuário estava visualizando o modelo. As medidas podem ser realizadas tanto em uma visão tridimensional do modelo, quanto em uma visualização bidimensional.

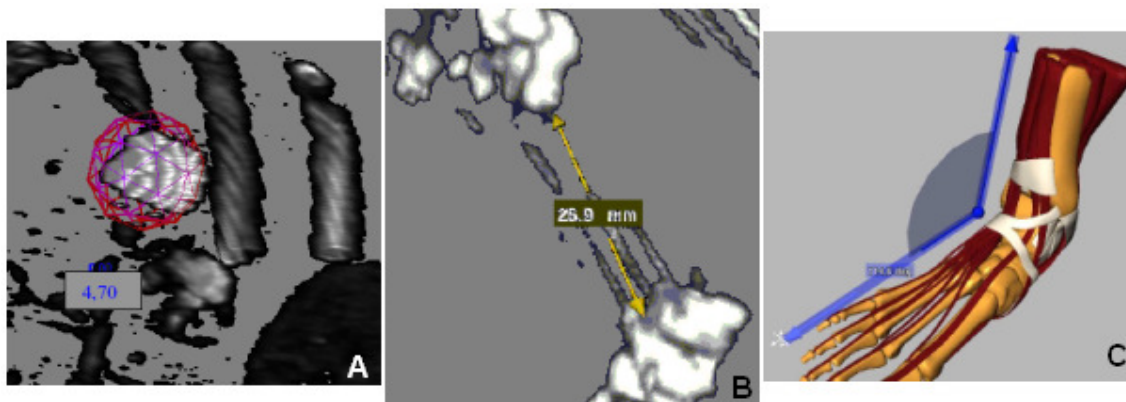


Figura 8 – Medições Realizadas em ambientes
Fonte: [PRE02].

3. Sistemas de Realidade Virtual para Visualização de Imagens Médicas

Neste capítulo serão apresentados trabalhos que tem como foco a visualização de imagens médicas em Ambientes Virtuais (AVs) imersivos. Nestes ambientes imersivos deve ser dada uma atenção especial quanto ao modo que as tarefas são realizadas, isso porque em AVs a interação com a aplicação é feita por meio de dispositivos não convencionais, ou seja, podem ser utilizados equipamentos como HMDs, luvas e rastreadores de posição. Como a maioria dos usuários está acostumada somente com métodos tradicionais de interação (por meio de teclado e mouse) é necessária uma avaliação cuidadosa do processo de interação com dispositivos de RV.

A utilização de dispositivos de RV pode trazer benefícios para a interação, como, por exemplo, a facilitação da manipulação de um objeto tridimensional através da utilização de um rastreador de posição. Isso porque os movimentos que o usuário realiza no mundo real são diretamente mapeados para o mundo virtual, fazendo com que o usuário tenha a impressão de estar manipulando um objeto real. Por outro lado, a interação com menus ou troca de parâmetros do sistema podem ser mais fáceis de realizar em ambiente desktop através de *mouse* e teclado.

Nas próximas seções são apresentadas algumas técnicas de RV utilizadas para executar as mesmas tarefas interativas descritas no capítulo 2, porém em AVs imersivos.

3.1 Ajustes de Parâmetros Numéricos

A entrada de parâmetros numéricos em sistemas de visualização de imagens médicas, como por exemplo, janelamento da imagem, valores das funções de transferência, entre outros, pode ser complicada de se apresentar em ambientes imersivos, uma vez que não se utiliza teclado.

A maior parte das aplicações em AV estudadas optou pelo uso de menus bidimensionais adaptados para AVs para realizar o controle desses parâmetros [WÖS02] [BOR06] [REI06] [SIL05] [SER97]. Estes menus também são utilizados para outras tarefas, como, por exemplo, abertura de um conjunto de imagens ou mesmo salvamento de alterações realizadas nos modelos.

Esses menus bidimensionais adaptados são versões dos clássicos menus encontrados em aplicações *desktop*. A interação com estes menus é feita através de um apontador controlado pelo usuário. Esses menus podem estar dispostos de diferentes formas para o usuário, tal como em uma região fixa de seu campo de visão ou preso a uma prancheta que o usuário possa segurar.

A utilização de menus bidimensionais adaptados para AVs trás para o usuário o benefício de ser um meio de interação com o qual ele está acostumado a lidar normalmente. Porém, mesmo apresentando-o todas as funcionalidades necessárias para interação, a utilização de menus bidimensionais adaptados pode causar efeitos indesejáveis como a oclusão de elementos importantes da visualização, como pode ser visto na Figura 9, onde o menu acaba ocupando quase todo o campo de visão do usuário.

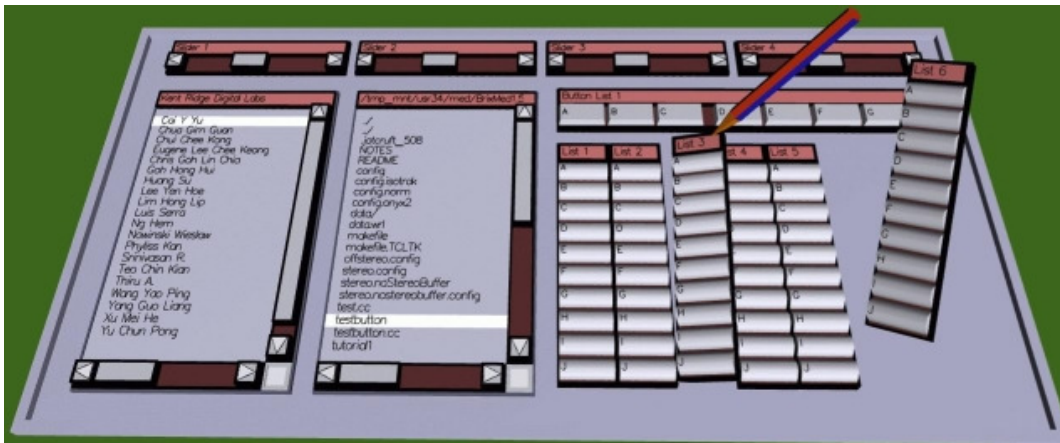


Figura 9 – Exemplo de menu ocupando muito espaço do campo de visão
Fonte: [SER99].

Para solucionar o problema de oclusão podem-se utilizar diferentes métodos para controlar os parâmetros da imagem. Por exemplo, pode-se utilizar um menu com um tamanho reduzido para que atrapalhe o menos possível o campo de visão do usuário. Outra solução é a apresentada por Wössner [WÖS02], onde além de utilizar uma interface adaptada, é utilizado um conjunto de gestos para controlar atributos da imagem, como por exemplo, o giro do pulso para controlar a quantidade de brilho do conjunto de dados.

3.2 Manipulação do Volume de Dados

Para realizar a movimentação do modelo em ambientes imersivos pode-se usar algum tipo de rastreamento de posição. Dentre os trabalhos avaliados foram

encontradas duas formas de se realizar a movimentação do modelo, uma utilizando um único rastreador para interação com toda a aplicação, e outra utilizando dois rastreadores, um dedicado à movimentação do modelo e outro para as demais tarefas de interação.

Nas aplicações que utilizam apenas um rastreador para controlar toda a interação é necessário que se realize uma operação intermediária para permitir a movimentação do modelo, por exemplo, alterar do modo de manipulação da interface para o modo de manipulação do modelo [WÖS02] [BOR06] [KNI04] [REI06] [SIL05]. Outra opção é deixar que a mão não-dominante controle a movimentação do modelo, diminuindo, assim, o tempo gasto com troca de operação e deixando a mão dominante disponível para realizar operações que exigem mais precisão [SER97].

Outra maneira de se manipular o volume é através de interfaces tangíveis. Qi [QI05] usa um cubo que o usuário deve manipular. Este cubo é rastreado e todos seus movimentos e rotações são diretamente mapeados para o modelo. Com isso o usuário tem um controle mais preciso de quais movimentos são necessários para colocar o modelo na uma posição desejada. Um exemplo do usuário interagindo desta maneira pode ser visto na Figura 10.

3.3 Exploração do Interior do Volume

Quanto à exploração do interior de modelos volumétricos uma das soluções existentes é a apresentada por Wössner [WÖS02]. Chamado de *probe*, esse método consiste em um cubo de visualização, o qual é controlado pelo usuário através de um dispositivo de rastreamento, que pode ser movimentado por dentro do modelo permitindo uma visualização de estruturas internas. Utilizando a técnica, apenas a região interna que está envolta pelo cubo de visualização é exibida para o usuário, deixando assim o resto do modelo oculto, como pode ser observado na Figura 11.

Ainda em termos de visualização de partes internas do modelo existe a possibilidade da utilização do plano de corte. Em AVs o controle deste plano pode ser feito através de um rastreador preso à mão do usuário ou a um objeto que está sendo manipulado por este usuário. Como o rastreador é capaz de capturar as informações de translação e rotação o usuário tem total controle sobre os movimentos realizados pelo plano [WÖS02] [BOR06] [SIL05] [SER97].

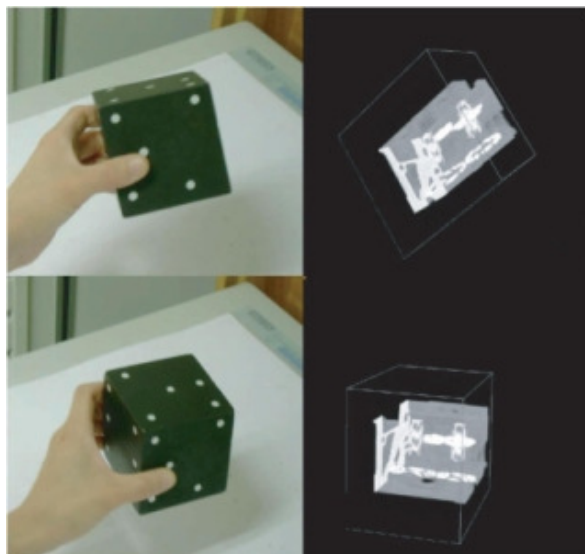


Figura 10 – Demonstração do usuário movimentando o modelo através de interface tangível
Fonte: [QI05].

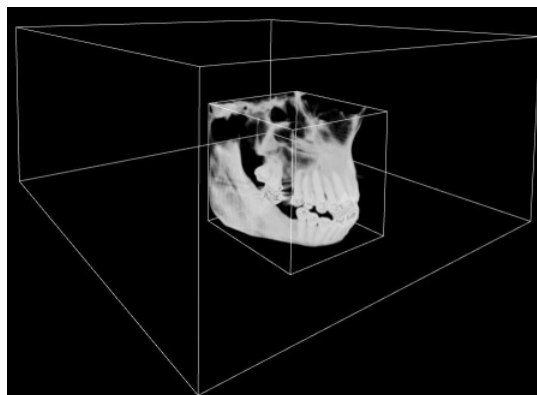


Figura 11 – Modo *Probe* em utilização
Fonte: [SCH01b].

Existem ainda outras formas de se controlar esse plano de corte. Qi [QI05], por exemplo, apresenta duas abordagens que utilizam objetos reais como uma caneta (Figura 12a) e um quadro (Figura 12b), que são rastreados. Segundo Qi a idéia de se utilizar a caneta para interação baseia-se no fato de que a maioria dos usuários já está acostumado a utilizar uma caneta como dispositivo de interação e também que, em trabalhos futuros, esta mesma caneta poderia ser utilizada para facilitar a criação de uma interface híbrida com elementos em 2D e em 3D. Apenas cinco graus de liberdade são capturados por esta caneta, isso porque o rastreamento óptico empregado não consegue capturar a rotação ao redor da caneta, e o plano de corte se localiza na ponta da caneta sendo perpendicular a orientação da mesma.

A terceira e última forma apresentada por Qi é a utilização de um quadro que tem seus movimentos rastreados com seis graus de liberdade. Segundo Qi, a utilização de um quadro para controlar o plano de corte facilita a interação para o usuário, uma vez que esse quadro se assemelha mais com o plano de corte que está sendo controlado.

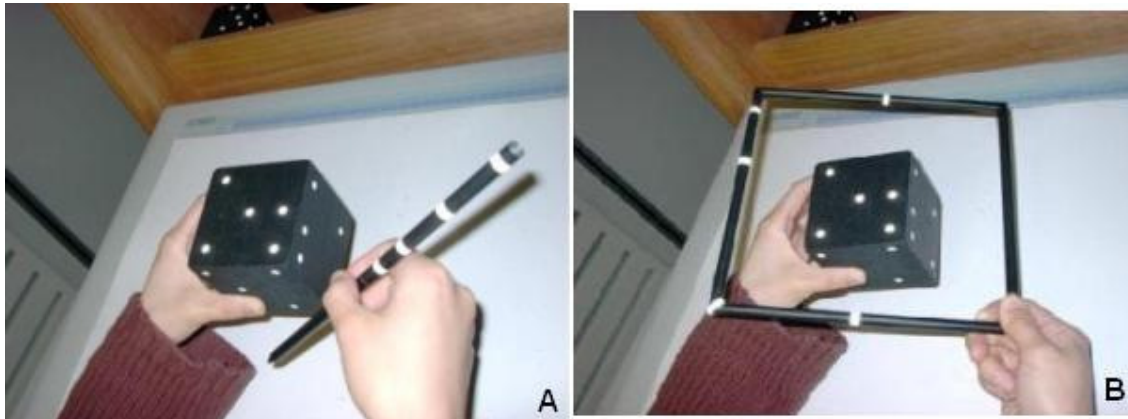


Figura 12 – A interação com a caneta (A) e a interação com o quadro (B)
Fonte: [QI05].

3.4 Segmentação dos Volumes

Quanto à segmentação de modelos volumétricos em AVs, Bornik [BOR06] apresenta uma aplicação que visa realizar um refinamento em estruturas internas de modelos já segmentados de maneira automática. Bornik faz uso de uma interface híbrida, composta de uma tela de projeção, *shutter glasses*, um *tablet pc* e um dispositivo desenvolvido pelo autor, chamado de *Eye of Ra*, que pode ser visto na Figura 13. Esse dispositivo possui duas funcionalidades: a primeira, de um rastreador de posição para realizar operações quando o usuário está interagindo com a tela de projeção; e a segunda, de uma caneta usada para realizar a interação com o *tablet pc*. A tarefa de refinamento da segmentação é dividida em três passos: a inspeção, a marcação e a correção dos erros. Ainda, existe um processamento inicial no qual a aplicação realiza uma segmentação automática. Essa segmentação automática gera uma superfície que servirá para todas as interações realizadas com o modelo.

A **inspeção do modelo** nada mais é do que uma tarefa de visualização dos dados, na qual o usuário pode manipular o objeto através do *Eye of Ra*, ou seja, utilizando-o como um rastreador de posição ou interagindo diretamente através da

interface disponível no *tablet pc*.

