

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

Relatório Final

**APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL PARA
TREINAMENTO MÉDICO: A TÉCNICA DE
ANAGLIFO COLORIDO**

Aluno(a): Marcela Braga Afonso
Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Fátima de Lourdes dos Santos Nunes
Marques

Período: Agosto/2011 a Agosto/2012

SÃO PAULO
2012

Lista de Figuras

1	Ambientes Virtuais gerados para interação através da Realidade Virtual [31] [32].	1
2	Os três tipos de paralaxe [19].	7
3	Representação da sensação da posição da imagem para cada valor de paralaxe [24].	7
4	Diagrama Básico de um Estereoscópio e Exemplo do Equipamento [9].	8
5	Visualizadores de Slides Estéreos [9].	9
6	Par estéreo com dois tipos de visão [9].	10
7	Estereograma [9].	10
8	Óculos para visualização do efeito e quadros de uma animação [9].	11
9	Técnica de <i>ChromaDepth</i> - Óculos para visualização e diferença na distância percebida para cada cor [9].	11
10	Imagem produzida em <i>ColorCode 3-D</i> e óculos com filtros para visualização [9].	12
11	Óculos com filtros polarizados e esquema de visualização de estereoscopia por polarização da luz [9].	13
12	Óculos obturador com fio e sem fio [9].	13
13	Imagem resultante usando HMD de vídeo e HMD de vídeo com duas câmeras acopladas [9].	14
14	Imagem resultante usando HMD óptico e HMD óptico [9].	14
15	Imagens de uma animação de par estéreo alternado [9].	15
16	Estereoscopia com Anaglifo e Óculos para Visualização.	16
17	Anaglifo Colorido [19].	17
18	Anaglifo Puro [19].	18
19	Anaglifo Cinza [19].	19
20	Anaglifo semicolorido [19].	19
21	Anaglifo Otimizado [19].	20
22	Exemplo de aplicação gerada com o ViMeT [34].	31
23	Grafo de Cena [34].	33
24	Construção simples do boneco utilizando a API Java3D.	33
25	Construções de bonecos simulando estereoscopia com anaglifos.	34
26	Objetos representando a mama, gerados utilizando-se paralaxe positiva, e objetos representando o tronco, gerados utilizando-se paralaxe negativa.	35
27	Tela Inicial do Sistema para Avaliação.	36
28	Tela do Primeiro Bloco do Sistema para Avaliação.	37
29	Tela do Segundo Bloco do Sistema para Avaliação.	38
30	Tela do Terceiro Bloco do Sistema para Avaliação.	39

31	Diagrama de Classes do <i>Framework ViMeT</i>	41
32	Código alterado para adicionar cor às luzes ambiente e direcional.	42
33	Nova aba <i>Estereoscopia</i> adicionada à interface gráfica do <i>framework ViMeT</i>	43
34	Código alterado para verificar qual tipo de estereoscopia está selecionado antes de gravar a aplicação.	43
35	Código alterado para deixar selecionado o botão referente ao tipo de estereoscopia da aplicação carregada.	44
36	Código alterado para verificar qual tipo de estereoscopia está selecionado para gerar o código correto ao usuário.	44
37	Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Mama.	45
38	Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Tronco.	46
39	Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Perna.	46
40	Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Glúteos.	47
41	Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas.	48
42	Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Mama.	49
43	Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Tronco.	49
44	Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Perna.	50
45	Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Glúteos.	50
46	Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas.	51
47	Exemplo de aplicação gerada com o <i>ViMeT</i> utilizando Anaglifo Colorido, após as implementações, simulando a mama com tom de pele claro.	53
48	Exemplo de aplicação gerada com o <i>ViMeT</i> utilizando Anaglifo Colorido, após as implementações, simulando os glúteos com tom de pele negro.	54

Lista de Tabelas

1	Lista de artigos encontrados	23
2	Síntese das Técnicas Encontradas	25
3	Tabela comparativa de técnicas de estereoscopia	27
4	Lista de Artigos com Status: ACM	64
5	Lista de Artigos com Status: IEEE	65

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos e Justificativas	3
2	Aspectos Conceituais	5
2.1	Estereoscopia	5
2.1.1	Características da Visão Tridimensional	5
2.1.2	Técnicas e Dispositivos de Visualização	8
2.2	Anaglifos	15
2.2.1	Anaglifo Colorido	17
2.2.2	Métodos de Produção	17
2.2.3	Considerações Finais	20
3	Revisão Sistemática	21
3.1	Planejamento	21
3.2	Condução e Execução	22
3.3	Análise dos Resultados	25
3.4	Conclusões da Revisão Sistemática	28
4	<i>Framework ViMeT</i>	30
4.1	Ferramenta <i>ViMeTWizard</i>	31
5	Desenvolvimento e Implementação	32
5.1	Java e API Java3D	32
5.2	Implementação Inicial	33
5.3	Avaliação da Visualização	36
5.4	Integração no <i>Framework ViMeT</i>	40
6	Resultados e Discussões	45
6.1	Resultados Obtidos com a Avaliação de Visualização	45
6.2	Resultados Obtidos com a Implementação no <i>Framework ViMeT</i>	52
7	Conclusões Finais	55
8	Referências Bibliográficas	57
9	Apêndices	61
9.1	Apêndice 1: Protocolo de Revisão Sistemática	61
9.2	Apêndice 2: Formulário de Condução da Revisão	63
9.3	Apêndice 3: Formulário de Extração de Dados	66

9.4	Apêndice 4: Método adicionado a classe <i>Environment</i> para aplicar cor e iluminação às aplicações geradas utilizando Anaglifo Colorido	67
9.5	Apêndice 5: Código completo para criação da nova aba <i>Estereoscopia</i> na interface de interação do <i>framework</i>	69

Resumo

A Realidade Virtual (RV) é a tecnologia mais avançada disponível atualmente de interação humano-computador. Por meio de Ambientes Virtuais, é possível simular a realidade, possibilitando a imersão, interação e navegação do usuário em ambientes tridimensionais em tempo real. A RV tem contribuído muito para a área da Medicina, especialmente no que diz respeito a treinamento médico. O *ViMeT* (*Virtual Medical Training*) é um *framework*, em desenvolvimento, utilizado para gerar aplicações de treinamento médico empregando técnicas de RV. Nesse contexto, a estereoscopia utilizando anaglifos surge como uma das técnicas para proporcionar imersão nas aplicações geradas. Os anaglifos são imagens com efeito tridimensional, devido à sobreposição de duas perspectivas diferentes de uma mesma imagem, geradas com cores complementares, sendo então fundidas pelo cérebro. Porém, há uma perda da cor real da imagem na simulação, o que gera um desconforto e/ou dificuldade na visualização durante o treinamento médico. Esse projeto visa a implementar anaglifos coloridos no *ViMeT*, preservando ao máximo as cores dos objetos virtuais utilizados em aplicações de treinamento médico, a fim de incrementar o realismo da simulação. Para atingir o objetivo proposto, inicialmente foi realizada uma Revisão Sistemática (RS) a respeito das técnicas existentes de estereoscopia. Em seguida, foram feitas implementações em aplicações separadas para teste de coloração e iluminação. Após estes testes mais simples, foi feita uma avaliação com usuários a respeito da visualização da profundidade e da coloração dos objetos representando órgãos humanos. Por fim, com base nos resultados obtidos com a avaliação realizada, foi feita a implementação da técnica no *framework ViMeT*. Este relatório apresenta uma introdução sobre RV, aspectos conceituais de estereoscopia, anaglifos e treinamento médico virtual, detalhes da RS, informações sobre o *ViMeT*, os passos de todo o desenvolvimento e implementação e, por fim, os resultados e as conclusões.

1 Introdução

A Realidade Virtual (RV) permite que usuários interajam com um Ambiente Virtual (AV), gerado pelo computador que simula de forma tridimensional a realidade. O usuário pode navegar e interagir com os componentes virtuais do ambiente como se estivesse dentro do mesmo. Essa interação é feita por meio de canais multissensoriais que permitem ao usuário visualizar, explorar e manipular os dados em tempo real usando seus sentidos. Para isso, pode-se utilizar dispositivos não convencionais, como capacetes e luvas, e dispositivos convencionais, como *mouse* e teclado. O conhecimento do usuário sobre o mundo físico (representado no mundo virtual) pode ser transportado para o AV, facilitando essa interação [1].

Na Figura 1 é possível observar dois exemplos da interação de usuários com AVs criados utilizando RV. Em ambos os exemplos são utilizados dispositivos para visualização e nota-se que é possível mais de um usuário interagir ao mesmo tempo.



(a)



(b)

Figura 1: Ambientes Virtuais gerados para interação através da Realidade Virtual [31] [32].

A RV vem se desenvolvendo muito nos últimos anos, sendo aplicada em diversas áreas, principalmente na área de saúde. Entre as muitas possibilidades de aplicações para esse campo, especial importância é dedicada às simulações de treinamento médico, por meio das quais estudantes e profissionais podem obter conhecimento e destreza ao simular cirurgias e exames.

Utilizando sistemas de RV, médicos e estudantes podem aprender e praticar novas técnicas, planejar procedimentos e estudar de forma tridimensional e interativa por meio de objetos virtuais, aperfeiçoando seus conhecimentos e habilidades [36].

Uma das vantagens do treinamento médico virtual é a disponibilidade dos sistemas desenvolvidos. No treinamento tradicional ou convencional, muitas vezes são utilizados cobaias ou modelos plásticos, que possuem manipulação limitada, po-

dendo prejudicar o treinamento ao modificar as suas propriedades após uso intenso. Já os sistemas de RV não possuem alteração nos modelos virtuais manipulados e podem ser usado inúmeras vezes por um número ilimitado de alunos [36].

Há grandes avanços tecnológicos no desenvolvimento de sistemas de RV para Medicina, porém ainda há um problema a ser enfrentado: o realismo das aplicações criadas. A simulação deve reproduzir exatamente o que é visto e sentido na realidade, garantindo a eficiência do treinamento. Com isso, as aplicações precisam reproduzir as cores, texturas e formas o mais próximo possível da realidade, além da necessidade de um ótimo retorno para o usuário quanto a modificações, movimentos e sensações.

Existem diversas linguagens e bibliotecas que possibilitam a criação de sistemas de RV, como as linguagens Java, C e as bibliotecas *OpenGL*, *WorldToolkit*, entre outras. A linguagem Java é muito utilizada para tal finalidade, e permite a criação de ambientes e objetos virtuais, usando-se, por exemplo, a biblioteca Java 3D [20].