A tarefa de **marcação dos erros** cometidos pelo método de segmentação automático também pode ser desempenhada em ambas as interfaces e serve para determinar quais regiões necessitam de ajustes para segmentação. Para marcar uma região, o usuário deve pintar a superfície do modelo, tanto através da interface 3D, como da 2D. Se o usuário considerar que uma região está segmentada de maneira correta deve pintá-la com a cor verde. Se julgar que uma região não está corretamente segmentada, mas necessita apenas de pequenos ajustes, ela é pintada com a cor amarela e, finalmente, se a segmentação de uma região está bastante diferente do esperado, então a região é pintada com a cor vermelha.



Figura 13 – *Eye of Ra* e suas duas modalidades, à esquerda como rastreador e à direita como caneta *stylus*

Fonte: [BOR06].

O processo de **correção dos erros** também pode ser executado tanto via interface 2D como 3D. O usuário deforma a região segmentada apenas tocando a superfície com o *Eye of Ra* e deslocando a superfície formada pelo órgão segmentado. Para realizar esse deslocamento o usuário conta com opções como deslocar a superfície através de uma esfera, de um plano ou deslocar os pontos da superfície. Quando está utilizando a esfera para correção dos erros, o usuário pode determinar o seu raio para obter maior precisão na correção, pois ela é utilizada para melhor segmentar regiões curvas do modelo, como pode ser visto na Figura 14.

A utilização do plano tem como objetivo planificar regiões do modelo segmentado e, finalmente, o deslocamento dos pontos é recomendado para os lugares onde se deseja obter uma maior precisão do que está sendo segmentado, uma vez que se deve selecionar cada ponto e move-los para a posição desejada.

3.5 Medições nos Volumes

Para a realização de medidas em AVs, Reitinger [REI06] apresenta um estudo de métodos para medição em um fígado. O autor afirma ter escolhido este órgão em específico pois é o que apresenta mais irregularidades entre pacientes diferentes, e por isso é fundamental obterem-se medidas para um entendimento mais claro de como proceder durante um procedimento cirúrgico. Reitinger propõe três medidas a serem realizadas em sua aplicação: distância, volume e ângulo.

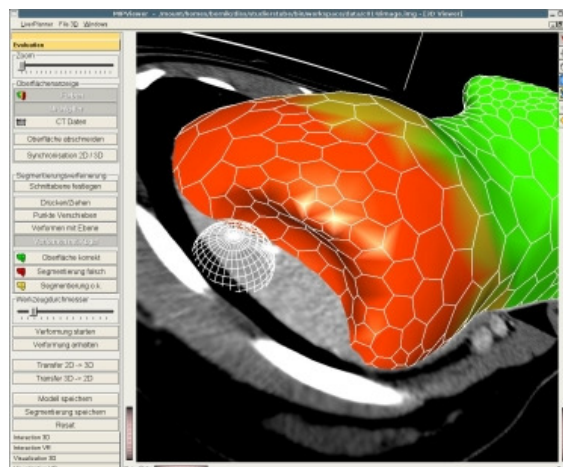


Figura 14 – Exemplo da deformação realizada com uma das ferramentas, a esfera
Fonte: [BOR06].

Para **medição da distância** são propostos três métodos: distância ponto-a-ponto, uma medição semi-automática e uma medição com o auxílio de uma régua. Para a distância ponto-a-ponto o usuário, que utiliza um rastreador de posição em forma de caneta, indica diretamente o ponto inicial e o final onde será realizada a medição. No método semi-automático, o usuário precisa apenas indicar a face inicial e final, e o sistema encarrega-se de achar a menor distância entre essas faces para realizar o cálculo. Para realizar medição com uma régua, é disponibilizada ao usuário uma régua real que ele deve levar até o objeto que deseja realizar a medida, como visto na Figura 15a, e o sistema encarrega-se de calcular a distância.

Para o **cálculo de volume** são dadas duas opções ao usuário. Na primeira, cálculo direto do volume, o usuário deve apenas especificar uma parte segmentada do modelo através do rastreador, que o sistema exibirá o volume desta área. A outra forma é através de um copo de medidas real, com o qual o usuário especifica uma região segmentada a ser medida e a leva até esse copo, assim, é exibido o volume do objeto (Figura 15b). Por fim, para realizar a medição de ângulos o usuário deve

especificar com a caneta rastreada um ponto inicial de onde dois vetores sairão, e, em seguida, dois outros pontos que correspondem a ponta dos vetores. A partir desses dois vetores a aplicação calcula o ângulo.

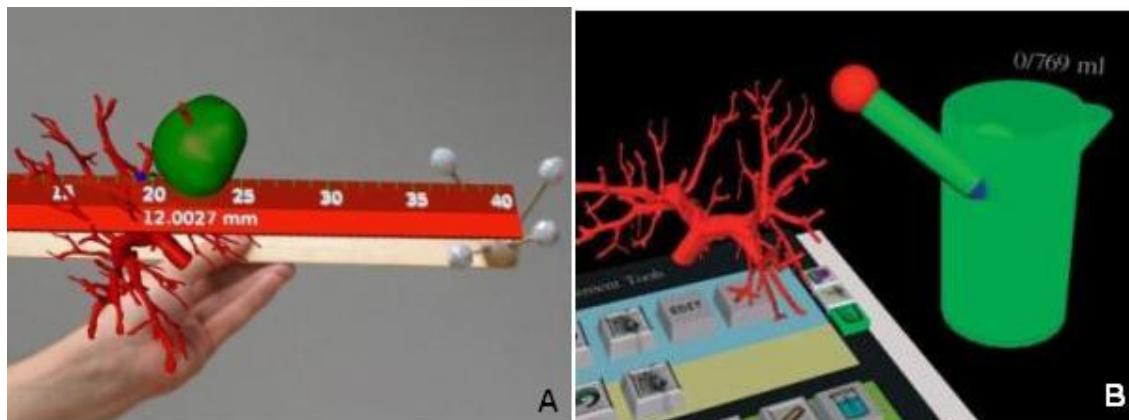


Figura 15 – Medição da distância através do uso de uma régua e do volume através de um copo

Fonte: [REI06].

3.6 Vantagens da Utilização de AVs

Como visto no capítulo 2 a análise das imagens médicas é feita através da inspeção de um conjunto de imagens 2D ou de um modelo 3D reconstruído a partir dessas imagens. De posse dessas informações o médico é capaz de diagnosticar uma doença ou realizar o planejamento de um procedimento cirúrgico. O capítulo 3 por sua vez apresentou exemplos de como AVs podem desempenhar as tarefas de interação e visualização de modelos reconstruídos.

A utilização de AVs para sistemas de diagnóstico por imagens pode trazer benefícios tanto para a visualização quanto para a interação com o modelo reconstruído. O usuário estando imerso em um AV tem mais facilidade em determinar as relações de tamanhos dos órgãos contidos no volume, uma vez que, diferente da análise baseada apenas em imagens bidimensionais, ele pode se movimentar livremente em volta do modelo para observá-lo de diferentes ângulos. Este recurso também possibilita retirar informações quanto a forma dos órgãos contidos no volume que está sendo analisado. Com esses recursos o usuário tem mais condições de realizar uma melhor avaliação sem que haja necessidade da realização de um procedimento cirúrgico invasivo no paciente [TOE97].

A utilização de um HMD em um AV traz vantagens quanto à visualização das informações que estão sendo exibidas. Através de um HMD que rastreie a

posição e orientação da cabeça do usuário é possível dar ao usuário um controle direto sobre o que será visualizado, além de tornar o controle dessa visualização mais intuitivo, uma vez que a mudança de um ponto de vista é feita com os movimentos da própria cabeça.

Nos AVs com o suporte ao rastreamento de posição, o usuário tem a possibilidade de realizar uma interação intuitiva. A partir de um rastreador de posição preso à mão do usuário, basta que ele realize um movimento ou rotação que estes serão mapeados diretamente para o AV, permitindo a interação natural com o volume de dados, como se o usuário estivesse interagindo com um objeto real.

3.7 Desvantagens da Utilização de AVs

Assim como a utilização de AVs pode trazer benefícios para uma aplicação também existem características destes ambientes que podem trazer problemas à interação do usuário. Como o ambiente utiliza dispositivos não convencionais, como por exemplo, rastreador de posição, HMD, etc., o usuário pode se sentir algum tipo de desconforto com a utilização do equipamento. O uso de dispositivos deste tipo também traz a necessidade de que o usuário trabalhe com técnicas específicas para os equipamentos utilizados, técnicas com as quais pode não estar familiarizado, dificultando assim seu desempenho na interação com o ambiente.

O uso de AVs também pode apresentar dificuldades para a representação de alguns recursos que são de uso comum em ambientes *desktop*. A exibição e seleção de menus do sistema, por exemplo, torna-se mais complicada uma vez que em ambientes *desktop* se utilizam apenas duas dimensões para representar os menus, já em AVs existe a adição da terceira dimensão [BOW05]. Esta dimensão a mais traz uma maior complexidade para seleção de uma opção, por exemplo, o usuário controla o mouse para selecionar a posição X e Y de uma opção, porém em um AV ele também deve se preocupar com a profundidade de onde essa opção se encontra em um menu no espaço (posição Z).

Outro problema da utilização de menus em AVs é que a exibição de um menu, por ser uma estrutura bidimensional, pode comprometer a noção de profundidade do AV, retirando assim uma das vantagens da utilização de um AV. Por exemplo, se for exibido um menu 2D que venha a ocupar todo o campo de visão

do usuário, como já mencionado na seção 3.1.

Outro problema comum em AVs é o processo de entrada de valores alfanuméricos [MIN95], isso porque o usuário não possui um dispositivo convencional para entrada dos dados, como um teclado para realizar interação.

Os equipamentos utilizados em AVs como rastreadores, HMDs, etc., possuem um custo mais elevado que os dispositivos convencionais, como mouse e teclado, por este motivo a construção de um AV que utilize esse tipo de dispositivo é menos comum do que os ambientes tridimensionais não imersivos. Além disto, dependendo do tipo de dispositivos que se está utilizando existe a complexidade envolvida na montagem da configuração, o que afeta a mobilidade do sistema, uma vez que a todo momento que se desejar deslocar o sistema para algum outro lugar será necessário desmontá-lo e remontá-lo no novo lugar, e com a montagem não sendo trivial é necessário tempo e alguém capacitado para a tarefa.

3.8 Utilização de dispositivos convencionais em AV

Como uma possível solução para os problemas apontados na seção anterior, poderia ser adotada a estratégia de utilizarem-se dispositivos convencionais como mouse e teclado. Entretanto, uma vez que o usuário esteja utilizando um HMD este fica impossibilitado de enxergar a localização destes dispositivos.

No caso de um teclado, por exemplo, para tornar seu uso possível seria necessário não só rastrear sua posição e orientação, mas também rastrear os movimentos de todos os dedos das mãos do usuário e exibi-los no HMD, pois nem todos os usuários são capazes de digitar sem olhar para o teclado [SU93].

O mouse também apresenta deficiências em seu uso em AVs, a primeira delas é a necessidade de uma superfície plana para que ele possa ser apoiado. Outro problema é a limitação de dois graus de liberdade para a interação. Mesmo existindo maneiras de se contornar essa deficiência, como por exemplo, a utilização combinada de botões ou de teclas, este dispositivo ainda se mostra inferior para interação em AVs se comparado a dispositivos criados especialmente para esta finalidade [SU93].

3.9 Requisitos para um Dispositivo de Interação em AVs

Para um dispositivo ser eficiente em um AV ele deve possuir algumas

características que tornam sua utilização simples. O primeiro objetivo do dispositivo tem que ser não só permitir a execução de uma tarefa, mas sim, facilitar a interação do usuário na execução da mesma.

Em aplicações de visualização, o dispositivo deve ser minimalista em termos do espaço ocupado no campo de visão do usuário, a fim de não desviar a atenção do objetivo principal da aplicação, que é visualizar o modelo ou imagem.

Como o usuário pode passar longos períodos de tempo operando o sistema é necessário que o dispositivo não cause desconforto enquanto está sendo utilizado. Se o dispositivo for desconfortável, por mais que ele possa a ser eficiente, o desconforto pode comprometer o desempenho. Por exemplo, se o dispositivo for pesado o usuário terá dificuldade de utilizá-lo por longos períodos de tempo.

As informações contidas ou apresentadas no dispositivo devem ser claras e de fácil entendimento. A intenção do dispositivo é facilitar a interação do usuário e a adição de uma série de comandos poderosos, porém complexos de se utilizar pode distrair o usuário, fazendo com que ele tenha que se concentrar mais para compreender o funcionamento do dispositivo do que para visualizar os dados de fato.

4. Ferramentas de Visualização

Como o objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que auxilie a interação com ambientes de visualização de imagens médicas em AV imersivos, foram estudadas quatro ferramentas que desempenham as tarefas básicas de *rendering* e entrada de valores. Para a seleção das ferramentas foram definidos os seguintes critérios: possibilidade de visualização da reconstrução 3D das imagens, capacidade de alterar os parâmetros do janelamento, e a possibilidade de se alterar as funções de transferência de cor e opacidade.

As ferramentas selecionadas para se realizar o estudo foram: *AMIDE* [AMI08], *VolPack* [LAC08], *DeskVox* [SCH01a] e *VolSuite* [VOL08].

4.1 *AMIDE*

AMIDE (*Amide's a Medical Imaging Data Examiner*) é uma ferramenta de código aberto desenvolvida em C/C++, que possui as operações básicas de uma aplicação de visualização de imagens médicas. Além da reconstrução do volume, possui recursos como o janelamento, ajuste das funções de transferência de cor e opacidade.

Uma característica interessante desta ferramenta é a existência de um conjunto de configurações pré-definidas para o janelamento de regiões específicas do corpo humano. Por exemplo, existe uma configuração que possui os parâmetros de janelamento que favorecem a visualização do fígado, isso para que o usuário não gaste tempo procurando quais os melhores valores para visualização do órgão.

A aplicação oferece também a possibilidade de definição de ROIs a partir de formas geométricas pré-definidas, incluindo caixa, esfera e cilindro. Para definir uma ROI o usuário deve especificar, através de entrada de texto ou comando de interface, o centro e as dimensões da forma geométrica escolhida. A partir da definição de ROIs a aplicação possibilita que o usuário realize medições quanto à intensidade dos tons de cinza contidos na ROI.

A aplicação também possui recursos para reconstrução tridimensional a partir das imagens. A qualidade do modelo gerado pode ser observada na Figura 16. A interação com esse modelo é feita através de uma *Arcball* ou de controles disponíveis na interface.

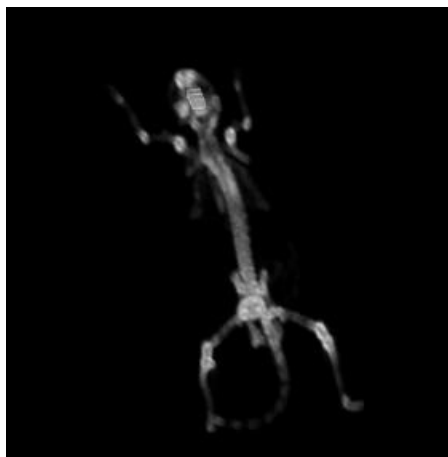


Figura 16 – Exemplo de *rendering* utilizando o software AMIDE
Fonte: [AMI08].

O desempenho do processo de *rendering* do volume é baixo, não possibilitando a movimentação do volume em tempo-real. Na visualização tridimensional também não está disponível a opção de controlar planos de corte para a exploração de estruturas internas do modelo. Isto se deve ao fato de que esta aplicação tenha grande parte de seus recursos voltados a visualização das imagens em 2D.

4.2 VolPack

Esta é uma biblioteca de código aberto, desenvolvida por Philippe Lacroute do laboratório de computação gráfica da universidade de Stanford, na linguagem de programação C/C++. O objetivo dessa biblioteca é o *rendering* rápido de modelos volumétricos de alta qualidade.

A biblioteca suporta a utilização de funções de transferência de cor e opacidade desenvolvidas pelo usuário. Porém não possui funções próprias para o tratamento das imagens, também não possui o tratamento para o janelamento das imagens.

O *rendering* do volume apresenta boa qualidade visual, como pode ser observado na Figura 17, e é gerado de forma rápida, permitindo a interação em tempo-real. A biblioteca também possui recursos que aumentam a qualidade do modelo como ajustes na iluminação do volume e a geração de sombras. A biblioteca não possui a implementação de planos de corte para o modelo gerado, deixando esta funcionalidade a cargo da implementação do usuário.



Figura 17 – Exemplo de *rendering* obtido através da biblioteca VolPack
Fonte: [LAC08].

4.3 DeskVox

DeskVox (*Desktop Volume Explorer*) é uma aplicação desenvolvida em conjunto pela Brown University e pela universidade de Stuttgart. A aplicação é de código aberto e foi desenvolvida em C/C++. Essa aplicação possui os recursos básicos para o ajuste de funções de transferência, de opacidade e cor, porém não possui meios de se alterar o janelamento das imagens.

O *rendering* do volume é feito em tempo-real e sua qualidade pode ser observada na Figura 18. Esta aplicação permite que o usuário controle um plano de corte para a visualização das estruturas internas do modelo. O controle desse plano de corte é feito através da interface por meio de *sliders* que controlam a translação do plano de corte ao longo de cada eixo cartesiano. A aplicação também permite a criação de uma ROI, que consiste em uma caixa cujo centro e as dimensões são definidos pelo usuário.

4.4 VolSuite

VolSuite é uma aplicação de código aberto desenvolvida em C/C++, e que tem como objetivo ser o mais portátil e extensível possível. Isto facilita tanto sua utilização quanto a modificação dos módulos já existentes na aplicação por outros desenvolvedores.

Esta aplicação disponibiliza meios de alterar o janelamento das imagens, e também de alterar as funções de transferência de cor e opacidade. Os valores podem ser alterados através de comandos de interfaces ou entrada direta dos

valores por comandos textuais.

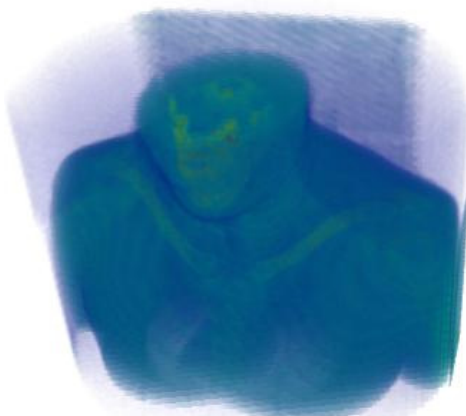


Figura 18 – Exemplo de *rendering* do software DeskVox
Fonte: [SCH01a].

O *rendering* do volume é feito em tempo-real e a qualidade da imagem gerada pela aplicação pode ser observada na Figura 19. A aplicação possui ainda a opção de se definir uma ROI que funciona de maneira similar à apresentada na aplicação DeskVox.

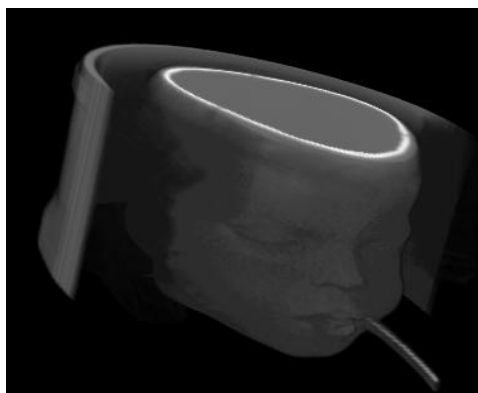


Figura 19 – Exemplo de *rendering* através do software VolSuite
Fonte: [VOL08].

Existe também a possibilidade de se definirem múltiplos planos de corte. Esses planos de corte podem ser ativados juntos ou em separado, dando ao usuário maior liberdade de interação.

4.5 Comparação das Ferramentas

A partir do estudo realizado com as ferramentas foi possível determinar qual delas satisfaz melhor as características necessárias. A Tabela 1 apresenta um resumo dos recursos que cada uma das ferramentas possui.

A aplicação AMIDE possui funcionalidades interessantes para o tratamento das imagens médicas. Porém optou-se por não utilizá-la pelo fato dela não possuir recursos básicos como o plano de corte no modelo tridimensional e também pela velocidade de *rendering* do modelo.

A biblioteca VolPack possui qualidade nos modelos gerados e é rápida em sua execução, mas não possui muitos recursos para o tratamento da imagem e também não possui implementação de planos de corte. Por estes motivos não foi escolhida para utilização neste trabalho.

A aplicação DeskVox possui funções de transferência, boa velocidade de *rendering* do volume e planos de corte já implementados. Porém não possui meio de se alterar o janelamento das imagens e por isso acaba não tendo todos os requerimentos necessários.

VolSuite foi a aplicação escolhida para servir de base para o desenvolvimento do trabalho. Além de possuir todos os recursos necessários (janelamento, funções de transferência de cor e opacidade, planos de corte e boa velocidade de *rendering*), ela possui a vantagem de ser facilmente extensível.

Tabela 1 – Comparação entre as ferramentas.

<i>Ferramenta</i>	<i>Plano de Corte</i>	<i>Funções de Transferência</i>	<i>Janelamento</i>	<i>Velocidade de Rendering</i>
<i>AMIDE</i>	Não possui	Possui	Possui	Baixa
<i>VolPack</i>	Não possui	Possui	Não possui	Alta
<i>DeskVox</i>	Possui	Não Possui	Não possui	Alta
<i>VolSuite</i>	Possui múltiplos	Possui	Possui	Alta

5. Dispositivo de Interação

Com base nos resultados da avaliação de ambientes de visualização de imagens médicas apresentada no capítulo 4, das características desejáveis de um AV voltado à visualização de dados médicos, apresentadas no capítulo **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a seguir é apresentado o projeto e o desenvolvimento de um dispositivo para interação com dados médicos (volumétricos) em um ambiente virtual imersivo.

O foco do projeto foi desenvolver novas técnicas de interação para a realização das principais tarefas inerentes aos ambientes de visualização de dados médicos, descritas na seção 2.2. Permitindo que sejam realizadas tarefas 3D ou 2D, mantendo a interação uniforme e sem perda da sensação de imersão.

Utilizando-se os algoritmos de visualização da ferramenta **VolSuite**, cuja escolha foi justificada na seção 4.5, foi desenvolvido **um dispositivo de interação**. Esse dispositivo é capaz de servir tanto às interações tridimensionais da aplicação, tais como a movimentação do plano de corte ou do volume de dados, quanto à entrada de parâmetros numéricos, como por exemplo, alteração dos valores do janelamento ou o controle da opacidade dos *voxels* do volume de dados.

O objetivo foi executar toda a aplicação em um ambiente imersivo com o usuário fazendo uso de um capacete de VR (HMD) e controlar a interação somente com técnicas que utilizassem este dispositivo, que está nas mãos do usuário. A idéia é aliar as facilidades de manipulação 3D trazidas por um dispositivo do tipo rastreador de posição, às potencialidades de um dispositivo sensível ao toque para a entrada de dados.

Detalhes deste dispositivo são apresentados a seguir.

5.1 Estrutura Física

O dispositivo criado consiste de uma caixa de acrílico opaco com alças laterais conforme a Figura 20. Na parte superior da caixa existe uma superfície sensível ao toque simultâneo de múltiplos dedos, chamada a partir daqui de **sensor multi-touch** (Figura 20A). Como prolongamento desta superfície existe a área utilizada para um menu de opções.

As alças laterais foram adicionadas para que o usuário tivesse maior

facilidade para manipular o dispositivo, isso porque ele tem a opção de realizar diferentes operações com o mesmo, e algumas delas poderiam tornar-se difíceis se estas alças não existissem.

Para a manipulação do dispositivo no AV foi preso um rastreador de posição na lateral direita da caixa. Este rastreador permite que um modelo virtual da caixa (Figura 20B) seja exibido ao usuário dentro do AV.

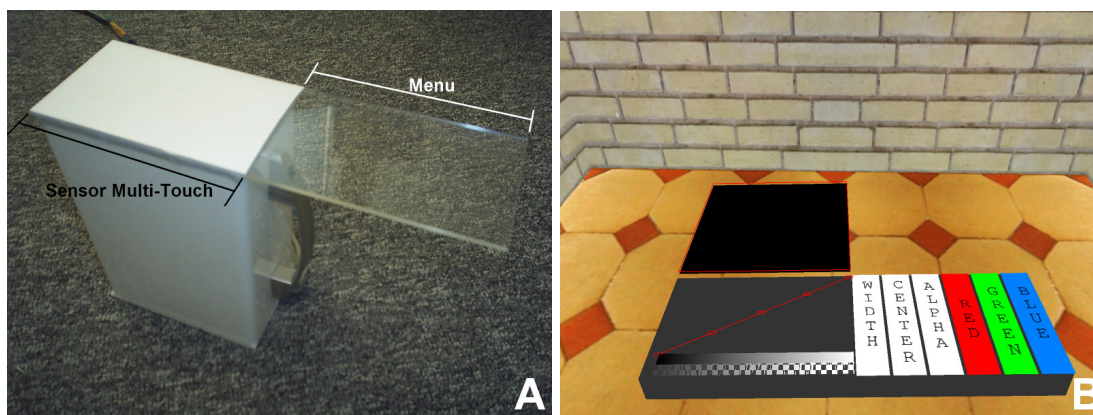


Figura 20 – Dispositivo de Interação.

O formato de uma caixa foi adotado em função do modo como é feito o rastreamento dos dedos na superfície *multi-touch*. Para realizar esse rastreamento é utilizada uma câmera que se encontra dentro da caixa na parte inferior e, dado o ângulo de visão da câmera, para que esta “enxergue” toda a superfície que captura os movimentos dos dedos é necessário que haja uma distância mínima entre a câmera e esta superfície. No caso, a câmera utilizada no dispositivo é uma QuickCam Pro para Notebooks da empresa Logitech¹. Para uma superfície com dimensões de 13 cm por 8 cm foi determinado empiricamente que a distância mínima deveria ser de 18 cm. Na Figura 21 pode-se observar um desenho esquemático do posicionamento da câmera dentro da caixa.

A forma de construção desta superfície *multi-touch* teve como base o projeto MiniMT desenvolvido pelo *Natural User Interface group* [NUI08], no qual o objetivo é a construção de um sensor *multi-touch* eficiente e de baixo custo.

Foi adotada a solução de utilizar o projeto MiniMT para construção do sensor *multi-touch* devido à indisponibilidade de uma superfície *multi-touch* profissional

¹ <www.logitech.com>

semelhante à de um iPhone², Surface³ ou EEE PC 900⁴, que caso existisse, seria possível reduzir o tamanho do dispositivo.

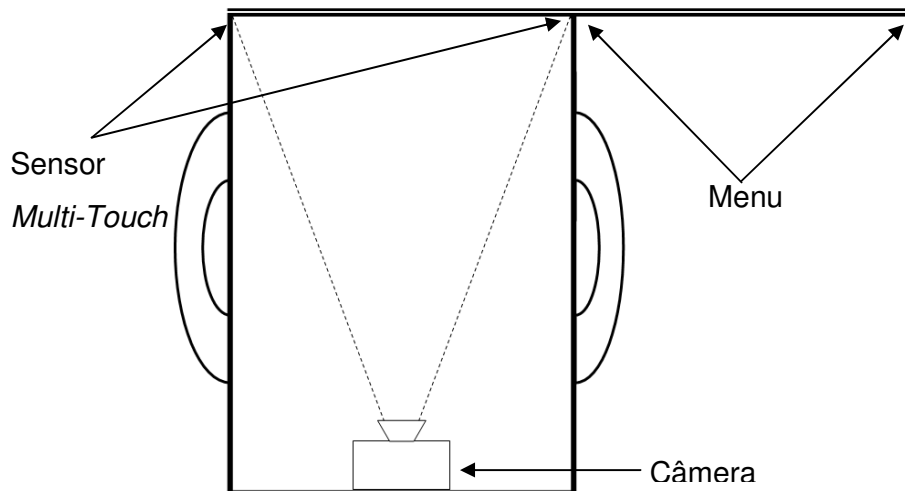


Figura 21 – Posicionamento da câmera no interior do dispositivo.

Implantado em cada uma das alças laterais da caixa existe um botão, conforme a Figura 22. Esses botões permitem que o usuário acesse os modos de interação do ambiente virtual, quais sejam:

- Seleção das opções do menu;
- Manipulação do modelo;
- Manipulação do plano de corte.

5.2 Menu de opções

A fim de permitir que o usuário selecione quais parâmetros estará alterando através do sensor *multi-touch* foi disponibilizado um menu para seleção das opções. Esse menu é exibido à direita da superfície *multi-touch*, conforme mostra a Figura 23. As opções disponíveis no menu referem-se às operações de janelamento (center/width) e de controle das funções de transferência(alpha/red/green/blue).