A criação de AVs exigem um conjunto de atividades como renderização de objetos, manipulação de dispositivos, definições de propriedades de cores e texturas, entre outros. Para facilitar a execução dessas tarefas é comum o uso de bibliotecas e *frameworks*. Esses *frameworks* podem ser orientados a objetos, consistindo em um conjunto de classes concretas e abstratas que se relacionam, usadas para criar aplicações dentro de um determinado domínio [21]. Para as áreas de simulação e treinamento médico existem diversos *frameworks* utilizados para criação de aplicações de RV, como MeVisLab, SCIRun, NeatVision, VisProg, LabView, CyberMed, ViMeT [26].

A imersão é uma das características da RV que proporciona ao usuário a sensação de “estar dentro” do AV. Essa sensação é proporcionada na sua maior parte pelas técnicas de estereoscopia, que consistem em exibir duas imagens distintas, uma para cada olho, as quais são fundidas no cérebro, proporcionando a percepção do efeito tridimensional e, com isso, a sensação de profundidade [2]. Dentre essas técnicas estão os anaglifos.

Os anaglifos são constituídos por um par de imagens de cores diferentes – normalmente vermelho e azul – que representam duas perspectivas diferentes de um mesmo objeto. Essas duas perspectivas são obtidas por um deslocamento físico das visões dos modelos do AV no eixo “X” das coordenadas cartesianas, chamado de paralaxe, que é necessária para suprir a distância dos olhos do ser humano. Além disso, deve-se levar em conta a distância focal dos olhos do usuário em relação aos objetos do AV, que faz com que o modelo não seja visto sempre na mesma posição, necessitando então de uma rotação no eixo “Y” das coordenadas cartesianas [27].

Para visualizar o efeito dos anaglifos são necessários óculos que filtram as cores empregadas. Atualmente existem diversas técnicas relacionadas aos anaglifos. O

chamado anaglifo verdadeiro, apresenta baixo custo, pois não necessita de dispositivos específicos, visto que os óculos podem ser confeccionados pelo próprio usuário [27]. Esta técnica apresenta um resultado satisfatório quanto à sensação de profundidade da imagem resultante, porém há uma perda na qualidade da coloração da imagem ao utilizar as cores azul e vermelha, pois esses tons absorvem as outras cores das imagens, o que dificulta a sua visualização [28].

Em uma simulação cirúrgica, por exemplo, é fundamental que se preserve as cores reais, para que o treinamento se aproxime ao máximo da realidade. Uma alternativa para esse problema é a implementação da técnica de anaglifo colorido, com a finalidade de diminuir a perda da qualidade da imagem simulada, garantindo a eficiência do treinamento médico. A forma de visualização continua sendo a mesma: óculos com filtros polarizadores que filtram a cor vermelha para o olho esquerdo e ciano, balanço equilibrado entre azul e verde, para o olho direito [28].

Com essa técnica, é notado que a tonalidade das imagens melhora. Isso se deve à utilização da cor verde, pois com ela tem-se mais canais de cores disponíveis e, então, é possível fazer um maior número de combinações de tons para a imagem resultante, melhorando a qualidade da coloração e aumentando a sensação de realidade [28].

1.1 Objetivos e Justificativas

O objetivo deste projeto é implementar anaglifos coloridos no *framework ViMeT*, melhorando a visualização tridimensional dos objetos modelados para o treinamento médico.

Aplicações de Realidade Virtual têm sido desenvolvidas para diversas finalidades, sendo muito utilizadas na área de Medicina, especialmente para treinamento médico. Essas aplicações auxiliam profissionais e estudantes da área a testar e aprimorar seus conhecimentos ao oferecer alto realismo na simulação. O *framework ViMeT* gera aplicações para criar ambientes virtuais para treinamento médico, possibilitando a simulação de cirurgias e exames [37].

O Anaglifo Colorido possui algumas vantagens em relação a outros dispositivos de visualização, como o seu baixo custo, facilidade de implementação, além de preservar melhor as cores da imagem original, em comparação ao Anaglifo Verdadeiro, permitindo dessa forma que a simulação possua um alto grau de realismo.

O presente relatório está dividido da seguinte forma: na Seção 2 são conceituadas algumas técnicas de estereoscopia e de anaglifos; a Seção 3 apresenta uma Revisão Sistemática sobre as técnicas de estereoscopia; na Seção 4 é feita uma breve descrição do *framework ViMeT* e da sua ferramenta de instanciação *ViMeT Wizard*; na Seção 5 são detalhados aspectos envolvendo o desenvolvimento e implementação deste projeto, bem como os detalhes da avaliação realizada; na Seção

6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a pesquisa e a avaliação realizadas; e, por fim, na Seção 7 são apresentadas as conclusões.

2 Aspectos Conceituais

Nesta seção são apresentados alguns conceitos de estereoscopia e de algumas técnicas existentes, entre elas a técnica de anaglifos, que foi utilizada para atingir o objetivo proposto neste projeto.

2.1 Estereoscopia

A visão humana é capaz de enxergar o ambiente em três dimensões, com perspectiva de profundidade, graças a um “mecanismo” existente no cérebro humano. Ao olharmos uma cena, a enxergamos com profundidade, pois cada olho capta diferentes perspectivas bidimensionais de uma mesma imagem. Pelo fato dos olhos estarem separados horizontalmente por uma certa distância, cada um deles enxergará uma imagem diferente, deslocada alguns centímetros para o lado (esquerdo ou direito). Então, duas imagens ligeiramente diferentes chegam ao cérebro humano e são interpretadas e fundidas por ele, resultando na imagem a qual enxergamos quando olhamos alguma cena. Essa diferença de visualização entre os olhos esquerdo e direito não é percebida pelo ser humano, pois o cérebro é capaz de rapidamente interpretar as duas imagens e juntá-las formando uma única. Além disso, outros aspectos compõem a visão tridimensional enxergada pelos olhos humanos, como nitidez das cores, sombras, entre outros. Todos esses aspectos, em conjunto, formam a visão tridimensional [19] [30].

A estereoscopia é a capacidade do ser humano de enxergar cenas tridimensionalmente. Existem diversas técnicas através das quais é possível simular a estereoscopia na Computação, sendo uma delas a de anaglifo.

2.1.1 Características da Visão Tridimensional

A visão tridimensional possui diversas características, sendo uma delas é a convergência. Ao olhar para um determinado objeto, é possível enxergá-lo devido ao fato de que os raios de luz provenientes do objeto entram nos olhos e, então, devem se mover juntos, atingindo a retina. Quando o objeto não está muito distante, os olhos apontam diretamente para ele, focalizando-o; já quando está muito distante, os dois olhos apontam na mesma direção, focalizando eixos quase paralelos. Como os olhos estão separados aproximadamente 6,4 centímetros, é necessário que eles tenham que se voltar para dentro para ver claramente o objeto observado; este processo de virar os olhos para enxergar um objeto de forma clara é chamado de convergência. Assim, cada olho enxerga uma imagem ligeiramente diferente e, quanto mais próximo estiver o objeto, maior a convergência [19].

Um outro aspecto importante é a perspectiva. Ao observar um objeto, o seu tamanho vai depender da distância em que o observador se encontra dele, de

modo que quanto mais distante, menor parecerá o objeto. Com isso, um mesmo objeto pode ter tamanhos diferentes, dependendo da distância da qual está sendo observado, sendo esse efeito chamado de perspectiva. A perspectiva é determinada por pontos de fuga criados nas imagens e é um dos aspectos mais utilizados para obter o efeito tridimensional [19].

Outro fator que pode aumentar o realismo em modelos tridimensionais é a iluminação, que possui diversas técnicas para criação. A oclusão também auxilia bastante na percepção tridimensional. Ela encobre determinadas partes de um objeto indicando que estes se encontram atrás de outros objetos. Seguindo nessa mesma linha, outro aspecto importante é o sombreado: a projeção de sombras auxilia na percepção de que um objeto está apoiado sobre um plano ou “flutuando”, dependendo da distância entre o objeto e sua própria sombra [19].

Duas distâncias devem ser consideradas na produção de uma imagem tridimensional: a distância horizontal (como a distância entre os dois olhos) e a distância entre o observador e um anteparo de referência. A distância horizontal é chamada disparidade da retina. A outra distância é chamada paralaxe. Ambas devem ser calculadas para se obter a melhor qualidade na visualização [19].

A disparidade da retina é resultado da separação dos nossos olhos por alguns centímetros, e se refere à distância entre pontos correspondentes nas imagens vistas por cada um dos olhos. Desse modo, cada olho tem uma perspectiva diferente da mesma cena. Ao projetar cada imagem no olho correspondente, é possível observar o efeito estereoscópico [19].

Desse modo, para simular a distância interocular podem ser exibidas duas imagens ligeiramente diferentes de uma mesma cena, deslocadas horizontalmente. Utilizando alguma das técnicas de estereoscopia, essas imagens são sobrepostas, proporcionando a sensação de profundidade [35].

A paralaxe se refere à distância entre o observador e a tela de projeção das imagens. Essa distância pode ser classificada em três tipos, dependendo da localização do ponto de cruzamento dos eixos de visualização dos olhos esquerdo e direito: negativa, zero e positiva [19]. Na Figura 2 é possível observar os três tipos de paralaxe.

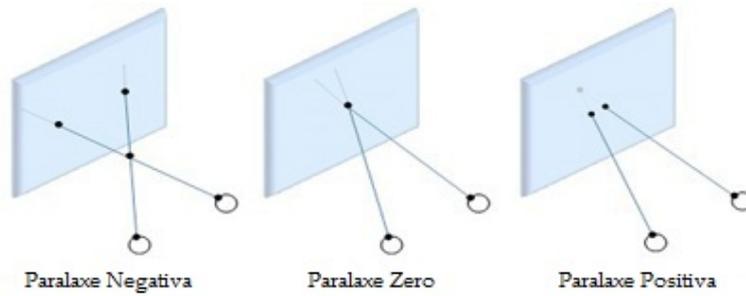


Figura 2: Os três tipos de paralaxe [19].

Na paralaxe negativa, os eixos de visualização se cruzam antes do anteparo, fazendo com que o observador tenha a sensação de visualizar a imagem fora da tela de projeção, e o foco de visualização dos olhos é invertido, ou seja, o olho direito enxerga a imagem exibida na parte esquerda e o olho esquerdo enxerga a imagem exibida na parte direita. Na paralaxe zero, os eixos de visualização se cruzam exatamente no anteparo, fazendo com que o observador tenha a sensação de visualizar a imagem exatamente na tela de projeção, e o foco de visualização dos olhos é exatamente no mesmo ponto. Na paralaxe positiva, os eixos de visualização se cruzam depois do anteparo, fazendo com que o observador tenha a sensação de visualizar a imagem dentro da tela de projeção, e o foco de visualização dos olhos também é invertido [19]. Na Figura 3 é possível observar, para cada valor de paralaxe, onde tem-se a sensação de visualizar a imagem.