² <www.apple.com/iphone>

³ <www.microsoft.com/surface>

⁴ <www.asus.com>

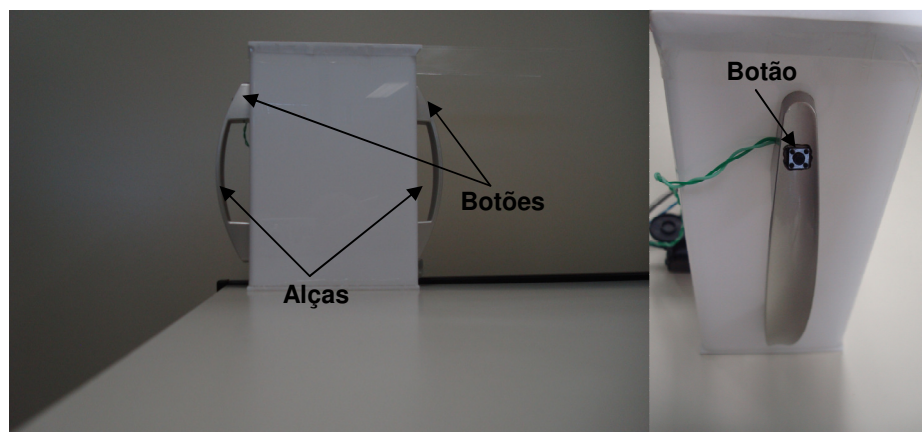


Figura 22 – Indicação da posição dos botões no dispositivo de interação.

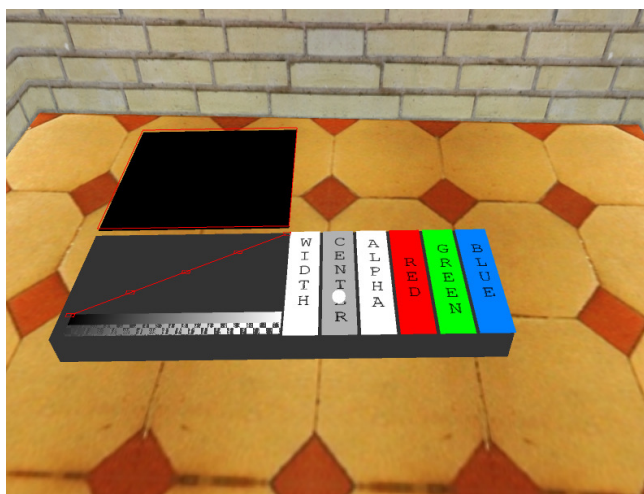


Figura 23 – Menu do dispositivo.

Para realizar o apontamento de uma funcionalidade do menu, o usuário deve apenas apontar com o dedo indicador da mão direita, no qual é instalado um rastreador de posição, a opção que deseja selecionar (Figura 24).

A fim de facilitar o apontamento de uma opção de um menu no AV, são providos ao usuário alguns tipos de *feedback*. Durante o apontamento, uma pequena esfera é exibida na posição relativa ao dedo do usuário que está com o rastreador, e a opção que está prestes a ser selecionada é destacada através de uma cor, como forma de prover um *feedback* visual ao usuário. Além disto, um *feedback* tátil é dado pela utilização de uma superfície plana rígida (de acrílico) que se estende à direita área da superfície *multi-touch* e que serve como apoio físico para o dedo durante o movimento de apontamento.

A escolha efetiva da opção é feita pelo pressionamento do botão que se localiza na alça esquerda da caixa. Após a seleção, a opção correspondente será

exibida sobre o sensor *multi-touch* para que o usuário realize a modificação desejada.



Figura 24 – Dedo do usuário rastreado.

A decisão de não se colocar o menu sobre o sensor *multi-touch* foi tomada para que o usuário tivesse disponível, de forma simultânea no dispositivo, a opção atual (janelamento ou função de transferência) e o menu de seleção. Isto visa também diminuir o esforço cognitivo do usuário, evitando a adição de mais um modo ao dispositivo, como um modo de seleção de opções e um modo de alteração de parâmetros.

5.3 Entrada de Dados Numéricos

Quando uma das opções para **alteração dos parâmetros do janelamento** (Center/Width) é selecionada, é exibido um *ThumbWheel* (botão circular giratório) na superfície *multi-touch*, conforme a Figura 25. O usuário poderá então selecionar o valor desejado para o parâmetro movendo o *ThumbWheel* para direita, para aumentar o valor, ou para esquerda, para diminuir o valor. O valor atual deste parâmetro é sempre exibido sobre a superfície *multi-touch*.

Caso o usuário deseje alterar o nível de precisão da entrada dos valores, ou seja, o quanto o valor se altera à medida que o *ThumbWheel* é movido, o usuário deve realizar um movimento de *zoom-in* para aumentar o valor do passo com que o *ThumbWheel* se move. Este movimento consiste em tocar simultaneamente dois dedos juntos no sensor *multi-touch* e separá-los (Figura 26A). Em oposição a este movimento existe o de *zoom-out* para diminuir o valor do passo. Para executá-lo o usuário toca simultaneamente dois dedos separados no sensor *multi-touch* e os

aproxima (Figura 26B).

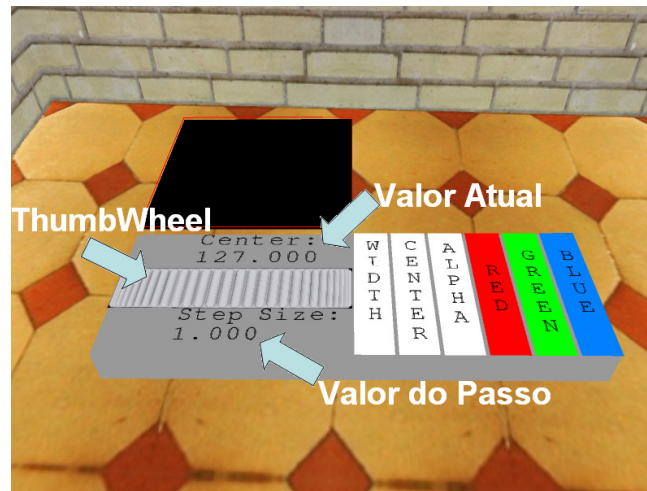


Figura 25 – *ThumbWheel* como exibida no dispositivo.

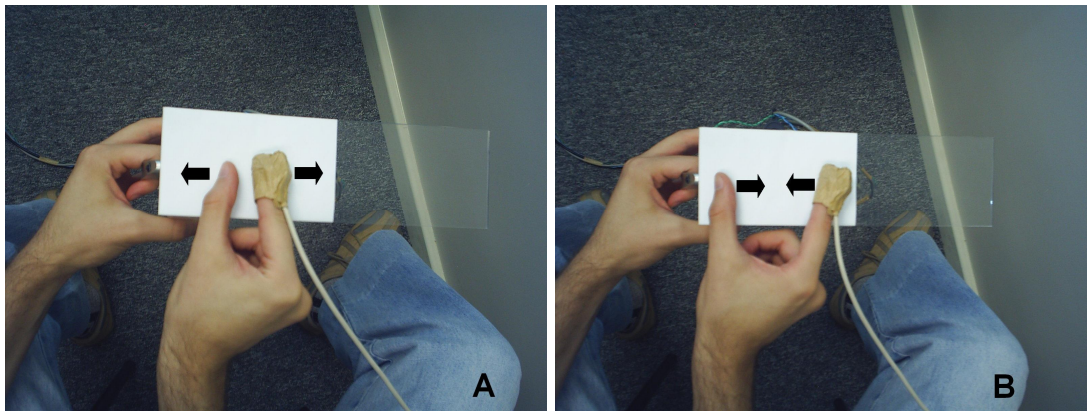


Figura 26 – Movimentos de *zoom-in* e *zoom-out* para o ajuste da precisão da entrada de valores numéricos.

5.4 Funções de Dragging em 2D

Quando o usuário selecionar a opção para **alterar a função de transferência de cor** ou de **opacidade**, o gráfico correspondente à função escolhida será exibido sobre o sensor *multi-touch*. No exemplo da Figura 27 observa-se o gráfico da função para alteração do alpha. Para alterar os valores das funções de transferência o usuário deve apenas tocar com o dedo sobre os pontos de controle e movê-los pelo gráfico.

5.5 Manipulação do Volume e do Plano de Corte

A manipulação do plano de corte é ativada quando o usuário pressiona e segura o botão que se encontra na alça direita do dispositivo. Enquanto o usuário

mantiver o botão pressionado o modo de manipulação do plano de corte estará ativo e será exibido, logo acima da superfície *multi-touch*, um quadrado semitransparente, conforme a imagem Figura 28A. Como este quadrado segue todos os movimentos do dispositivo, para posicionar o plano o usuário deve apenas levar esse quadrado semitransparente para posição desejada em relação ao volume e liberar o botão direito. Com isso, no lugar do plano semitransparente, é exibida a imagem correspondente ao plano selecionado (Figura 28B).

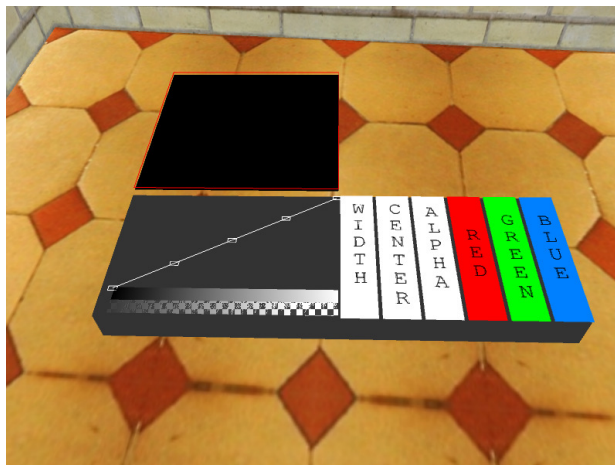


Figura 27 – Função de transferência de opacidade sendo exibida no dispositivo.

A manipulação do volume de dados é feita de maneira similar à manipulação do plano de corte. Para ativá-lo usuário deve pressionar e manter pressionados ambos os botões do dispositivo.

Enquanto o usuário estiver no modo de manipulação do volume todos os movimentos (translações e rotações) realizados com o dispositivo serão diretamente mapeados para o volume. No momento em que o usuário deixar o modo de manipulação, soltando os botões, o volume manterá sua a última posição.

5.6 Detalhes de Implementação

O primeiro passo para o desenvolvimento da aplicação foi a adaptação da ferramenta escolhida, no caso o VolSuite. A partir desta ferramenta foi extraída a biblioteca que controla apenas a parte de carga de arquivos e *rendering* de volume que é a OSCVR (*Ohio Supercomputer Center Volume Rendering library*).

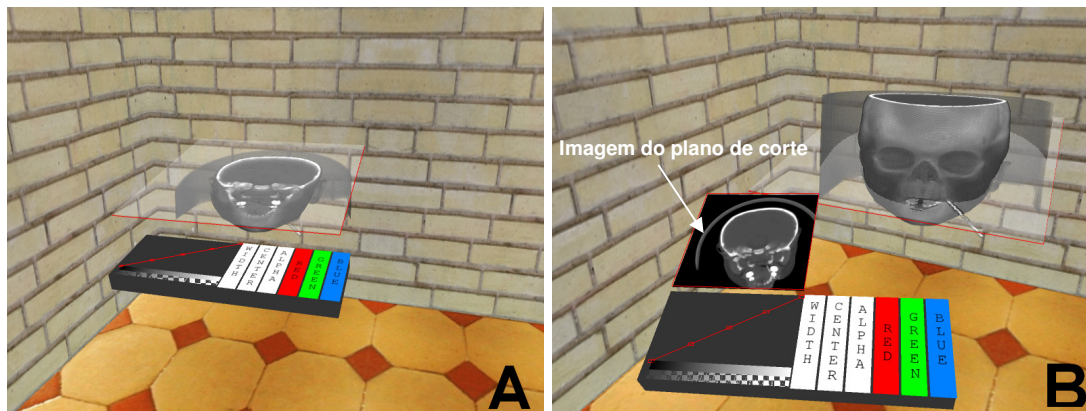


Figura 28 – Utilização do plano de corte com o dispositivo, à esquerda é mostrada a interação durante a movimentação e à direita após a movimentação.

Porém como algumas das funcionalidades dessa biblioteca estão focadas para o desenvolvimento de aplicações *desktop* algumas modificações tiveram de ser feitas para que essas funcionalidades pudessem ser utilizadas no AV implementado. As alterações realizadas foram no controle das funções de transferência, isso porque as classes da biblioteca, que controlavam as funções de transferência, estavam orientadas para utilização em conjunto com eventos gerados por um mouse, logo foi necessária a alteração de alguns trechos de código para que a biblioteca tivesse suporte também à ambientes com qualquer tipo de dispositivo.

Para o desenvolvimento do sensor *multi-touch* inicialmente foi pensado em se adquirir um produto comercial para utilizar junto ao dispositivo, pois isso poderia poupar tempo de implementação e adaptação, uma vez que já poderiam existir *drivers* prontos para o sensor. Porém, por questões como custo e dificuldade para se adquirir um produto optou-se por outra solução.

A solução escolhida foi a de utilizar uma câmera para rastrear a posição dos dedos através da biblioteca TouchLib [NUI08]. Esta é uma biblioteca que utiliza um método chamado Iluminação Difusa. No caso do dispositivo criado, existe a câmera dentro da caixa que filma uma região transparente coberta por um papel, esse papel atua como difusor da luz externa, gerando assim imagens como na Figura 29A para ser realizado o processamento para detecção dos dedos, após o tratamento é gerando uma imagem resultante como na Figura 29B. Para o funcionamento correto deste sensor é necessário que exista uma fonte de iluminação constante sobre a superfície coberta pelo papel.

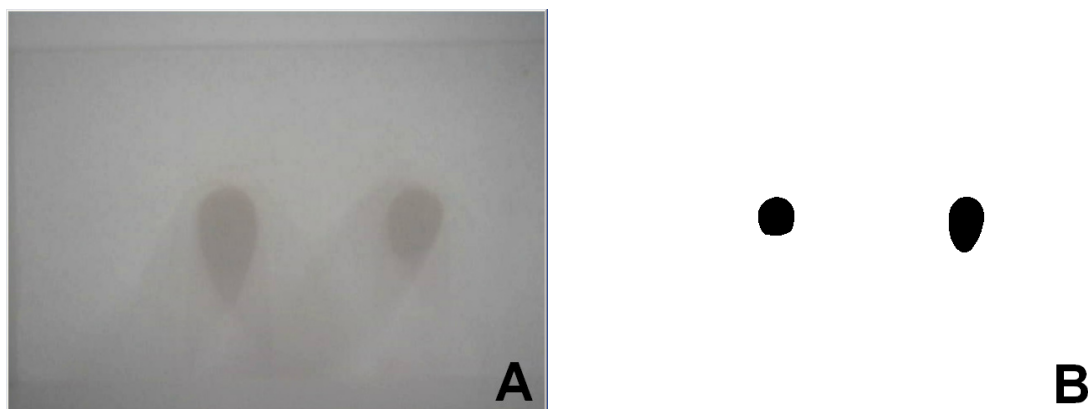


Figura 29 – Imagem a ser tratada para detecção dos dedos do usuário e após o realizar o tratamento.

Após a captura da imagem a biblioteca aplica alguns filtros sobre ela, até que a imagem resultante seja apenas a marca de onde os dedos do usuário encostam sobre a superfície. A partir desta imagem resultante as marcas dos dedos capturados são rastreadas, permitindo assim rastrear diferentes dedos e suas respectivas posições. Essa biblioteca possui a vantagem de que todo esse processamento é realizado em uma *thread* separada, permitindo que a aplicação não fique limitada à velocidade da taxa de captura da câmera utilizada, em geral trinta quadros por segundo. Uma vez que as bibliotecas de *rendering* de volume e do sensor *multi-touch* estavam funcionais o passo seguinte foi a integração dessas duas bibliotecas. O sensor *multi-touch* ficou responsável por todo o controle da alteração dos parâmetros do janelamento e das funções de transferência.

Para a seleção das funcionalidades do dispositivo existem dois botões, localizados um em cada uma das alças da caixa. O controle desses botões é feito através de uma placa paralela. Essa placa tem a capacidade de controlar o estado de até cinco botões. Para leitura do estado dos botões uma *thread* distinta a aplicação fica continuamente verificando o estados dos botões e repassando esta informação para a aplicação.

6. Avaliação do Dispositivo de Interação

Para realizar uma avaliação sobre a efetividade do dispositivo criado foi realizada uma avaliação empírica com uma amostra de 12 usuários.

Os testes foram realizados em dois ambientes: o AV deste trabalho que faz uso do dispositivo criado e o ambiente VolSuite, descrito na seção 4.4. Isto foi feito com o intuito de avaliar a efetividade do dispositivo criado em relação às técnicas interativas já tradicionalmente utilizadas para ambientes de visualização de imagens médicas

Para a avaliação foram definidas as seguintes hipóteses:

- [H1] O sensor *multi-touch* é capaz de permitir a entrada de valores numéricos em AVs de visualização de imagens médicas de forma tão precisa quanto as técnicas usadas em ambientes desktop;
- [H2] Os usuários irão preferir manipular o volume e o plano de corte através do dispositivo;
- [H3] Os usuários irão preferir realizar a alteração dos parâmetros de janelamento e das funções de transferência no ambiente *desktop*;
- [H4] Os usuários levarão menos tempo, no AV, para realizar as tarefas de posicionamento (do volume e do plano de corte);
- [H5] Os usuários levarão mais tempo, no AV, para realizar as tarefas de alteração dos parâmetros de janelamento e das funções de transferência.

6.1 Testes Preliminares

Para que o dispositivo, o ambiente desenvolvido e o roteiro dos testes apresentassem a menor quantidade de erros, alguns testes preliminares foram realizados.

De um primeiro estudo informal de usabilidade participaram dois usuários especialistas com conhecimento em AVs e técnicas de interação. O objetivo desse estudo foi apontar quais melhorias podiam ser feitas para que o sistema se tornasse mais amigável ao usuário. A partir desse estudo algumas características do dispositivo e do ambiente puderam ser alteradas para que o usuário tivesse uma

maior facilidade ao interagir com o AV.

Quanto ao ambiente virtual foi decidido colocar o usuário dentro de uma sala virtual, de maneira que ele tivesse uma melhor percepção do posicionamento espacial dos objetos a sua volta. Também foi decidido colocar um painel na parede à esquerda do usuário com as informações correspondentes ao teste que ele estivesse realizando, como por exemplo, na Figura 30 onde é exibida a imagem de referência do posicionamento do volume.



Figura 30 – Imagem de referência posicionada na parede esquerda do AV.

Inicialmente, a área reservada para a exibição da imagem obtida com o plano de corte era exibida com uma dimensão grande em relação ao tamanho do objeto virtual que representava o dispositivo (Figura 31A) com o objetivo de permitir que o usuário observasse com detalhe a referida imagem. Isto, entretanto, causava desconforto aos usuários, pois a imagem obstruía uma grande parte do campo de visão do usuário. Em face disto, decidiu-se reduzir o tamanho desta área, uma vez que se o usuário desejasse visualizar a imagem com mais detalhes bastaria aproximar o dispositivo dos seus olhos (Figura 31B).

Ainda com relação ao plano de corte, foi decidido que o volume só sofreria o corte enquanto o usuário estivesse no modo de manipulação do plano, fora desse modo o volume sempre seria exibido inteiro. Essa decisão foi tomada pelo fato de que dependendo do corte que o usuário realizasse no volume, ficaria difícil identificar qual parte do volume estava sendo cortada, como por exemplo na Figura 32A onde é complicado identificar qual corte está sendo realizado. Na Figura 32B por outro lado, fica bastante claro qual parcela do volume está sendo cortada.

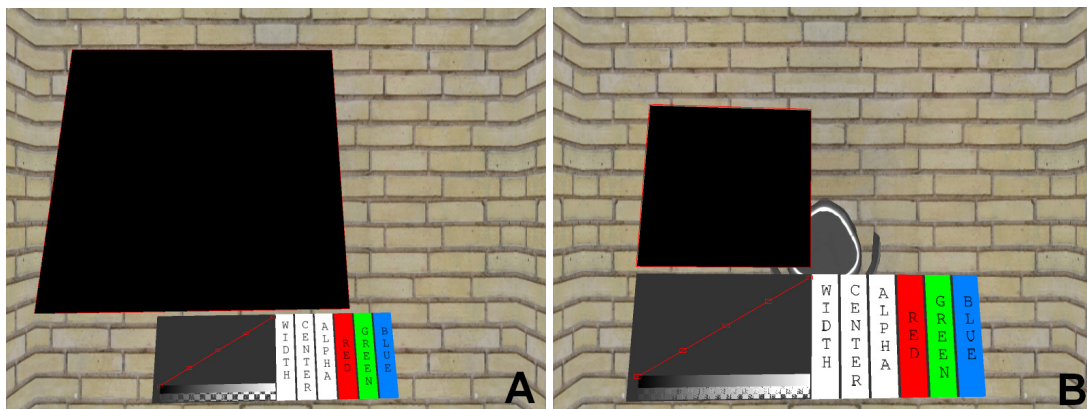


Figura 31 – Projeção do plano de corte, à esquerda como estava no início do desenvolvimento e à direita como ficou após a modificação.

Quanto ao dispositivo real foram detectados problemas quanto à qualidade do sensor *multi-touch* utilizado. Como já explicado na seção 5.6, para o funcionamento correto do sensor é necessário um ambiente com uma iluminação uniforme. Porém o projeto MiniMT [NUI08] tem como premissa que o sensor fique estático e não em constante movimento, como no caso do dispositivo criado para este trabalho. Com isso toda vez que o usuário movimentava o dispositivo, o sensor *multi-touch* acabava perdendo a calibração inicial referente à iluminação, e apresentava problemas na captura da posição dos dedos, chegando ao ponto do dispositivo parar de funcionar se as mudanças de iluminação fossem muito significativas, como por exemplo, quando o corpo do usuário gerava sombras sobre o dispositivo.

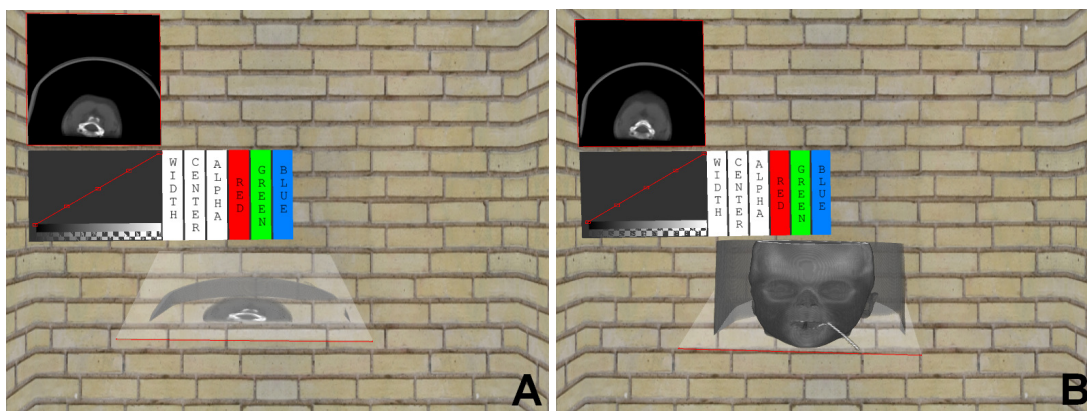


Figura 32 – Plano transparente que representa o corte atual, à esquerda como estava no início do desenvolvimento e à direita como ficou após a modificação.

A solução para este problema foi solicitar que usuários durante a execução dos testes que utilizassem o sensor *multi-touch*, apoiassem o dispositivo sobre uma superfície pré-definida de maneira que este recebesse uma iluminação ideal para

seu funcionamento. Apesar de limitar os movimentos do usuário com o dispositivo no momento da interação com o sensor *multi-touch* apenas 16% usuários expressaram que sentiram algum desconforto ao utilizar o dispositivo nesta posição.

6.2 Perfil dos Usuários

A partir dos resultados obtidos através do questionário pré-teste foi possível definir um perfil dos usuários que participaram do experimento. Todos os usuários possuíam escolaridade de nível superior, e grande parte deles (83%) possuía conhecimentos sólidos sobre computadores e utilizava computador com bastante frequência.

Dentre os usuários testados, apenas 33% possuíam um conhecimento profundo sobre RV e suas aplicações, embora 16% tenham afirmado que apesar de não possuir tal conhecimento, já haviam participado de outros experimentos envolvendo RV. Quanto ao conhecimento sobre visualização de imagens médicas apenas três usuários afirmaram possuir algum tipo de experiência com este tipo de aplicação.

6.3 Tarefas

Foram criadas quatro tarefas: duas para avaliar a efetividade do sensor *multi-touch* e duas para avaliar a efetividade da movimentação do plano de corte e do volume. Como a idéia destas tarefas era avaliar as hipóteses definidas no início deste capítulo, comparando a execução das tarefas com mouse e teclado no ambiente desktop em relação à execução das mesmas com o dispositivo no AV, todas as tarefas foram criadas para serem executadas em ambos ambientes.

Para medir a precisão na entrada de números foram utilizados os atributos de janelamento. Foi pedido que o usuário estabelecesse a uma janela com centro em 150 e largura da janela em 40. O usuário deveria executar esta tarefa da maneira como foi descrita na seção 5.3.

A execução desta tarefa no ambiente *desktop* apresentava apenas uma diferença: ao invés do usuário informar para a aplicação o valor de centro e largura da janela era necessário informar os limites da janela. Para a janela de centro 150 e largura 40 o usuário deveria informar como limite inferior 130 e limite superior 170. O usuário dispunha de dois métodos para realizar esta tarefa: alterar os valores

através de um *slider* ou; entrar os valores diretamente pelo teclado. Na Figura 33 é possível visualizar a interface para esta tarefa.

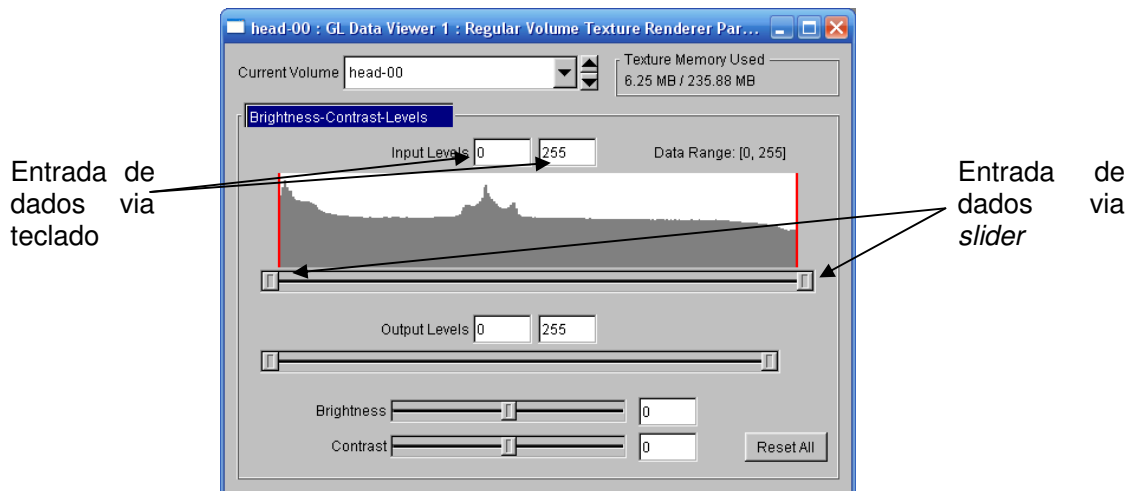


Figura 33 – Tela de controle do janelamento no ambiente *desktop*.

Para medir a precisão em termos de posições no sensor *multi-touch* foram utilizados os gráficos das funções de transferência. Neste caso a tarefa era re-posicionar os cinco pontos de controle de cada um dos quatro gráficos das funções de transferência (opacidade, vermelho, verde, azul). Neste caso, foi apresentada a imagem de um gráfico já pronto, que o usuário devia reproduzir como visto na Figura 34. No AV a execução desta tarefa foi feita de acordo como está descrito na seção 5.4.

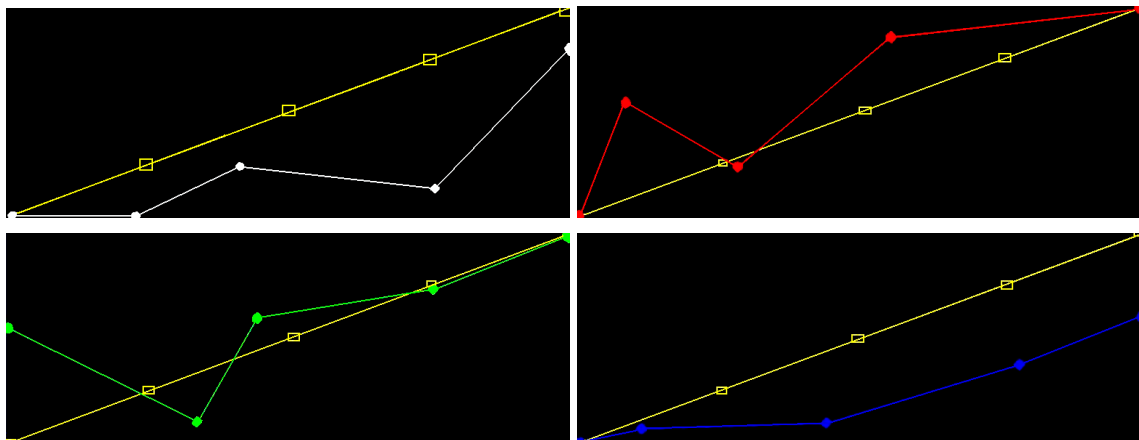


Figura 34 – Gráficos de referência para as funções de transferência.