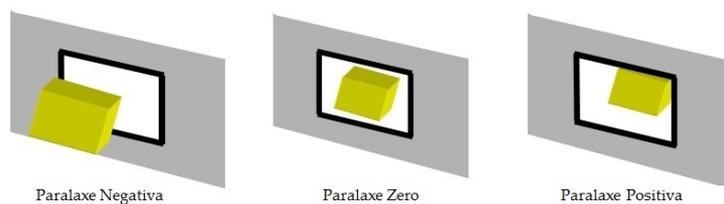


Figura 3: Representação da sensação da posição da imagem para cada valor de paralaxe [24].

Existem duas formas de estereoscopia: a passiva e a ativa. Na primeira, as duas imagens referentes a cada um dos olhos são exibidas juntas e os óculos utilizados para visualização servem como filtros para as imagens; já na segunda, as imagens são exibidas de forma alternada, e os óculos funcionam em sincronia com a exibição das imagens, de forma a exibir para cada olho a sua imagem correspondente [35].

A estereoscopia passiva normalmente é utilizada em aplicações em que é necessário baixo custo e facilidade de reprodução das imagens, como por exemplo na educação, podendo ser impressa. Já a estereoscopia ativa geralmente é utilizada

em aplicações que necessitam de uma ótima qualidade na visualização, proporcionando grande sensação de profundidade, o que compensa o seu alto custo, sendo um exemplo o cinema.

2.1.2 Técnicas e Dispositivos de Visualização

Existem diversas técnicas de estereoscopia utilizadas para aplicações de Realidade Virtual. Tomoyose [9] cita diversas delas, as quais são apresentadas a seguir.

Estereoscópio

O estereoscópio é um equipamento com lentes e espelhos arrumados de forma a direcionar as imagens corretas para os olhos esquerdo e direito, seguindo os princípios da óptica. Com ele é possível ajustar a disparidade focal e a paralaxe conforme desejado [9]. Na Figura 4 é possível observar como funciona essa técnica.

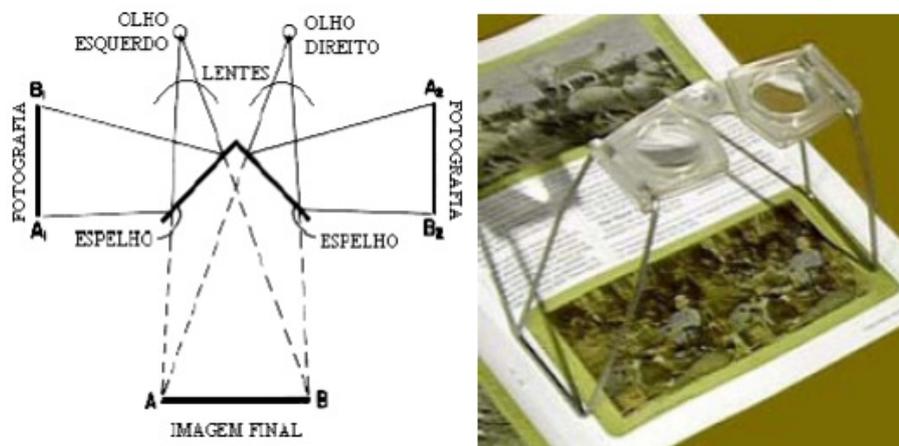


Figura 4: Diagrama Básico de um Estereoscópio e Exemplo do Equipamento [9].

Slides Estéreo

Essa técnica utiliza um equipamento parecido com um binóculo, no qual um par de slides estéreo é colocado em um dos lados e, no outro, há duas aberturas para que o observador possa posicionar os olhos para visualização [9]. Na Figura 5 é possível observar dois exemplos de visualizadores destes slides.



Figura 5: Visualizadores de Slides Estéreos [9].

Par Estéreo

A técnica de par estéreo consiste na exibição de duas imagens que formam um par estereoscópico lado a lado, que pode ser observado sem a utilização de nenhum equipamento. Mas para visualizar o efeito estereoscópico, é necessário utilizar alguma técnica de visualização, como visão paralela ou visão cruzada.

Na visão paralela, para observar o par de imagens é necessário que estas estejam lado a lado, com a imagem esquerda no lado esquerdo e a imagem direita no lado direito, e o observador deve observá-las divergindo os olhos; nesse caso, deve-se olhar através das imagens, observando um ponto distante. Na visão cruzada, para observar o par de imagens é necessário que estas estejam lado a lado, com a imagem esquerda no lado direito e a imagem direita no lado esquerdo, e o observador deve observá-las convergindo os olhos; nesse caso, deve-se olhar um ponto a frente das imagens, como um dedo posicionado.

Um fato interessante é que ao posicionar os olhos para visualizar um dos pares, também é possível visualizar o outro par em estéreo, porém sem a mesma nitidez de profundidade do outro. Isso mostra que, mesmo invertendo a informação dos olhos, o cérebro é capaz de interpretar as imagens como um par coerente e formar a cena tridimensional [9]. Na Figura 6 é possível observar o par estéreo com visão paralela (Figura 6(a)) e com visão cruzada (Figura 6(b)).

Estereograma

Estereograma é uma imagem em duas dimensões que possui informação estereoscópica (tridimensional) oculta. Existem dois tipos: de pontos aleatórios e de textura, e ambos podem ser visualizados através da mesma técnica utilizada no par estéreo. A idéia dessa técnica é juntar em uma única imagem a visão do olho esquerdo e a do olho direito, reajustando as cores dos pixels para manter a coerência entre pixels correspondentes nas duas visões [9]. O resultado, mostrado na Figura 7, é uma imagem com pontos aleatórios (Figura 7(a)) ou textura (Figura 7(b)).

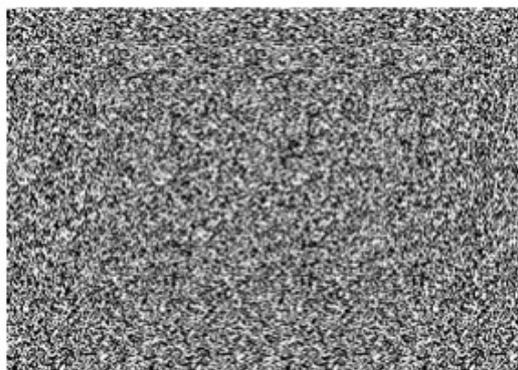


(a) Visão Paralela

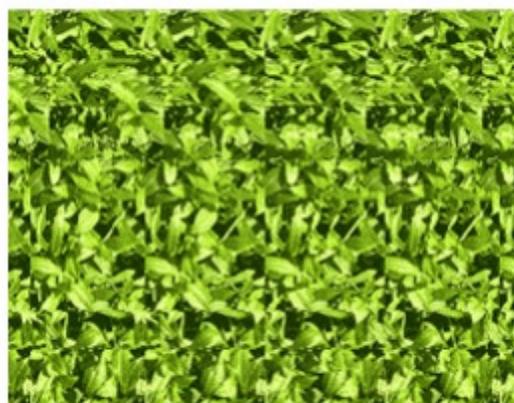


(b) Visão Cruzada

Figura 6: Par estéreo com dois tipos de visão [9].



(a) Estereograma de Pontos Aleatórios



(b) Estereograma de Textura

Figura 7: Estereograma [9].

Efeito *Pulfrich*

O efeito *pulfrich* se baseia no fato de a visão humana perceber uma luz menos intensa de forma mais lenta. Para visualizar o efeito da estereoscopia, o observador deve usar um filtro que torna a visão mais escura para um dos olhos, fazendo com que os olhos tenham velocidades de percepção diferentes de uma animação, provocando um leve deslocamento entre as imagens vistas pelos dois olhos, produzindo, assim, a sensação de profundidade [9]. Na Figura 8 são mostrados os óculos utilizados para visualizar o efeito Pulfrich e quadros de uma animação.

ChromaDepth

A técnica de *ChromaDepth* utiliza cores para definir a profundidade dos elementos. São utilizados óculos para visualização, os quais possuem lentes que desviam

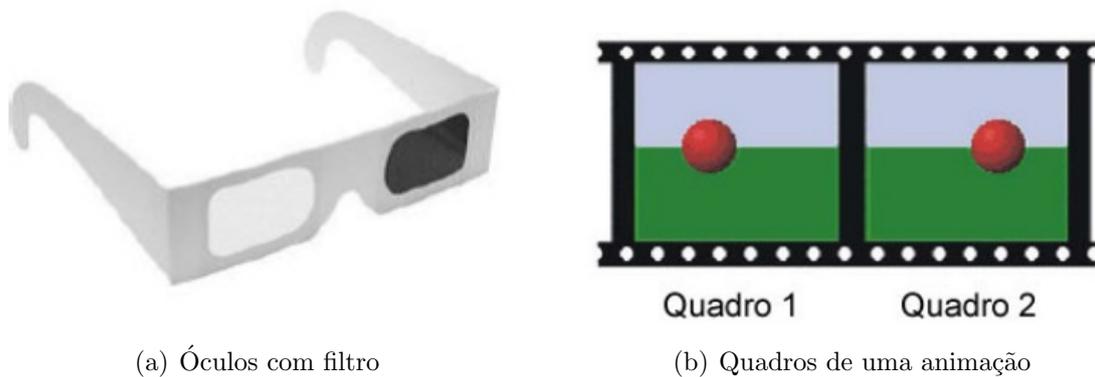


Figura 8: Óculos para visualização do efeito e quadros de uma animação [9].

a luz de acordo com sua cor, proporcionando a disparidade necessária para gerar o efeito tridimensional. Os elementos de cor vermelha são vistos mais próximos do observador e, quanto mais a cor se aproxima do azul, os elementos são vistos mais distantes [9]. A distância percebida para cada cor é mostrada na Figura 9(b) e os óculos com filtro *ChromaDepth* são apresentados na Figura 9(a).

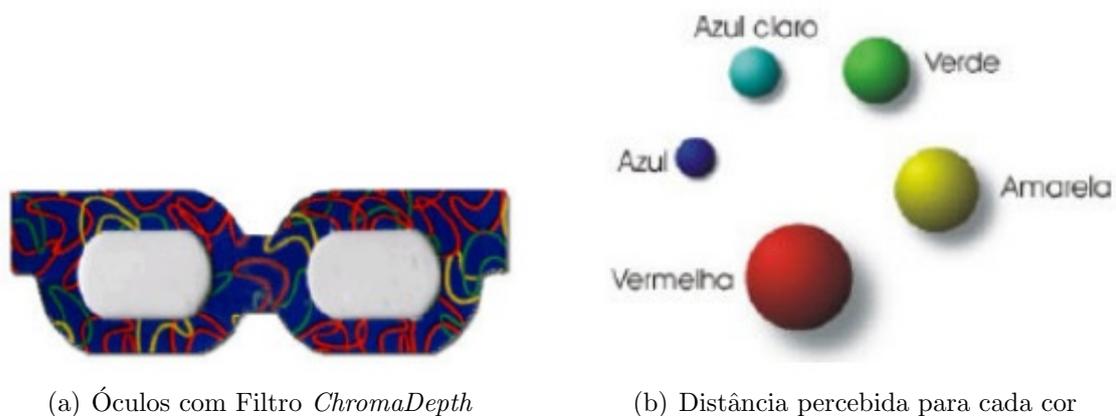


Figura 9: Técnica de *ChromaDepth* - Óculos para visualização e diferença na distância percebida para cada cor [9].

ColorCode 3-D

Essa técnica utiliza a mesma ideia dos anaglifos. Nela, separa-se a imagem que cada olho recebe isolando uma faixa do espectro para o olho esquerdo e outra para o olho direito. Porém, diferentemente dos anaglifos, em que a divisão do espectro

é equilibrada, no *ColorCode* a separação é feita de forma desbalanceada, deixando uma pequena parcela para um olho e o restante para o outro. É como se um olho recebesse todas as cores, com um deslocamento na palheta de cores observada, enquanto o outro olho visualiza em escala de cinza e complementa a imagem com a profundidade [9]. Na Figura 10 é exibida uma imagem em *ColorCode 3-D* e o respectivo óculos para visualização.



(a) Imagem em *ColorCode 3-D*



(b) Óculos com filtros *ColorCode*

Figura 10: Imagem produzida em *ColorCode 3-D* e óculos com filtros para visualização [9].

Polarização da Luz

A luz visível constitui uma faixa do espectro eletromagnético e se propaga através de ondas eletromagnéticas que vibram arbitrariamente para todas as direções perpendiculares à direção de deslocamento. Nessa técnica, a luz é polarizada, fazendo com que essas direções não sejam mais arbitrárias. Para criar o efeito estereoscópico, as imagens vistas pelos olhos devem estar sobrepostas, mas com polarizações diferentes. Esses filtros também devem produzir ondas ortogonais entre si [9].

Uma forma comum de exibição da imagem é utilizar dois projetores alinhados com filtros polarizadores e projetar o par estereoscópico em uma tela que mantenha a polarização da luz. Ao utilizar os óculos com filtros polarizados adequados, cada olho recebe a imagem correta, produzindo, então, a estereoscopia [9]. Para visualização correta, é necessário que o observador esteja alinhado em relação à tela. O esquema de visualização e os óculos utilizados são mostrados na Figura 11.

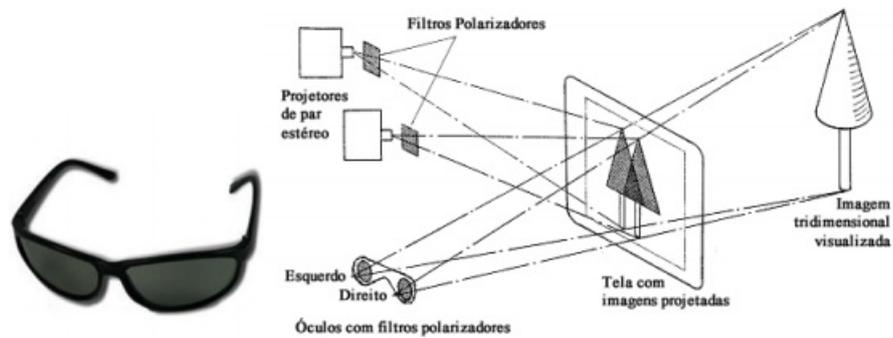


Figura 11: Óculos com filtros polarizados e esquema de visualização de estereoscopia por polarização da luz [9].

Óculos Obturadores

Nessa técnica, as imagens referentes aos olhos esquerdo e direito aparecem alternadamente para o observador. Para visualização, são necessários óculos obturadores, que bloqueiam a imagem para um olho, enquanto o outro enxerga a imagem correta, e assim sucessivamente. Esses óculos possuem, normalmente, lentes de cristal líquido e o bloqueio é feito em sincronia com a exibição das imagens, e podem ser observados na Figura 12. Os óculos precisam ser conectados ao computador ou à televisão para possibilitar a sincronização entre a geração das imagens e o bloqueio das lentes; porém, também há óculos sem fio, com os quais a sincronização é feita por meio de raios infravermelhos [9].



Figura 12: Óculos obturador com fio e sem fio [9].

Essa técnica se baseia no fato de que quando visualizamos uma imagem, esta fica retida por um pequeno tempo no nosso cérebro. Assim, por exemplo, o olho esquerdo vê a imagem referente a ele e, logo depois, o olho direito vê a imagem referente a ele. Como a imagem vista pelo olho esquerdo ainda está gravada no

cérebro, é possível ver a imagem resultante em três dimensões [9].

Head Mounted Display (HMD)

O *Head Mounted Display* é uma espécie de capacete no qual há o completo isolamento entre a imagem gerada para o olho esquerdo e a imagem gerada para o olho direito, permitindo uma ótima qualidade na visualização. Existem dois tipos de HMDs: os HMDs de vídeo (Figura 13) e os HMDs ópticos (Figura 14). No primeiro, o observador enxerga apenas o que é exibido nos *displays* do equipamento; no segundo, há lentes semitransparentes, que fazem com que haja uma mistura do que é exibido nos *displays* e do que o observador enxerga no mundo real pela visão natural [9].



Figura 13: Imagem resultante usando HMD de vídeo e HMD de vídeo com duas câmeras acopladas [9].



Figura 14: Imagem resultante usando HMD óptico e HMD óptico [9].

Autoestereoscopia

Utilizando a autoestereoscopia não é necessária a utilização de nenhum equipa-

mento para visualização do efeito estereoscópico, ou seja, o observador consegue enxergar a imagem tridimensional a olho nu. Devido a isso, muitas soluções podem ser criadas para geração de estereoscopia, dependendo da definição de autoestereoscopia utilizada. Algumas soluções são: barreiras de paralaxe, lentes lenticulares, displays volumétricos, entre outros [9].

Par Estéreo Alternado

Apesar de essa técnica permitir a visualização de cenas com profundidade, ela não pode ser considerada como uma técnica de estereoscopia, pois não está baseada na disparidade das imagens obtidas por cada olho, ponto fundamental da estereoscopia, mas sim no princípio da paralaxe do movimento. Assim, uma imagem é, na verdade, uma animação constituída de pelo menos duas imagens de pontos de vista diferentes de uma mesma cena. Ao exibir essas imagens de forma cíclica e alternada, o observador tem a mesma sensação de paralaxe obtida quando desloca levemente a cabeça observando o mundo real [9]. Na Figura 15 são mostradas duas imagens de uma animação de par estéreo alternado.



Figura 15: Imagens de uma animação de par estéreo alternado [9].

2.2 Anaglifos

A técnica de anaglifos utiliza filtragem de cores para produção da imagem tridimensional: cada um dos filtros é aplicado apenas sobre uma das imagens. Inicialmente, duas cores são utilizadas: azul e vermelho. O filtro vermelho é aplicado sobre a imagem referente à visão do olho esquerdo e o filtro azul é aplicado sobre a imagem referente à visão do olho direito. Os filtros são utilizados para mostrar ou esconder determinadas informações, de acordo com a cor que está sendo aplicada sobre a imagem. Para criação da imagem estéreo, as duas imagens são sobrepostas, adicionando as cores de *pixels* que possuem a mesma coordenada.

Para visualização das imagens são necessários óculos com lentes coloridas para a filtragem correta das imagens, de forma que o olho esquerdo, que possui a lente vermelha, receba apenas a imagem com filtro vermelho, bloqueando a outra imagem; e o olho direito, que possui a lente azul, receba apenas a imagem com filtro azul, bloqueando a outra imagem [25].

Na Figura 16(b), é apresentado um óculos para visualização da imagem estereoscópica produzida com anaglifos. As imagens com os filtros correspondentes e a imagem resultante são mostradas na Figura 16(a).

As imagens utilizadas para aplicação do filtro colorido e produção da imagem estereoscópica possuem uma grande quantidade de cores. Ao produzir a imagem tridimensional, sempre há uma perda de cores em uma ou em ambas as imagens utilizadas, prejudicando a visualização. Porém, essa perda pode ser minimizada escolhendo-se cuidadosamente o filtro a ser aplicado [25].

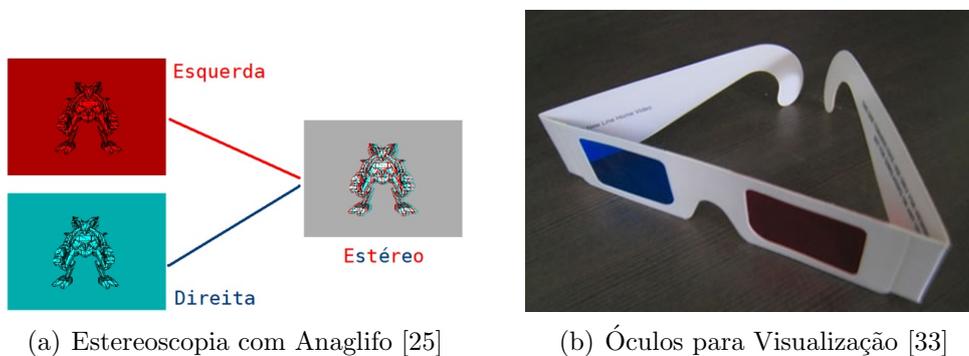


Figura 16: Estereoscopia com Anaglifo e Óculos para Visualização.

Os anaglifos possuem vantagens e desvantagens, que podem ser analisadas para determinar se é um bom método a ser utilizado para produção de estereoscopia [25]:

- **Vantagens:**

- melhor percepção de profundidade;
- baixo custo;
- facilidade de produção e reprodução;
- dispositivo para visualização facilmente confeccionado.

- **Desvantagens:**

- dificuldade de reprodução das cores e perda de cores e intensidade da imagem;

- vazamento de informações de uma imagem para um olho, quando esta deveria ser apresentada somente ao outro olho (*crosstalk* ou *ghost*).