Para a alteração destes valores no ambiente *desktop* o usuário deveria alterar a posição dos pontos de controle arrastando-os com o mouse. Na Figura 35 é possível visualizar a interface correspondente a esta tarefa no ambiente *desktop*.

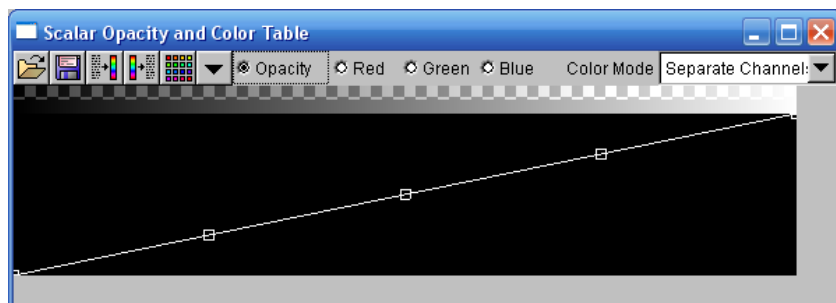


Figura 35 – Tela de controle das funções de transferência no ambiente *desktop*.

As tarefas relativas ao posicionamento do plano de corte e do volume visavam obter informações subjetivas quanto à preferência do usuário em relação ao método de manipulação. Para tanto o usuário era solicitado a reproduzir o posicionado do volume e do plano de corte, com base em imagens que lhe eram apresentadas. Na Figura 36A observa-se a imagem que define a posição e a orientação do volume e na Figura 36B, a imagem da posição desejada para o plano de corte. A execução desta tarefa no AV está descrita na seção 5.5.

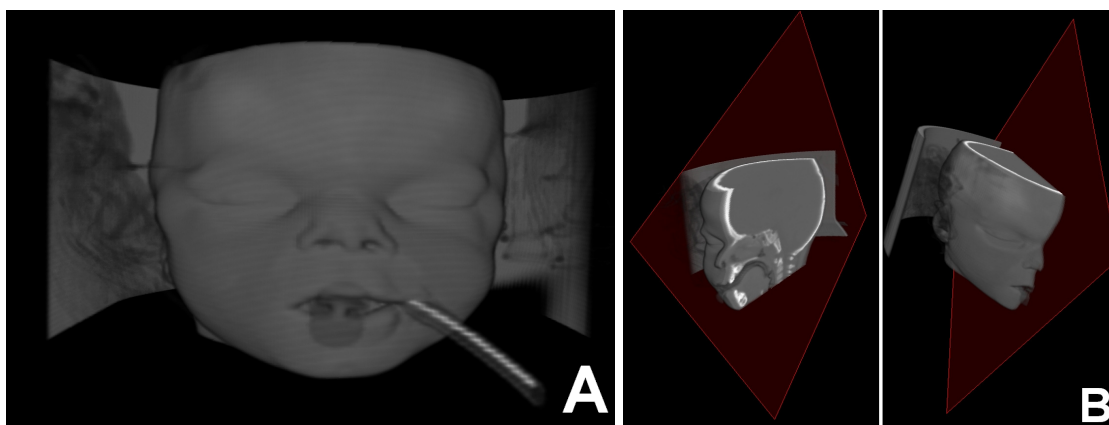


Figura 36 – Imagens de referência do posicionamento do volume e do plano de corte.

Para o posicionamento do volume no ambiente *desktop* o usuário podia controlar as rotações do volume pressionando o botão esquerdo do mouse sobre a tela onde era exibido o volume e alterar sua rotação através de um *Arcball*. A movimentação do volume era feita com o botão direito do mouse pressionado, bastando que o usuário arrastasse o mouse para alterar a posição do volume. A interface correspondente à movimentação do volume pode ser observada na Figura 37A.

Para o posicionamento do plano de corte o usuário também controlava a

rotação através de um *Arcball*, porém na janela correspondente ao plano de corte. A única movimentação que era possível realizar sobre o plano de corte era ao longo de sua normal. A tela de interação com o plano de corte pode ser observada na Figura 37B.

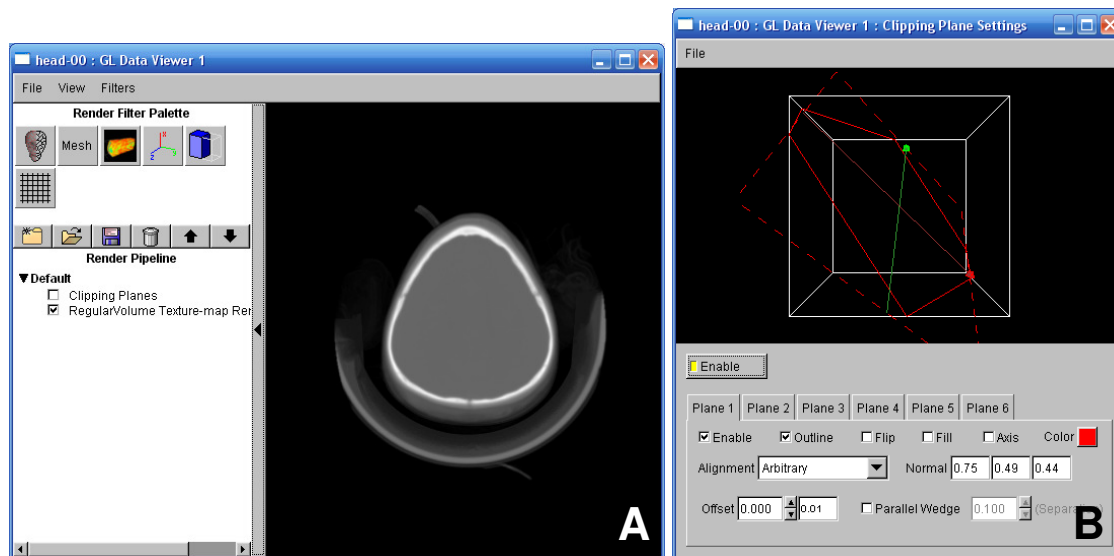


Figura 37 – Telas de controle da movimentação do volume e do plano de corte no ambiente *desktop*.

6.4 Protocolo de Testes

Para formalizar o processo de testes com o usuário e com isto dar condições iguais a todos os participantes, foi determinado um protocolo para a execução dos mesmos. Na execução de todos os testes havia sempre um avaliador presente guiando o usuário.

O primeiro passo era entregar ao usuário um Termo de Consentimento Informado (APÊNDICE A) que dava informações de quais dados estavam sendo coletados e qual a finalidade do teste. Após concordar com os termos estabelecidos o usuário assinava o documento e então era entregue a ele o questionário pré-teste. Este questionário buscava extrair informações quanto ao nível de conhecimento do usuário sobre computadores, RV e imagens médicas (APÊNDICE C). Ao término do preenchimento do questionário era lido um texto ao usuário com uma explicação sobre o projeto e sobre as tarefas que este deveria realizar (APÊNDICE B).

Depois de feita a introdução aos testes, o avaliador lia para o usuário a explicação correspondente àquele ambiente que iria ser testado primeiro. Metade

dos usuários testou primeiro o AV, e a outra metade iniciou pelo ambiente *desktop*. Ao fim da explicação o usuário passava por um período de aprendizado sobre as tarefas que iria desempenhar no ambiente.

Com o fim do período de ambientação o usuário realizava as tarefas descritas na seção 6.3. Após acabar a execução de todas as tarefas era dado início ao mesmo processo de introdução ao ambiente, treinamento e execução dos testes, porém para o ambiente que não havia sido testado.

Após a execução das tarefas em ambos ambientes era entregue ao usuário o questionário pós-teste (APÊNDICE D). Esse questionário visava avaliar a opinião subjetiva do usuário quanto à interação em cada uma das tarefas dos dois ambientes testados. As questões pediam que o usuário classificasse a dificuldade da execução das tarefas em uma escala de um a cinco, onde um representava muito difícil e cinco representava muito fácil. Existia ainda um espaço para que o usuário realizasse críticas ou sugestões sobre cada uma das tarefas.

Com o término do preenchimento do questionário pós-teste o avaliador agradecia a presença do usuário e encerrava os testes.

6.5 Teste Piloto

Uma vez que as tarefas e o protocolo de testes estavam bem definidos foi possível realizar um teste piloto. O objetivo deste teste foi realizar uma análise sobre o método utilizado para realizar os demais testes e também foi importante para se estabelecer uma estimativa de tempo que um usuário levaria realizando todo o procedimento de teste.

O teste piloto foi realizado com um usuário que possuía experiência tanto em interação com dispositivos e técnicas de RV quanto em imagens médicas. A partir desse teste foi possível identificar algumas questões sobre a execução dos testes, que são relatadas a seguir.

Devido ao longo período que o usuário estaria utilizando o AV (em torno de 20 a 30 minutos) foi determinado que o usuário realizasse a interação com o dispositivo da mesma forma que no ambiente virtual, ou seja, sentado.

Foram levantadas também questões sobre o modo como que as informações eram apresentadas. Inicialmente no AV as imagens de referência

correspondentes às tarefas eram exibidas à esquerda do usuário no ambiente, e para o ambiente desktop o usuário possuía as imagens em suas mãos. A fim de manter um nível de dificuldade similar para os dois ambientes as imagens de referência no ambiente desktop foram afixadas na parede a esquerda do usuário, dando assim condições similares às apresentadas no AV.

6.6 Testes e Resultados

Os testes foram realizados com 12 (doze) usuários e, de acordo com os questionários pré-teste, o perfil ficou definido como usuários com bastante experiência em utilização de computadores, conhecimento razoável sobre RV e pouco conhecimento sobre imagens médicas.

Para as tarefas de janelamento e de função de transferência foi medido o tempo gasto e a precisão dos valores informados pelo usuário.

Foram realizadas duas classes de avaliação. Uma objetiva, baseada em parâmetros como tempo gasto e precisão na execução das tarefas, e outra subjetiva que buscou avaliar o nível de satisfação dos usuários com os dispositivos utilizados.

6.6.1 Avaliação Objetiva

Para as tarefas de posicionamento do plano de corte e do volume, apenas o tempo de execução foi controlado. A precisão do posicionamento era controlada pelo avaliador, que avaliava se o usuário conseguia ou não realizar a tarefa com sucesso.

Quanto ao tempo gasto em cada uma das tarefas o gráfico da Figura 38 apresenta a média e os valores de mínimo e máximo para cada uma das tarefas em cada um dos ambientes.

Para cada tarefa foi realizado um teste ANOVA (alpha-level = 0,05) tendo como variável entre usuários, o ambiente testado e como variável entre grupos, o tempo gasto para conclusão das tarefas.

Para a movimentação do volume com o alpha-level utilizado não foi encontrado efeito positivo no desempenho do dispositivo. Já para a movimentação do plano de corte foi encontrado um efeito positivo em favor do uso do dispositivo ($F(1,22) = 11,830, p < 0,002$). Isso indica um melhor desempenho quanto ao tempo, para os usuários que utilizaram o dispositivo, o que é atribuído à forma como a

interface *desktop* controla o plano de corte. Cerca de 60% dos usuários afirmaram, inclusive, que a forma de movimentação, disponível na interface *desktop*, era confusa.

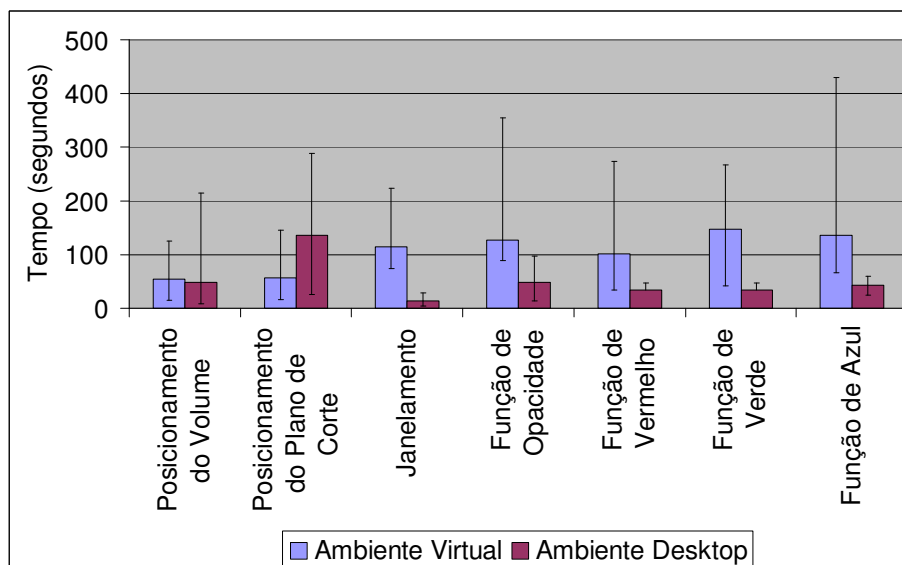


Figura 38 – Gráfico das médias do tempo gasto pelas tarefas realizadas em cada ambiente.

Para a tarefa de janelamento foi encontrado um efeito significativo em favor do ambiente *desktop* ($F(1,22) = 25,995$, $p < 0,000$). Neste caso o tempo gasto na tarefa mostrou-se inferior no ambiente *desktop* devido à possibilidade do usuário dar entrada nos valores diretamente através do teclado.

Para todas as funções de transferência foram encontrados resultados significativos para o ambiente *desktop* (opacidade: $F(1,22) = 5,044$, $p < 0,035$, vermelho: $F(1,22) = 7,852$, $p < 0,01$, verde: $F(1,22) = 13,950$, $p < 0,001$ e azul: $F(1,22) = 4,750$, $p < 0,040$). Alguns usuários afirmaram que gastaram mais tempo nesta tarefa no AV por possuírem uma maior experiência com interação com mouse, o que acabou facilitando a interação no ambiente *desktop*.

Os resultados obtidos através da avaliação do tempo gasto pelo usuário sustentam parte da hipótese H4. Ficou demonstrado que os usuários levam menos tempo para realizar a tarefa de posicionamento do plano de corte no AV. Porém, segundo a ANOVA, não foi possível obter resultados com uma diferença significativa entre os tempos de manipulação do volume entre os dois tipos de ambientes.

Uma possibilidade para a não obtenção de uma diferença significativa entre

os tempos para a manipulação do volume pode ser devido ao fato de que esta tarefa era a primeira tarefa de manipulação. Sendo assim o usuário poderia ainda estar se acostumando com o equipamento no momento da movimentação do volume, comprometendo assim o seu desempenho.