A seguir são apresentadas algumas técnicas de anaglifos, inclusive o anaglifo colorido, baseado em [19], assim como as figuras exibidas.

2.2.1 Anaglifo Colorido

Este método utiliza integralmente as componentes vermelha, azul e verde da imagem original, de forma que a componente vermelha é tomada da imagem esquerda e as componentes azul e verde da imagem direita. Com ele há uma reprodução parcial de cores e aparecimento de rivalidade entre as retinas (rivalidade retínica).

A rivalidade retínica ou binocular ocorre quando o cérebro não consegue interpretar separadamente as informações recebidas por cada olho, fazendo com que as cores dos objetos pareçam saltar ou piscar durante a visualização, devido à alternância entre as imagens, sendo cada uma recebida no cérebro de cada vez; com isso, o olho dominante determina qual imagem será interpretada. Essa rivalidade acontece em razão das diferenças nas cores captadas e das diferenças de brilho e contrastes entre as duas imagens (esquerda e direita) após a modificação das cores.

Na Figura 17 é possível ver a imagem resultante utilizando-se essa técnica.



Figura 17: Anaglifo Colorido [19].

2.2.2 Métodos de Produção

Para produzir um anaglifo em um computador, são obtidas duas imagens do par estereoscópico e, então, é feita a coloração adequada de cada uma das imagens *pixel* a *pixel*, somando-se, depois, os *pixels* das duas imagens. Existem diversas formas de se produzir estereoscopia utilizando anaglifos, como as técnicas de anaglifo puro, anaglifo cinza, anaglifo semicolorido, anaglifo otimizado [19].

Anaglifo Puro

Nesse método, todas as cores da imagem original são removidas, e aplicam-se aos componentes vermelho e azul da imagem final quantidades proporcionais de cada componente RGB das imagens esquerda e direita, respectivamente. Com a utilização desse método, a imagem resultante fica escurecida, há uma perda de cores e há um pequeno vazamento de cor nos filtros. Esta última ocorre quando a imagem de um olho não é filtrada completamente pelo seu filtro correspondente [19].

Na Figura 18 é possível ver a imagem resultante utilizando-se essa técnica.



Figura 18: Anaglifo Puro [19].

Anaglifo em Escala de Cinza

Nesse método, é acrescentado à imagem final uma componente no canal verde, constituída proporcionalmente pelas cores da imagem original direita, produzindo uma imagem em escala de cinza. A imagem final produzida utilizando-se esse método, possui perda de cores ficando com a imagens em tons de cinza, e há mais vazamento do que na técnica de anaglifo puro [19].

Na Figura 19 é possível ver a imagem resultante utilizando-se essa técnica.



Figura 19: Anaglifo Cinza [19].

Anaglifo semicolorido

Este método deriva do método de anaglifo colorido. Nele, há a reprodução em partes das componentes azul, verde e vermelha da imagem esquerda, mantendo intactos os canais azul e verde da imagem direita. Com isso, há uma reprodução parcial das cores, porém menor que nos anaglifos coloridos, com uma menor rivalidade retínica [19].

Na Figura 20 é possível ver a imagem resultante utilizando-se essa técnica.



Figura 20: Anaglifo semicolorido [19].

Anaglifo Otimizado

Neste método, aplica-se à imagem final parte dos canais verde e azul da imagem esquerda, mantendo intactas as componentes azul e verde da imagem direita. Com esse método, é possível ter reprodução parcial de cores, mas com perda dos tons de vermelho do original, e uma rivalidade retínica bastante reduzida [19].

Na Figura 21 é possível ver a imagem resultante utilizando-se essa técnica.



Figura 21: Anaglifo Otimizado [19].

2.2.3 Considerações Finais

Todos os métodos de produção de anaglifo utilizam combinações das componentes vermelha, verde e azul das imagens originais, gerando a imagem final com profundidade. A técnica de anaglifo puro é a mais utilizada, porém com ela a imagem fica escurecida e em um tom magenta, dificultando a visualização. O método de anaglifo em escala de cinza resulta em uma imagem final em tons de cinza, o que prejudica o realismo da simulação. As técnicas de anaglifo semicolorido e anaglifo otimizado possuem perda parcial de cores.

Assim, analisando todos os métodos de produção, verificou-se que o método mais viável para implementação neste projeto é a técnica de anaglifo colorido. Apesar de possuir, também, uma perda parcial da coloração na imagem final, é uma perda menor em comparação com as demais técnicas, preservando melhor as cores das imagens originais.

3 Revisão Sistemática

A Revisão Sistemática (RS) é uma metodologia de pesquisa desenvolvida para reunir e avaliar estudos relevantes relacionados a um determinado tema. O processo de desenvolvimento da RS obedece uma sequência bem definida de passos metodológicos, seguindo protocolos desenvolvidos com raciocínio *a priori*, o que a diferencia de revisões comuns. Ela deve ser planejada antes de ser executada e todo o seu processo deve ser documentado, bem como resultados intermediários [4].

A RS é importante, pois além de auxiliar na análise de dados referentes a um determinado assunto, resumindo as evidências existentes de forma ágil, também consegue identificar lacunas em pesquisas já existentes e pode servir como ponto de partida para pesquisas futuras sobre o mesmo assunto [5].

Os estudos relevantes encontrados durante as pesquisas para auxiliar na RS são chamados de estudos primários. A RS, depois de pronta, é considerada um estudo secundário [5] e pode ser utilizada, posteriormente, para consulta futura.

A presente RS foi conduzida durante o período de Agosto/2011 a Setembro/2011, tendo sido dividida em três fases: Planejamento, Condução e Análise dos Resultados; a explicação detalhada de cada uma delas é feita nas próximas seções.

3.1 Planejamento

Na fase de Planejamento, são estabelecidos os objetivos da pesquisa e o modo como a RS será conduzida. Para tal, como todos os passos da RS são documentados, é criado um Protocolo de Revisão Sistemática, no qual são definidos e registrados os dados que guiarão toda a revisão. No protocolo são definidos itens como: questão de pesquisa, critérios de seleção de fontes, palavras-chave, fontes em que serão realizadas as buscas, critérios de inclusão e de exclusão de trabalhos. Estes últimos são critérios definidos pelo condutor da RS que permitem decidir se um trabalho encontrado será incluído na pesquisa ou não.

Para o protocolo do presente projeto foram especificados:

- **Objetivo:** analisar, por meio de pesquisas bibliográficas, as diversas formas de implementação de estereoscopia em aplicações de RV, apresentando conceitos, vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas.
- **Questão de Pesquisa:** quais as técnicas existentes, e as vantagens e desvantagens de cada uma no que tange a implementação de estereoscopia em aplicações de realidade virtual?

- Fontes utilizadas: foram selecionadas bases importantes e conhecidas da área de Ciência da Computação disponíveis na *web*, a saber: *IEEE Xplore Digital Library*, *ACM Digital Library*, SCOPUS e Teses da USP.
- Critérios de Inclusão: para serem incluídos, os trabalhos deveriam (i) ser recentes; (ii) estar relacionados às técnicas de estereoscopia, disponíveis em bases de dados científicas, publicados e aceitos a partir de 2005; (iii) estar dentro do contexto de estereoscopia aplicada a RV.
- Critérios de Exclusão: foram descartados trabalhos que (i) não estavam dentro do contexto de RV; (ii) não discutiam técnicas de estereoscopia; (iii) não explicavam a técnica de estereoscopia utilizada no experimento.
- Palavras-chave: na Análise Exploratória, observou-se que a técnica de anaglifo pode ser considerada de baixo custo e por isso foi incluída na combinação os seguintes termos *stereoscopy* com *anaglyph*, 3D (ou *three-dimensional*), *virtual reality*, *stereo vision* e *depth* (ou *immersion*). Para cada base de dados, foi utilizada uma combinação diferente dessas palavras:
 - *ACM Digital Library*: ((*stereoscopy*) AND (*anaglyph*) AND ((3D) OR (*three-dimensional*)))
 - *IEEE Xplore Digital Library*: ((*virtual reality*) AND ((*stereo vision*) OR (*stereoscopy*)) AND ((*depth*) OR (*immersion*)) AND ((3D) OR (*three-dimensional*)))
 - Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP: ((estereoscopia) OU (anaglifo))

O protocolo completo desta RS é mostrado no Apêndice 1.

3.2 Condução e Execução

Após finalizado o Protocolo, se inicia a fase de condução, na qual a Revisão Sistemática é executada. Nessa fase, são realizadas as pesquisas nas fontes listadas, utilizando-se as combinações de palavras-chave referentes a cada uma delas, a fim de encontrar trabalhos relevantes relacionados ao tema.

Em seguida, para cada uma das fontes são preenchidos Formulários de Condução, listando todos os trabalhos encontrados. Então, são analisados o título e o *abstract* de cada um desses trabalhos para determinar quais trabalhos serão incluídos na RS e quais serão descartados. Essa escolha é feita com base nos critérios de inclusão e exclusão citados anteriormente. Após definição dos trabalhos incluídos, inicia-se a última fase da RS, fase de Análise. Os formulários de condução desta Revisão Sistemática estão disponibilizados no Apêndice 2.

Na Tabela 1 estão listados todos os trabalhos encontrados nas fontes pesquisadas e sua situação (incluído ou excluído).

Tabela 1: Lista de artigos encontrados

Número	Referência	Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão	Status
(1)	CARVALHO, RAPOSO, GATTASS (2009)	(a) e (b)	(b)	Excluído
(2)	ZACHARA, ZAGAL (2009)	(a) e (b)	(b)	Excluído
(3)	SONG, MORKHOV, LOADER, SIMMONDS (2009)	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
(4)	SCHOOTEN, DIJK, ZUDILOVA-SEINSTRAS, SUINESIAPUTRA, REIBER (2010)	(a), (b) e (c)		Incluído
(5)	OLIVEIRA, PAVARINI, NUNES, BOTEGA, ROSATTO, BEZERRA (2006)	(a) e (b)	(b)	Excluído
(6)	LIVATINO, PRIVITERA (2006)	(a), (b) e (c)		Incluído
(7)	TIBOR, MIR-SAD (2008)	(a), (b) e (c)		Incluído
(8)	ERICSSON, OLWAL (2011)	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
(9)	TOKUNAGA, CORRÊA, NAKAMURA, NUNES, TORI (2010)	(a) e (b)	(b)	Excluído

(10)	ANDRADE, GOULARTE (2009)	(a), (b) e (c)		Incluído
(11)	SITEK (2008)	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
(12)	SHAKER, AS- MAR, ELHAJJ (2010)	(a) e (b)		Excluído
(13)	ALTINAY, KUHIRT (2008)	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
(14)	ZHONG, XIUWEN, ZHANG, EFENG (2009)	(a) e (b)		Excluído
(15)	AZARI, CHENG, BASU, (2009)	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
(16)	IONESCU (2011)	(a) e (b)		Excluído
(17)	ZOU, YAN (2010)	(a) e (b)		Excluído
(18)	SAKAMOTO, HOSOMI (2009)	(a), (b) e (c)		Incluído
(19)	WATSON, TEM- KIN, HEINRI- CHS, KRUM- MEL, GORMAN (2002)	(a), (c) e (d)		Excluído
(20)	JUNIOR, LUIZ (2004)	(c) e (d)	(a)	Excluído
(21)	MACHADO (2003)	(c) e (d)	(a)	Excluído
(22)	PEREIRA (2006)	(b)	(b)	Excluído
(23)	SEABRA(2009)	(b), (c) e (d)		Incluído
(24)	SOUZA (2007)	(b), (c) e (d)		Incluído
(25)	TOMOYOSE (2010)	(b) e (c)		Incluído

3.3 Análise dos Resultados

Após definição dos trabalhos incluídos, cada um destes é lido integralmente e são preenchidos Formulários de Extração, contendo o nome do artigo, os autores, a data e o veículo de publicação, a fonte, um resumo escrito pelo condutor da RS, comentários adicionais e referências relevantes. Esses formulários incluem informações básicas dos trabalhos, além de um resumo escrito com base em Motivação, Metodologia e Resultados utilizados e encontrados pelo(s) autor(es) do artigo.

Esses formulários auxiliam na fase de Análise por conterem os dados extraídos dos trabalhos de forma mais detalhada, porém mais simples e fácil de analisar. Por fim, a partir desses formulários, é feita uma síntese dos resultados encontrados e uma conclusão do pesquisador para finalizar a RS.

Os Formulários de Extração desta Revisão Sistemática foram baseados no formulário do Apêndice 3. Na Tabela 2 encontram-se todos os trabalhos que foram incluídos, bem como as técnicas de estereoscopia encontradas em cada um. Em alguns trabalhos não havia nenhuma técnica de estereoscopia específica sendo citada ou explicada, apenas abordava estereoscopia de uma forma geral.

Tabela 2: Síntese das Técnicas Encontradas

Referência	Técnicas aplicadas/citadas
SONG, MORKHOV, LOADER (2009)	Anaglifos Coloridos
SCHOOTEN, DIJK, ZUDILOVA-SIENSTRA, SUINESIAPUTRA, REIBER (2010)	Abordagem conceitual sobre estereoscopia
LIVATINO, PRIVITERA (2006)	Anaglifos Coloridos, Óculos polarizados, <i>Separated Displays</i> , Óculos Obturadores, Monitores Autoestereoscópicos
TIBOR, MIRSAAD (2008)	Anaglifos Coloridos, Óculos Obturadores
ERICSSON, OLWAL (2011)	Anaglifos Coloridos
ANDRADE, GOULARTE (2009)	Anaglifos Coloridos, Óculos Polarizados, Monitores Autoestereoscópicos
SITEK (2008)	Abordagem conceitual sobre estereoscopia
ALTINAY, KUHIRT (2008)	Multiscopia, Monitores Autoestereoscópicos

AZARI, CHENG, BASU (2009)	Anaglifos Coloridos
SAKAMOTO, HOSOMI (2009)	Óculos Polarizados
SEABRA (2009)	Óculos Polarizados
SOUZA (2007)	Abordagem conceitual sobre estereoscopia
TOMOYOSE (2010)	Óculos Estereoscópico, Slides estéreo, Par estéreo, Estereograma, <i>Efeito Pulfrich</i> , <i>ChromaDepth</i> , Anaglifos coloridos, <i>ColorCode 3-D</i> , Óculos polarizados, Óculos obturadores, <i>Head Mounted Display (HMD)</i> , Autoestereoscopia

As buscas por trabalhos nas bases citadas foram realizadas entre 3 e 9 de agosto de 2011, sendo encontrados no total 25 trabalhos; destes, 14 foram incluídos (56%), os quais estão listados na Tabela 2.

Os trabalhos que mencionaram explicitamente as técnicas de estereoscopia utilizadas para avaliação e/ou implementação, bem como os resultados encontrados pelos autores, foram usados como referência para avaliação e comparação das técnicas existentes.

Analisando a última coluna da tabela, “Técnicas aplicadas/citadas”, verificou-se que a técnica de anaglifos utilizando óculos com filtros coloridos, foi a mais utilizada/citada aparecendo em 54% dos trabalhos. A técnica de luz polarizada utilizando óculos com filtros polarizados, foi a segunda mais utilizada/citada estando presente em 38,4%.

Outras técnicas com boa porcentagem de presença nos trabalhos selecionados foram as imagens intercaladas utilizando óculos obturadores e a técnica de utilização de monitores autoestereoscópicos, estando ambas presentes em 23% dos trabalhos.

Analisando os trabalhos incluídos nesta Revisão Sistemática foi possível observar que 7,7% não implementavam nenhum sistema ou aplicação utilizando alguma das técnicas, estes apenas analisam diversas técnicas existentes, por meio de revisão literária, comparando-as após realização de testes com cada uma delas, como o caso de [6], [7] e [18].

Ao todo, 30% dos trabalhos realizaram testes para avaliar as técnicas utilizadas. Após implementação de uma ou mais técnicas em algum sistema já existente ou em um sistema desenvolvido pelos próprios autores, estes criaram testes para avaliar o sistema e a técnica utilizada. Esses testes incluem testes objetivos, como questionários e avaliações por notas, ou testes subjetivos, nos quais se observa o usuário durante a interação com o sistema. Os usuários eram em sua grande mai-

oria profissionais da área da tecnologia além de profissionais da área para a qual o sistema estava voltado, como Medicina [12], [2], geometria [11] e usuários em geral [13].

O trabalho de Tomoyose et al. (2010) se destaca, pois avalia diversas técnicas de estereoscopia, explicando o método utilizado em cada uma delas para produção e exibição das imagens e os dispositivos utilizados para visualização do efeito estereoscópico. O autor também apresenta benefícios e problemas encontrados em cada uma dessas técnicas, detalhadas na Seção 2, e cria uma tabela comparativa com as técnicas observadas para facilitar a análise dos resultados, mostrada na Tabela 3. Para construir essa tabela, o autor levou em consideração três requisitos:

- requisito 1: imagens sem distorções, com coesão entre o mundo real e o virtual;
- requisito 2: adequação ao uso em sistemas interativos;
- requisito 3: possibilidade de visualização do efeito de forma natural, sem técnicas.

Tabela 3: Tabela comparativa de técnicas de estereoscopia

Técnica	Coesão	Interação	Visualização Natural
Estereoscópio	SIM	NÃO	SIM
Slides Estéreo	SIM	NÃO	SIM
Par Estéreo	SIM	SIM	NÃO
Estereograma	NÃO	SIM	NÃO
<i>Efeito Pulfrich</i>	SIM	NÃO	SIM
<i>ChromaDepth</i>	NÃO	SIM	SIM
Anaglifo	PARCIAL	SIM	SIM
<i>ColorCode 3D</i>	PARCIAL	SIM	SIM
Polarização da Luz	SIM	SIM	SIM
Óculos Obturadores	SIM	SIM	SIM
<i>Head Mounted Display</i>	SIM	SIM	SIM
Monitores Auto-estereoscópicos	SIM	SIM	SIM

O trabalho de Altinay et al. (2008) cita uma técnica diferente para produção de imagens tridimensionais: a multiscopia. O autor implementa um processador virtual que converte comandos de multiscopia¹ em uma variedade de formatos de saída estereoscópicos.

Sakamoto e Hosomi [11] desenvolveram uma nova forma de exibição estereoscópica. Para aumentar a área de exposição de uma cena, os autores utilizaram um espelho, colocando-o em ângulo reto com o plano da imagem. A imagem é estendida para o espelho, que então muda as polarizações das luzes incidentes e de reflexão, possibilitando ao observador ver as duas imagens. Sem dispositivos de visualização as imagens ficam invertidas, mas ao utilizar óculos com filtros polarizados, é possível visualizar as imagens corretamente.

Azari, Cheng e Basu [12] realizaram um experimento que cria o efeito estereoscópico também para o cursor do mouse utilizado para navegação no AV. São capturadas duas imagens do cursor do mouse, representando as visões dos olhos esquerdo e direito. Ao assistir a exibição estereoscópica, o cursor 3D (três dimensões) do mouse é criado juntamente com o restante da cena tridimensional.

Uma biblioteca muito utilizada por vários trabalhos foi a OpenGL, estando presente em 54% destes: [13], [14], [10], [12], [11], [6], [9]

3.4 Conclusões da Revisão Sistemática

A Revisão Sistemática foi realizada com a finalidade de avaliar as diversas técnicas de estereoscopia empregadas em ambientes de RV. A RS seguiu uma metodologia formal exigida, e foram pesquisados trabalhos relevantes que abordassem o assunto. Essa busca se deu em importantes bases de dados científicos, além de algumas teses e dissertações relacionadas ao tema. As buscas foram feitas usando-se combinação de palavras-chaves e, após a pesquisa, foram preenchidos formulários de condução da pesquisa e de extração de informações, para melhor analisar cada um dos trabalhos.

Analisando os resultados obtidos, é possível notar que a maioria utiliza como método de avaliação e comparação das técnicas, testes objetivos e subjetivos com usuários, que podem ser profissionais de uma área específica para a qual o sistema está destinado, profissionais da área de tecnologia ou usuários comuns. Esses testes permitem avaliar, para cada técnica, questões como profundidade, imersão, realismo, interatividade, qualidade da visualização, conforto ou desconforto durante a visualização.

Foi também notado que aplicações de RV utilizando estereoscopia têm se destinado em grande parte a aplicações para treinamento médico. Schooten, Dijk,

¹Multiscopia: *Displays* autoestereoscópicos com multivisões, que permitem que diversos observadores tenham simultaneamente a percepção de profundidade sem a necessidade de óculos especiais [10].

Zudilova-Seinstra, Suinesiaputra, SuiNesiaputrar e Reiber [7] e Souza [6] apresentam aplicações desse tipo. Porém nenhum dos dois experimentos utilizou anaglifos para a visualização, sendo utilizado um método de projeção assimétrica de perspectiva por *frustum*² com eixos paralelos e gráficos 3D criando volumes sólidos com sombreado básico e sinais de oclusão representados por estruturas de ramificação, respectivamente.