A hipótese H5 foi comprovada através da avaliação pois os usuários levaram mais tempo para concluir as tarefas de precisão (janelamento e funções de transferência) no AV, tendo uma diferença estatisticamente significativa em favor do ambiente desktop.

Quanto à precisão das entradas dos valores, na tarefa de janelamento, foi analisado o valor informado pelo usuário para o centro e a janela em comparação aos valores que eram solicitados. Para o janelamento não houve a necessidade de se realizar nenhum teste estatístico, uma vez que todos os usuários foram capazes de informar ao sistema os valores corretos.

Ainda relativo à precisão para as funções de transferência, foi observado o erro em cada ponto, onde o erro é a distância de cada um dos cinco pontos do gráfico para a posição que eles estavam no gráfico modelo. Neste caso foi realizado um teste ANOVA (alpha-level = 0.05) tendo como variável entre usuários o ambiente testado e variável entre grupos a soma dos erros que cada usuário cometeu em uma função de transferência. O gráfico da Figura 39 apresenta a média da soma dos erros que cada usuário cometeu em cada uma das funções, no AV e no *desktop*.

Para o alpha-level utilizado não foi possível determinar um efeito significativo em nenhuma das quatro funções de transferência. Com isso é possível afirmar, em termos de precisão, que o AV mostrou-se tão eficiente quanto o ambiente *desktop*.

Através destes resultados é possível sustentar a hipótese H1. No que diz respeito a precisão de valores numéricos, testada através da função de janelamento, o dispositivo mostrou-se capaz de permitir que os usuários informassem valores exatos, atingindo assim os resultados esperados.

Para a precisão de posição, testada através do posicionamento dos pontos de controle das funções de transferência, o dispositivo também apresentou resultados satisfatórios. A análise estatística, porém, mostrou que não foi encontrada uma diferença significativa entre os erros cometidos com o dispositivo e os erros cometidos no ambiente *desktop*, tornando assim o dispositivo equivalente ao

ambiente desktop neste quesito.

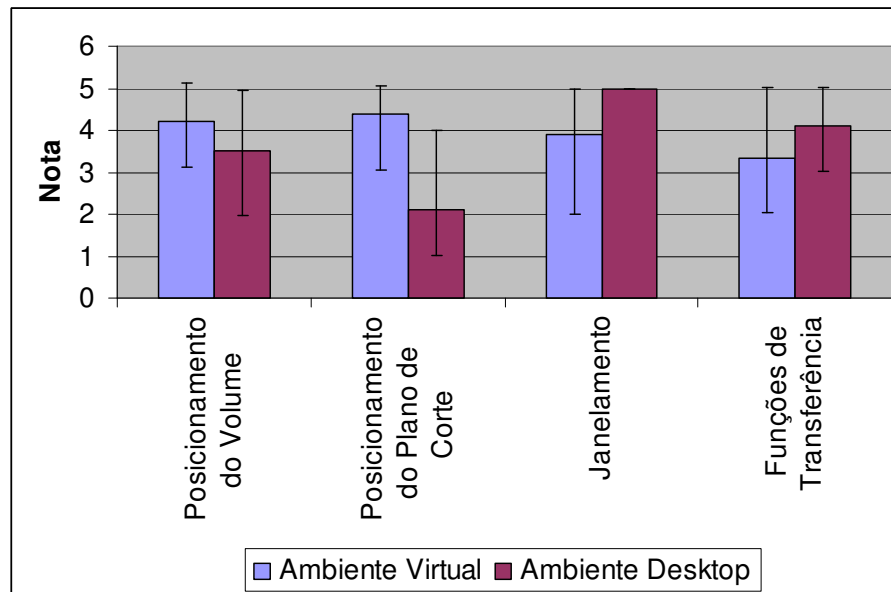


Figura 39 – Gráfico da média dos erros nas funções de transferência.

6.6.2 Avaliação Subjetiva

Com relação à opinião subjetiva dos usuários obtida através dos questionários pós-teste também foi realizado uma ANOVA (alpha-level = 0,05) tendo como variável entre usuários o ambiente testado e como variável entre grupos a nota dada pelo usuário. O gráfico da Figura 40 mostra a média das notas dadas pelos usuários a cada uma das tarefas.

Com o alpha-level utilizado não foi possível determinar um efeito positivo em relação à nota dada para a movimentação do volume. Apesar de alguns usuários afirmarem que o uso do dispositivo se mostrava mais intuitivo para a movimentação do volume, outros apresentaram alguma dificuldade até entenderem por completo o funcionamento do dispositivo.

Para a movimentação do plano de corte foram encontrados resultados positivos em favor do AV ($F(1,22) = 33,800$, $p < 0,000$). Diversos usuários apresentaram dificuldades ao utilizar a ferramenta do ambiente desktop, sendo que dois usuários não conseguiram posicionar o plano de maneira correta.

Tanto para o janelamento quanto para a função de transferência foram encontrados resultados positivos em favor do ambiente *desktop* (janelamento: $F(1,22) = 14,191$, $p < 0,001$ e funções de transferência: $F(1,22) = 6,044$, $p < 0,022$).

Isso devido a diversos usuários afirmarem terem mais experiência com interação com mouse e teclado, também devido a algumas limitações do tipo de sensor *multi-touch* utilizado. Como este depende de uma fonte de luz estável para o funcionamento correto, em alguns momentos da interação ocorria uma perda na calibração, causando dificuldades a interação do usuário.

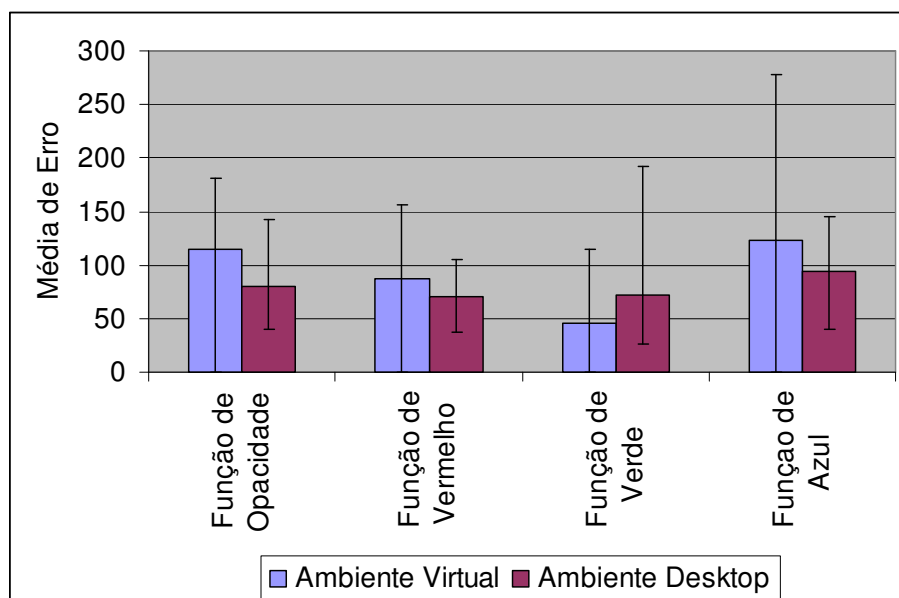


Figura 40 – Gráfico das médias das notas de cada tarefa.

De acordo com as notas atribuídas à cada uma das tarefas é possível realizar a avaliação correspondente a hipótese H3. A preferência dos usuários por realizar as tarefas de janelamento e funções de transferência no ambiente desktop ficou clara através na análise realizada, suportando a hipótese.

A hipótese H2 não pode ser totalmente comprovada. A preferência dos usuários pelo AV na manipulação do plano de corte foi possível ser comprovada. Porém não foi possível obter uma diferença significativa quanto à preferência do usuário na manipulação do volume. Com isso não foi possível confirmar a hipótese de forma completa.

De forma geral, apesar dos usuários gastarem um tempo maior na interação com o dispositivo, para a entrada de valores, o mesmo mostrou-se capaz de fornecer um método de entrada de valores com precisão.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

O uso de AVs naturalmente já traz benefícios para a manipulação de modelos tridimensionais, uma vez que através de dispositivos como rastreadores de posição a interação pode se tornar mais intuitiva. Porém uma das barreiras que impede a popularização do uso de sistemas de RV é a dificuldade para a entrada de dados numéricos.

Este trabalho propôs-se a desenvolver um dispositivo que une as vantagens de uma interação com um rastreador de posição, com um método de entrada de valores numéricos em um AV, se obriga o usuário do AV a utilizar um dispositivo como um teclado ou um mouse, que, se utilizados reduziram a imersão do usuário AV. Para a movimentação do volume e do plano de corte usou-se uma caixa com alças o que permitiu a movimentação de forma simples e precisa.

A seleção de opções de menus também se mostrou eficiente e foi referida como extremamente simples pelos usuários. Como forma de aprimoramento do processo de apontamento das opções no menu, pode-se ainda criar ranhuras sobre a superfície de acrílico de maneira que estas marquem os limites físicos de cada opção. Com isto se consegue prover mais uma informação tátil para a seleção das opções, permitindo inclusive uma interação *Eyes-Off*, em que o usuário não precisaria olhar para suas mãos ou para o dispositivo ao realizar a seleção de uma opção.

O método proposto para entrada de valores utilizou um sensor *multi-touch* preso ao dispositivo. Apesar de apresentar algumas dificuldades, principalmente do ponto de vista tecnológico (luminosidade do ambiente), o processo de interação foi considerado simples pelos usuários e permitiu a manutenção da sensação de imersão no ambiente virtual.

Além da entrada de valores numéricos o sensor *multi-touch* também poderia ser utilizado para se realizar a entrada textos, servindo como uma forma de anotação no AV. Esta tarefa poderia ser executada tanto permitindo que o usuário escrevesse com o dedo sobre a superfície *multi-touch*, quanto utilizando o *Thumwheel* de maneira similar à executada com valores numéricos.

Em face da extrema facilidade relatada pelos usuários com relação ao

acesso de opções do menu uma alternativa para a entrada de dados seria utilizar um painel numérico no formato de uma calculadora sobre a mesma superfície dos menus.

Em visualização de imagens médicas o recurso utilizado para aumentar ou diminuir a precisão dos valores do janelamento poderia ser utilizado com outras finalidades. Uma delas seria para alterar a escala de qualquer objeto tridimensional na cena apenas aproximando ou afastando os dedos, também numa interação *Eyes-Off*.

Poderia-se ainda empregar o recurso utilizado para aumentar ou diminuir a precisão dos valores do janelamento (*zoom-in* e *zoom-out*, apresentados na seção 5.3) para controlar o tamanho do cubo de visualização de um método *probe* (seção 3.3). Enquanto o dispositivo controlaria a posição da *probe* através do rastreador de posição, o sensor *multi-touch* serviria para controlar o tamanho desta *probe*.

Referências

- [BOR06] BORNIK, Alexander; BEICHEL, Reinhard; KRUIJFF, Ernst; REITINGER, Bernhard; SCHMALSTIEG, Dieter. A Hybrid User Interface for Manipulation of Volumetric Medical Data. In: IEEE Symposium on 3D User Interface, Alexandria – Canada, IEEE, 2006, p. 29-36.
- [ROS04] ROSSET, Antoine; SPADOLA, Luca; RATIB, Osman. OsiriX: An Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images, *Journal of Digital Imaging*, vol. 17-3, set 2004, p. 205-216.
- [AMI08] AMIDE: Amide's a Medical Imaging Data Examiner. Disponível em: <<http://amide.sourceforge.net>>. Capturado em 20 de junho de 2008.
- [PRE02] PREIM, Bernhard; TIETJEN, Christian; SPINDLER, Wolf; PEITGEN, Heinz O. Integration of Measurement Tools in Medical 3D Visualizations. In: IEEE Visualization, Boston – EUA, IEEE, 2002, p. 21-28.
- [REI06] REITINGER, Bernhard; SCHMALSTIEG, Dieter; BORNIK, Alexander; BEICHEL, Reinhard. Spatial Analysis Tools for Virtual Reality-based Surgical Planning. In: IEEE Symposium on 3D User Interface, Alexandria – Canada, IEEE, 2006, p. 37-44.
- [BOW05] BOWMAN, Doug A.; KRUIJFF, Ernst; LAVIOLA, Joseph. J.; POUPYREV, Ivan. 3D User Interfaces: Theory and Practice. Addison - Wesley, 2005.
- [DIC08] DICOM Homepage. Disponível em: <<http://medical.nema.org>>. Capturado em 20 de junho de 2008.
- [PED06] PEDRINI, Hélio; SCHWARTZ, Willian R. Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações. Thomson, 2006.
- [SIL05] SILVERSTEIN, Jonathan C.; DECH, Fred. Precisely Exploring Medical Models and Volumes in Collaborative Virtual Reality, *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, vol. 14-1, fev 2005, p.47-59.
- [FOL90] FOLEY, James D.; DAM, Andries; FEINER, Steven K.; HUGHES, John F. Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley, 1990.
- [KNI02] KNISS, Joe; KINDLMANN, Gordon; HANSEN, Charles. Multidimensional Transfer Functions for Interactive Volume Rendering, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 8-3, jul-set 2002, p. 270-285.

- [KNI04] KNISS, Joe; SCHULZE, Jürgen P.; WÖSSNER, Uwe; WINKLER, Peter; LANG, Ulrich; HANSEN, Charles. Medical Applications of Multi-field Volume Rendering and VR Techniques. In: Joint Eurographics-IEEE TCVG Symposium on Visualization, Konstanz – Alemanha, Springer, 2004, p. 249-254.
- [SCH01a] SCHULZE, Jürgen P. VOX – Volume Explorer. Disponível em: <<http://www.calit2.net/~jschulze/projects/vox/>>. Capturado em 15 de junho de 2008.
- [SCH01b] SCHULZE, Jürgen P.; WÖSSNER, Uwe; WALZ, Steffen P.; LANG, Ulrich. Volume Rendering in a Virtual Environment. In: 5th IPTW and Eurographics Virtual Environments, Stuttgart – Alemanha, Springer, 2001, p. 187-198.
- [TOE97] TOENNIES, Klaus D.; DERZ, Claus. Volume Rendering for Interactive 3-D Segmentation. In: International Society for Optical Engineering, Newport Beach – EUA, SPIE, 1997, p. 602-609.
- [SHO92] SHOEMAKE, Ken. ARCBALL: a User Interface for Specifying Three-Dimensional Orientation Using a Mouse. In: Conference on Graphics Interface, Vancouver – Canada, CIPS, 1992. p. 151-156.
- [SER99] SERRA, Luis; HERN, Ng; CHUA, Gim G.; LEE, Eugene; LEE, Yen H.; CHAN, Chumpon; KOCKRO, Ralf A. An Interface for Precise and Comfortable 3D Work with Volumetric Medical Datasets. In: Medicine Meets Virtual Reality, San Francisco – EUA, CiteSeer, 1999, p. 328-334.
- [SER97] SERRA, Luis; HERN, Ng; CHOON, Chua B.; POSTON, Timothy. Interactive Vessel Tracing in Volume Data. In: Interactive 3D Graphics, New York – EUA, CiteSeer, 1997, p. 131-137.
- [MIN95] MINE, Mark R. Virtual Environment Interaction Techniques. University of North Carolina Chapel Hill Computer Science. Technical Report TR95-018, 1995.
- [NUI08] NUI Group. Disponível em: <<http://nuigroup.com>>. Capturado em 16 de dezembro de 2008.
- [LAC08] LACROUTE, Philippe; LEVOY, Marc. The VolPack Volume Rendering Library. Disponível em:

<<http://www.graphics.stanford.edu/software/volpack>>. Capturado em 16 de junho de 2008.