Uma grande parte dos trabalhos aborda a técnica de anaglifos. Esse fato se justifica devido a essa técnica possuir seu custo abaixo das outras e ter resultados satisfatórios, como discutido anteriormente. Moreira [19] discorre sobre diversos tipos de anaglifos: anaglifo puro, anaglifo em escala de cinza, anaglifo em cores, anaglifo semicolorido, anaglifo otimizado, tendo todos eles aspectos a serem melhorados. É concluído, então, que esse campo de estudo ainda pode fornecer resultados significativos para a área de treinamento médico e por esse motivo seu uso para o presente projeto é interessante.

²*Frustum*: Método correto para determinar as câmeras para os olhos esquerdo e direito, no qual os vetores de visualização para cada olho permanecem paralelos e um volume de visualização é utilizado para obter a projeção perspectiva [6].

4 Framework ViMeT

Frameworks são utilizados em aplicações de RV, pois possibilitam a utilização de dispositivos de visualização e sistemas de projeção, além de oferecerem suporte a sistemas distribuídos, grafos de cena para criação das imagens, entre outros. Um *framework* orientado a objetos é composto por classes concretas e abstratas integradas, que podem ser instanciadas para criação de aplicações de RV. Na sua construção, é necessário definir as funcionalidades no início do desenvolvimento, para garantir a flexibilidade e a extensibilidade deste. Um *framework* também é entendido como uma arquitetura cujo objetivo é obter máxima reutilização [21].

O *ViMeT* (*Virtual Medical Training*) é um *framework* construído em linguagem Java que permite fazer aplicações para treinamento médico utilizando RV, através da API (*Application Programming Interface*) Java3D. Esse *framework* foi desenvolvido de modo que seja possível inserir novas funcionalidades de visualização e interação, assim como novos dispositivos, quando necessários e disponíveis. Essas escolhas se devem ao fato de a linguagem e a API serem gratuitas, além das várias funcionalidades oferecidas pela API e da compatibilidade da linguagem com diversos sistemas operacionais [3].

O *ViMeT* foi criado focando o desenvolvimento de aplicações para simulação de exames de biópsia. Para tal, é necessário existir tarefas relacionadas à manipulação de equipamentos e de partes do corpo, além de informações de *feedback* referentes a deformação de uma área do órgão que está sendo manipulado [23]. De forma geral, tanto os órgãos como os objetos de manipulação são criados como objetos virtuais, utilizando-se as classes existentes no *ViMeT*.

Para criar os ambientes e os objetos virtuais, utilizam-se as classes do *ViMeT*. Essas classes podem ser instanciadas diretamente do *framework* ou indiretamente através da ferramenta *ViMeTWizard* [29]. Instanciando-se as classes, é possível criar o ambiente virtual com iluminação adequada, que contém um objeto deformável representando um órgão humano e um objeto rígido representando um instrumento médico e dispositivo háptico. O *ViMeT* possui também as funcionalidades de colisão e deformação. A deformação é aplicada ao objeto representando o órgão humano, enquanto a colisão é uma propriedade do objeto que representa o instrumento médico [21]. Para simulação do procedimento, são utilizados dispositivos convencionais e não-convencionais, como teclado, mouse, luva de dados e dispositivo háptico.

O *ViMeT* também implementa estereoscopia para possibilitar a visualização tridimensional utilizando a técnica de anaglifos. A aplicação cria uma janela para as visões com as cores diferentes, juntando-as no mesmo ambiente, formando então a imagem final em três dimensões [21].

A Figura 22 mostra um exemplo de aplicação gerada contendo as funcionalidades detecção de colisão, deformação e estereoscopia com os parâmetros necessários

já estabelecidos [3].

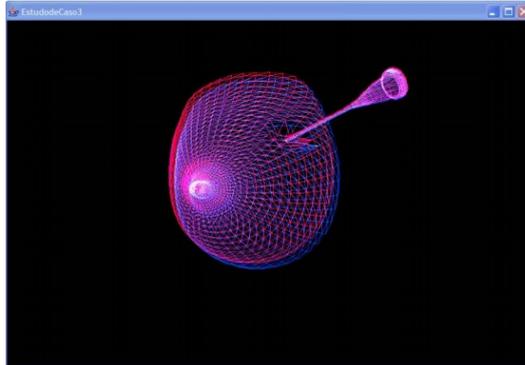


Figura 22: Exemplo de aplicação gerada com o ViMeT [34].

4.1 Ferramenta *ViMeTWizard*

Para instanciação do *ViMeT* foi desenvolvida a ferramenta *ViMeTWizard*, que possui uma interface simples e com guias para facilitar a definição das funcionalidades e dos parâmetros. Por meio dessa interface, o usuário pode selecionar os objetos que representam os órgãos e os instrumentos de manipulação, e definir as características relacionadas a esses objetos, como escala, translação, rotação, e as funcionalidades que irão compor a aplicação. Após definição dos objetos e suas características (que são armazenadas no banco de dados), a ferramenta cria o ambiente virtual, gera e compila o código-fonte, criando a aplicação final [23].

É a ferramenta que armazena no banco de dados as características selecionadas e os dados das aplicações para futuras consultas, utilização e/ou manutenção. Também gera o código-fonte, no qual o usuário pode inserir características particulares e gerar uma aplicação derivada [23].

5 Desenvolvimento e Implementação

5.1 Java e API Java3D

Como mencionado anteriormente, para implementação deste projeto foi utilizada a linguagem Java e a API Java3D, ambas disponíveis gratuitamente.

A linguagem Java é uma linguagem independente da plataforma, ou seja, uma vez que um programa é escrito, pode ser executado em qualquer lugar, utilizando o conceito de máquina virtual [22]. A linguagem Java também possui uma variedade de API's já implementadas que podem ser utilizadas sempre que necessário, para empregar uma ou mais funcionalidades, facilitando a programação.

A API Java 3D é uma hierarquia de classes Java que fornece uma interface para a construção e manipulação de ambientes e objetos virtuais tridimensionais, bem como a interação com estes, e geometria 3D (três dimensões), além de sistema de processamento de som. Essa API facilita a construção de aplicações gráficas tridimensionais, sendo utilizada em diversas áreas, como Jogos, Cinema, Educação, Medicina, entre outras. Os objetos virtuais são criados instanciando-se objetos Java 3D e colocando-os em estruturas de dados chamadas grafos de cena. Grafo de cena é um arranjo de objetos 3D em uma estrutura de árvore que especifica completamente o conteúdo do universo virtual que está sendo construído [22].

Ela utiliza o conceito de grafo de cena: uma estrutura de dados formada por nós e arestas, representando, respectivamente, um elemento de dado e uma relação entre dois elementos. Os objetos que compõem o grafo de cena definem geometria, aparência, som, luz, localização e orientação. A representação do ambiente virtual em grafo de cena facilita o entendimento deste, ao colocar os seus componentes em uma estrutura hierárquica de árvore [22].

Um exemplo de um grafo de cena simples é mostrado na Figura 23. Cada grafo de cena contém um único nó *VirtualUniverse*, que representa toda a aplicação em construção. O grafo contém um ou mais nós *BranchGroup*, que são subgrafos que representam o conteúdo e a visualização do universo. Existem duas categorias diferentes de subgrafo de cena: o *View Branch Graph*, que especifica o conteúdo do universo virtual (geometria, aparência, comportamento, localização, som e luzes), e o *Content Branch Graph*, que especifica os parâmetros de visualização (local de exibição e direção). São esses dois nós que irão especificar o que o processador deve fazer. A renderização do grafo de cena é feita automaticamente pela API Java3D, porém o grafo de cena não especifica a ordem de renderização [22].

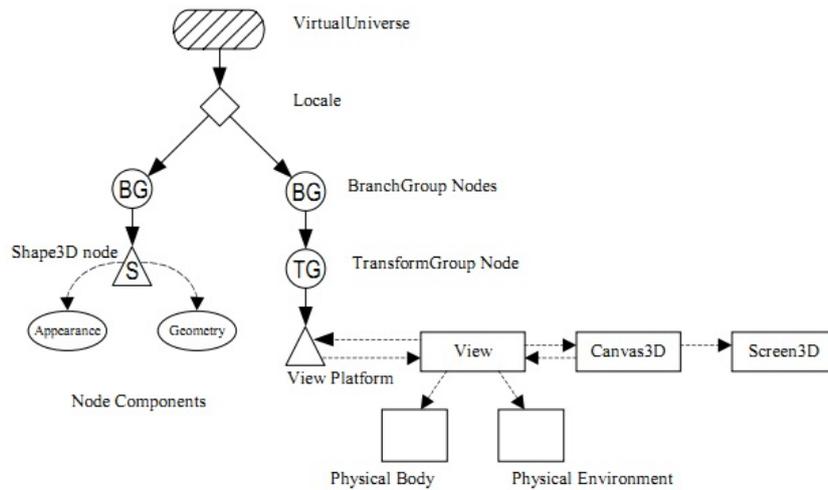


Figura 23: Grafo de Cena [34].

5.2 Implementação Inicial

A fim de conhecer a estrutura da API Java3D, primeiramente foi implementado um programa para manipulação de objetos em ambiente virtual tridimensional. Nessa primeira implementação, foi criado um boneco, e foram utilizadas formas geométricas, como cilindros e esferas, posicionadas de forma a simular as partes do corpo humano. Então, foi adicionada iluminação, testando os diversos tipos de luz disponíveis pela API (*AmbientLight*, *SpotLight*, *DirectionalLight*, *PointLight*). O resultado da construção desse boneco pode ser visto na Figura 24.

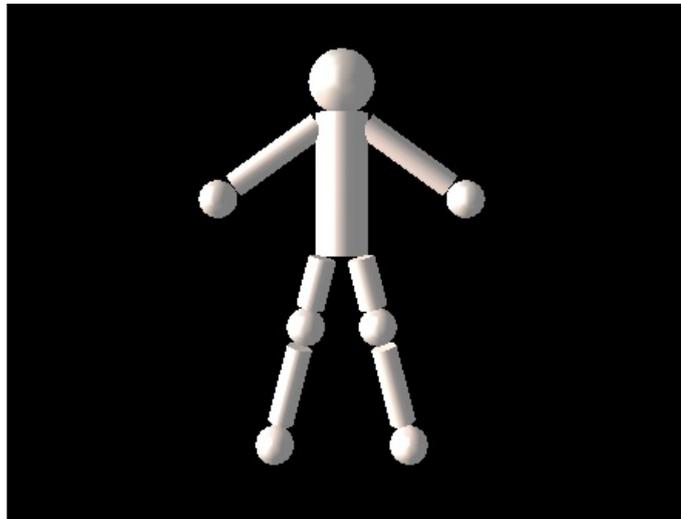


Figura 24: Construção simples do boneco utilizando a API Java3D.