- [AVI94] AVILA, Ricardo; HE, Taosong; HONG, Lichan; KAUFMAN, Arie; PFISTER, Hanspeter; SILVA, Claudio; SOBIERAJSKI, Lisa; WANG, Sidney. VolVis: a Diversified Volume Visualization System. In: IEEE Visualization, Washington – EUA, IEEE, 1994, p. 31-38.
- [SU93] SU, Augustine; FURUTA, Richard. The virtual panel architecture: A 3D gesture framework. In: Virtual Reality Annual International Symposium, Seattle – EUA, IEEE, 1993, p. 387-393.
- [WÖS02] WÖSSNER, Uwe; SCHULZE, Jürgen P.; WALZ, Steffen P.; LANG, Ulrich. Evaluation of a Collaborative Volume Rendering Application in a Distributed Virtual Environment. In: Workshop on Virtual Environments, Aire-la-Ville – Suíça, ACM, 2002, p. 113-122.
- [VOL08] VolSuite – A portable scientific application framework. Disponível em: <<http://www.osc.edu/archive/VolSuite/>>. Capturado em 17 de junho de 2008.
- [QI05] QI, Wen; MARTENS, Jean-Bernard. Tangible User Interfaces for 3D Clipping Plane Interaction with Volumetric Data : A Case Study. In: 7th International Conference on Multimodal interfaces, Trento - Italia, ACM, 2005, p.252-258.

APÊNDICE A - Termo de consentimento livre e esclarecido

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA

“UM DISPOSITIVO PARA VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DE IMAGENS MÉDICAS EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS”

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Agradecemos sua participação nos testes da dissertação de mestrado “UM DISPOSITIVO PARA VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DE IMAGENS MÉDICAS EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS”.

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de um dispositivo de interação para manipulação e alteração de dados volumétricos em um ambiente virtual.

Para isto, os participantes são convidados a testarem dois tipos de ambientes de teste. O primeiro é um ambiente tradicional que servirá como base para comparação dos resultados obtidos através do outro ambiente. O segundo ambiente é um ambiente virtual que possuirá as mesmas funcionalidades testadas no ambiente convencional, porém todas as tarefas serão realizadas através do dispositivo criado.

Lembramos que o objetivo **não** é avaliar o participante, **mas sim** avaliar a eficiência do dispositivo criado. O uso que se faz dos registros efetuados durante os grupos é **absolutamente** limitado à atividade de pesquisa e desenvolvimento, garantindo-se para tanto que:

1. O anonimato dos participantes será garantido em todo e qualquer documento divulgado em foros científicos (tais como conferências, periódicos, livros e assemelhados);
2. Todo participante terá acesso a cópias destes documentos após a publicação dos mesmos;
3. Todo participante que se sentir constrangido ou incomodado durante os testes pode se retirar e estará colaborando de forma importante com a equipe se registrar por escrito as razões ou sensações que o levaram a esta atitude. A equipe fica obrigada a descartar suas contribuições para fins da avaliação que se destinaria;
4. Todo participante tem direito de expressar por escrito, na data do encontro, qualquer restrição ou condição adicional que lhe pareça aplicar-se às garantias enumeradas em (1), (2) e (3), acima. A equipe do projeto se compromete a observá-la com rigor e entende que, na ausência de tal manifestação, o participante concorda que estas diretrizes conduzam o comportamento ético da equipe de pesquisadores;
5. A equipe do projeto tem direito de utilizar os dados surgidos durante os testes, mantidas as condições acima mencionadas, para quaisquer fins acadêmicos contemplados por seus membros.

() Estou de pleno acordo com os termos acima.

() Em anexo registro condições adicionais para participar dos testes.

Assinatura do participante

Assinatura do observador

Nome do participante

APÊNDICE B - Protocolo de execução dos testes

Instruções

Seja bem vindo(a)! Muito obrigado por concordar em participar de nosso experimento. Neste trabalho estamos avaliando a eficiência de um novo dispositivo para a interação em ambientes virtuais para a visualização de imagens médicas.

Para testar a eficiência desse dispositivo você passara por dois tipos de ambientes, um ambiente *desktop* e um ambiente virtual. O objetivo disto é realizar um estudo comparativo quanto ao ganho de desempenho do dispositivo.

Ao final do experimento solicitaremos que você responda a um questionário que avalia as funcionalidades que serão testadas em ambos ambientes.

É importante ressaltar que neste experimento **não estaremos avaliando você ou seu desempenho**. Estaremos avaliando a eficiência do dispositivo utilizado para a interação no ambiente virtual.

EXPERIMENTO

Ambiente Virtual:

(PAUSA)

Neste ambiente você estará utilizando um ambiente de desenvolvimento próprio. Como este se trata de um ambiente imersivo você estará utilizando equipamentos de realidade virtual. Os equipamentos que você estará utilizando são:

- HMD (*head-mounted display*) – Este capacete tem o objetivo de exibir as imagens correspondentes a direção do seu olhar;
- Rastreadores de posição – Você utilizará três rastreadores ao total, um para rastrear os movimentos da cabeça, outro para rastrear os movimentos de seu dedo indicador direito e o último para rastrear os movimentos do dispositivo;
- Dispositivo de interação – É através desse dispositivo que você irá controlar todas as funcionalidades da aplicação.

Você terá que realizar quatro tarefas básicas:

- Janelamento
- Alteração da função de transferência
- Posicionamento do volume
- Posicionamento do plano de corte

Tutorial

Vamos dar inicio as instruções de uso do ambiente virtual.

Começando pela alteração da posição do volume. Para isso você deve pressionar ambos os botões da caixa e mantê-los pressionados, com isso todos os movimentos que você realizar com o dispositivo serão mapeados para o volume, tanto os movimentos quanto as rotações. Enquanto você estiver utilizando esse modo a imagem correspondente ao dispositivo sumira e só será exibida quando você sair deste modo. Quando desejar sair do modo de manipulação do volume basta soltar os botões e o volume se manterá naquela posição.

Para manipular o plano de corte você deve manter pressionado apenas do botão direito do dispositivo, enquanto o botão estiver pressionado será exibido um plano transparente

na parte superior do dispositivo, este é seu plano de corte. Para realizar um corte no volume você deve levar esse plano transparente para dentro do volume, quando deixar o modo de manipulação a última imagem capturada pelo plano transparente será exibida no pequeno plano que se encontra acima da imagem do dispositivo. É importante destacar que existe a possibilidade de cortar o volume mesmo sem encostar o plano transparente no modelo, porém o plano só será projetado de maneira correta que o plano transparente estiver sobre o corte realizado. Para deixar o modo de manipulação do corte basta liberar o botão direito.

Para a interação com os menus e o sensor *multi-touch* pedimos que posicione o dispositivo sobre a mesa que se localiza a sua frente.

Para selecionar uma opção do menu você deve levar seu dedo até a opção desejada e pressionar o botão que se encontra na alça esquerda do dispositivo.

Para alterar o valor do janelamento você deve mover o *thumbwheel* com seu dedo para direita (para incrementar o valor) ou para esquerda (para decrementar o valor). Existe a possibilidade de você alterar a velocidade de alteração dos valores através da alteração do tamanho do passo (*step*). Para isso você deve colocar dois dedos sobre o sensor *multi-touch* e afastá-los para aumentar e junta-los para diminuir o tamanho do passo, sugerimos que você utilize este recurso de duas maneiras, ou colocando um indicador de cada mão sobre o sensor *multi-touch* ou posicionando o polegar da mão direita próximo a base do sensor e apenas afastando ou aproximando o indicador da mão direita.

Para alterar os valores das funções de transferência você deve colocar seu dedo exatamente sobre um dos cinco pontos de controle e move-lo. Caso você acabe não acertando um dos pontos de controle você notará que será formada uma caixa de seleção tracejada. Com isso se deseja selecionar somente um ponto retire seu dedo do sensor e tente novamente.

Tarefas

Pressionar botão '4'.

Você deve posicionar o volume de acordo com a imagem que se encontra a sua esquerda no ambiente virtual. Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Pressionar tecla '5'

O plano de corte que você tem que realizar está ilustrado na figura que está localizada a sua esquerda no ambiente virtual. Caso julgue necessário movimentar o volume para que seja mais confortável realizar o corte de maneira correta basta movimentá-lo como na tarefa anterior. Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Pressionar tecla '6'

Para o janelamento você terá que alterar dois parâmetros, o centro e a largura da janela, para fazer isso você deve selecionar a operação de centro (*Center*) e alterar o valor para 150, após realizar essa tarefa você deve selecionar a opção de largura (*Width*) e alterar o valor para 40. Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Pressionar tecla '0'(zero).

Para a alteração dos valores das funções de transferência você deve selecionar a primeira delas que controla a opacidade (*Alpha*). Você pode observar que existem cinco pontos de controle no gráfico, seu objetivo é posicioná-los de forma que fique o mais próximo possível com a imagem que está localizada a sua direita no ambiente virtual. Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Pressionar tecla '1'

Agora repita o mesmo processo para a função Vermelho (ou Red). Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Pressionar tecla '2'

Agora repita o mesmo processo para a função Verde (ou Green). Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Pressionar tecla '3'

Agora repita o mesmo processo para a função Azul (ou Blue). Quando se sentir pronto(a) para começar me avise, e me avise quando terminar a tarefa.

Pressionar tecla 'K', quando o usuário informar que terminou pressionar 'L'.

Ambiente Desktop:

(PAUSA)

Neste ambiente você estará utilizando a ferramenta *VolSuite*. Esta ferramenta será utilizada como um ambiente *desktop* de visualização e manipulação de imagens

médicas, logo você realizará esse experimento diante de um computador utilizando teclado e mouse.

Você terá que realizar quatro tarefas:

- Janelamento
- Alteração da função de transferência
- Posicionamento do volume
- Posicionamento do plano de corte

Tutorial

Para alterar a posição do volume basta realizar a interação na janela onde esta sendo exibido o volume. Se interagir com o botão esquerdo do mouse pressionado você realizara rotações no volume. Com o botão direito do mouse pressionado você alterará a posição do volume no eixo Z, e com o botão do meio pressionado você alterará a posição nos eixos X e Y.

Para manipular o plano de corte basta realizar a interação na janela de controle do plano de corte. Para rotacionar o plano em volta de seu eixo basta interagir com o botão esquerdo do mouse, para mover o plano ao longo de sua normal basta interagir com o botão direito do mouse pressionado.

Para realizar o janelamento você deve especificar os limites da janela, isto é valores de mínimo e máximo dela. Por exemplo, para uma janela de centro 100 e largura 50 o limite mínimo é de 75 e o limite máximo é de 125.

Para alterar os valores das funções de transferência você deve primeiro selecionar a opção *opacity*, você pode observar que existe um gráfico branco com cinco pontos de controle, você deve movimentá-los com o mouse.

Tarefas

Você deve posicionar o volume de acordo com a figura à sua esquerda.

Controlar o tempo gasto pelo usuário.

Você deve posicionar o plano de corte de acordo com a figura à sua esquerda.

Controlar o tempo gasto pelo usuário.

Você deve especificar uma janela de centro 150 e largura em 40. Limite inferior em 130 e limite superior em 170.

*Controlar o tempo gasto pelo usuário.
Anotar os valores inseridos pelo usuário.*

O gráfico resultante fique o mais próximo possível ao da figura figura à sua esquerda..

*Controlar o tempo gasto pelo usuário.
Anotar os valores inseridos pelo usuário para cada um dos pontos.*

Repita o mesmo procedimento para o gráfico de *Red*.

*Controlar o tempo gasto pelo usuário.
Anotar os valores inseridos pelo usuário para cada um dos pontos.*

Repita o mesmo procedimento para o gráfico de *Green*.

*Controlar o tempo gasto pelo usuário.
Anotar os valores inseridos pelo usuário para cada um dos pontos.*

Repita o mesmo procedimento para o gráfico de *Blue*.

*Controlar o tempo gasto pelo usuário.
Anotar os valores inseridos pelo usuário para cada um dos pontos.*

APÊNDICE C - Questionário pré-teste

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA

“UM DISPOSITIVO PARA VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DE IMAGENS
MÉDICAS EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS”

Questionário pré-teste

1) Sexo:

Masculino

Feminino

2) Nível de Formação:

Ensino Fundamental

Ensino Superior

Ensino Médio

Pós-Graduação

3) Defina seu nível de conhecimento sobre computadores (onde 1 é nenhum conhecimento e 5 é muito conhecimento):

1

2

3

4

5

4) Com qual frequência você utiliza o computador (onde 1 é nunca e 5 é sempre):

1

2

3

4

5

5) Defina seu nível de conhecimento sobre Realidade Virtual computadores (onde 1 é nenhum conhecimento e 5 é muito conhecimento):

1

2

3

4

5

6) Defina seu nível de conhecimento sobre Imagens Médicas computadores (onde 1 é nenhum conhecimento e 5 é muito conhecimento):

1

2

3

4

5

APÊNDICE D - Questionário pós-teste

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA

“UM DISPOSITIVO PARA VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DE IMAGENS
MÉDICAS EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS”

Questionário Pós-Teste

AMBIENTE DESKTOP

1) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi posicionar o volume no ambiente desktop (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

2) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi posicionar o plano de corte no ambiente desktop (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

3) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi alterar os valores de janelamento no ambiente desktop (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

4) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi alterar as funções de transferência no ambiente desktop (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA

“UM DISPOSITIVO PARA VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DE IMAGENS
MÉDICAS EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS”

Questionário Pós-Teste

AMBIENTE VIRTUAL

5) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi posicionar o volume no ambiente virtual (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

6) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi posicionar o plano de corte no ambiente virtual (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

7) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi alterar os valores de janelamento no ambiente virtual (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5

8) De 1 a 5 determine o quão fácil/difícil foi alterar as funções de transferência no ambiente virtual (onde 1 é muito difícil e 5 é muito fácil)

1 2 3 4 5