Após os testes mais simples, foram geradas duas construções similares. Nessas construções, foram criados dois bonecos (da mesma forma que na construção anterior), ligeiramente deslocados horizontalmente. Então, adicionou-se cor e iluminação a ambos: em ambas as construções foi adicionada ao boneco mais à direita a cor vermelha; ao boneco mais à esquerda, na primeira construção foi adicionada a cor azul e na segunda, a cor ciano (balanço equilibrado entre azul e verde). Os bonecos da primeira e segunda construções são mostrados nas Figuras 25(a) e 25(b), respectivamente.

O objetivo das construções foi simular estereoscopia com anaglifo puro e com anaglifo colorido, respectivamente. Utilizando os óculos apropriados, é possível ver o boneco em três dimensões. Além disso, era possível manipular e interagir com os bonecos movimentando-os, transladando-os e rotacionando-os. Como essas implementações eram apenas para aprendizagem da API, não foi realizado nenhum teste para avaliação nessa etapa.

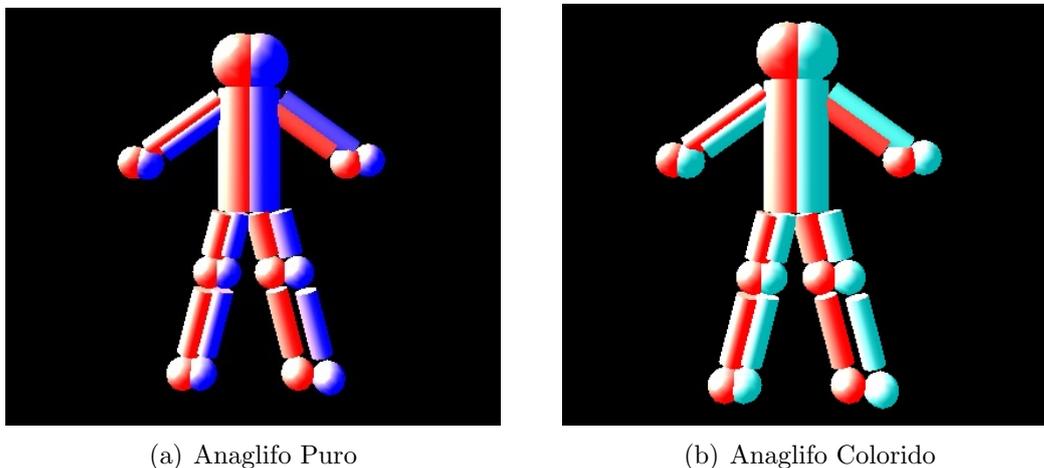


Figura 25: Construções de bonecos simulando estereoscopia com anaglifos.

Em seguida, foram criadas aplicações utilizando objetos que representavam partes do corpo humano, como mama e tronco, a fim de se aproximar melhor da implementação final de Anaglifo Colorido. Essas aplicações seguiram praticamente o mesmo esquema das construções anteriores, testando os diversos tipos de luz, além da coloração dos objetos simulando três tons de pele: claro, moreno e negro. No caso da coloração, os valores das componentes RGB (*Red*, *Green*, *Blue*) utilizados foram os mesmos do *framework ViMeT*, para cada tom de pele.

Inicialmente, foram geradas aplicações utilizando apenas a paralaxe positiva. Posteriormente, percebendo-se que a paralaxe negativa poderia fornecer melhor sensação de profundidade, foram geradas aplicações utilizando tanto a paralaxe positiva quanto a negativa.

Dessa forma, em cada aplicação foram gerados dois objetos ligeiramente deslocados horizontalmente, sendo cada um colorido da forma adequada. Nas aplicações que utilizavam paralaxe positiva, no objeto mais à esquerda foi aplicada a coloração vermelha, enquanto no objeto mais à direita foi aplicada a coloração ciano. Já nas aplicações que utilizavam paralaxe negativa, a coloração foi feita de forma invertida, ou seja, no objeto mais à esquerda foi aplicada a coloração ciana, enquanto no objeto mais à direita foi aplicada a coloração vermelha.

Na Figura 26 pode-se observar seis objetos gerados com a técnica de Anaglifo Colorido representando os três tons claro, moreno e negro de pele definidos. Os três objetos representando a mama foram gerados utilizando-se paralaxe positiva, enquanto os três objetos representando o tronco foram gerados utilizando-se paralaxe negativa.

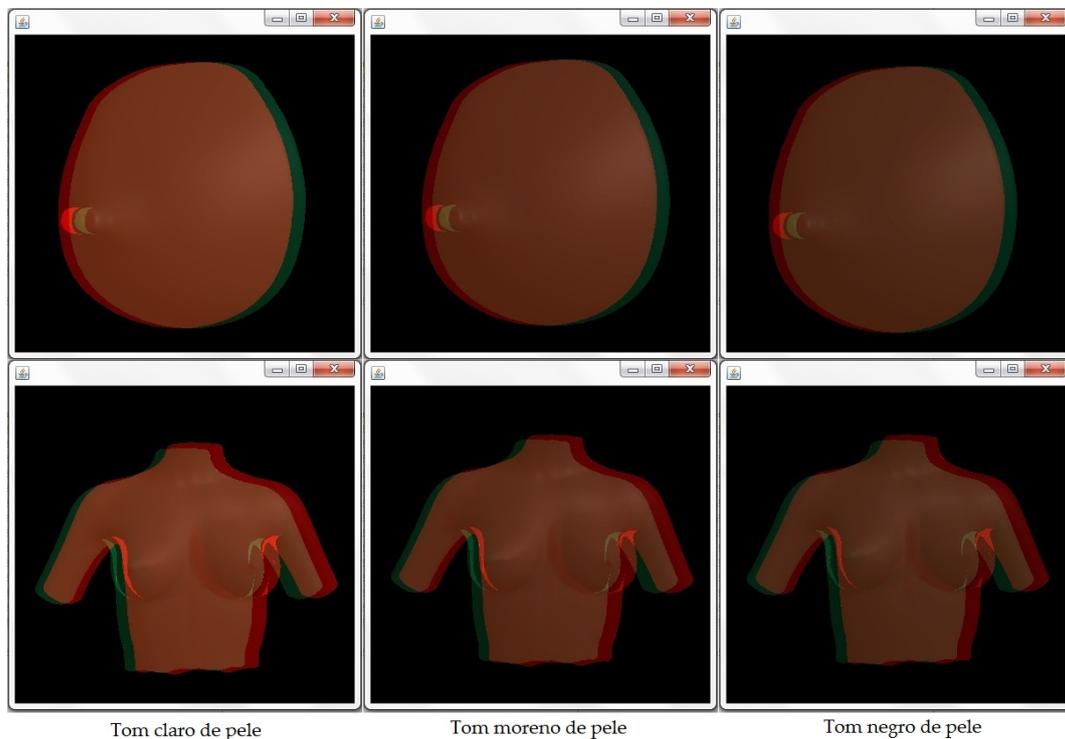


Figura 26: Objetos representando a mama, gerados utilizando-se paralaxe positiva, e objetos representando o tronco, gerados utilizando-se paralaxe negativa.

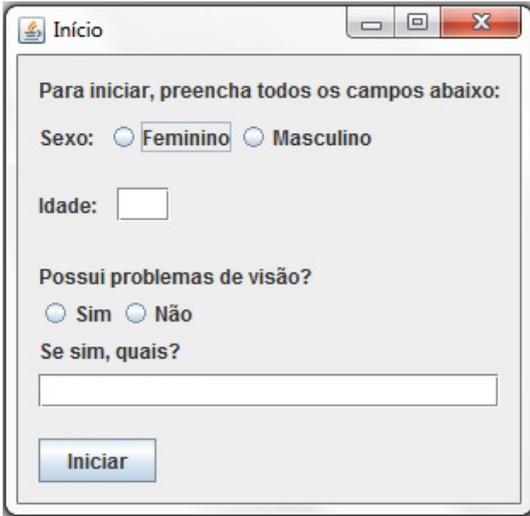
Utilizando óculos com filtros coloridos vermelho e ciano nas lentes esquerda e direita, respectivamente, é possível observar a sensação de profundidade em cada um dos objetos. Após diversos testes de iluminação, percebeu-se que a visualização apresentava melhor qualidade aplicando-se apenas as luzes *AmbientLight* e *DirectionalLight*, sendo então estas as únicas luzes presentes nessas últimas aplicações

e nas aplicações da avaliação, mais detalhada na seção seguinte.

5.3 Avaliação da Visualização

A fim de avaliar a percepção de profundidade e a coloração dos objetos, foram realizados testes com usuários, comparando as técnicas de Anaglifo Verdadeiro, já implementada no *framework ViMeT*, e Anaglifo Colorido, desenvolvida neste projeto. Para os testes, foram utilizados quatro objetos sintéticos que representam diferentes partes do corpo humano: mama, tronco, perna e glúteos. Um programa foi implementado para coletar os dados e uma tela inicial, mostrada na Figura 27, foi responsável por captar os dados demográficos dos voluntários, como sexo, idade e problemas de visão.

Uma vez gravados os dados do usuário, o programa captava dados da avaliação em duas etapas, sendo que cada uma delas possuía três blocos. Cada etapa utilizava uma das técnicas de estereoscopia apresentadas, e cada bloco era repetido para cada um dos objetos que representavam as partes do corpo humano. O usuário poderia utilizar o mouse para interagir com os objetos, podendo aumentá-los, diminuí-los, rotacioná-los e transladá-los.



A screenshot of a software window titled "Início". The window contains a form for user registration. The text "Para iniciar, preencha todos os campos abaixo:" is at the top. Below it are radio buttons for "Sexo" with options "Feminino" (selected) and "Masculino". There is a text input field for "Idade:". Below that is a question "Possui problemas de visão?" with radio buttons for "Sim" and "Não". Underneath is a text input field for "Se sim, quais?". At the bottom left is a button labeled "Iniciar".

Figura 27: Tela Inicial do Sistema para Avaliação.

Para cada técnica foram utilizados óculos diferentes: na primeira os óculos coloridos azul e vermelho, e na segunda os óculos coloridos azul e ciano. Os testes foram realizados em uma sala com luz ambiente e luz artificial, oriundas de lâmpadas fluorescentes, incidentes. Para realização dos testes, o usuário sentava-se em frente ao monitor, colocava os óculos referentes à técnica atual e iniciava o teste.

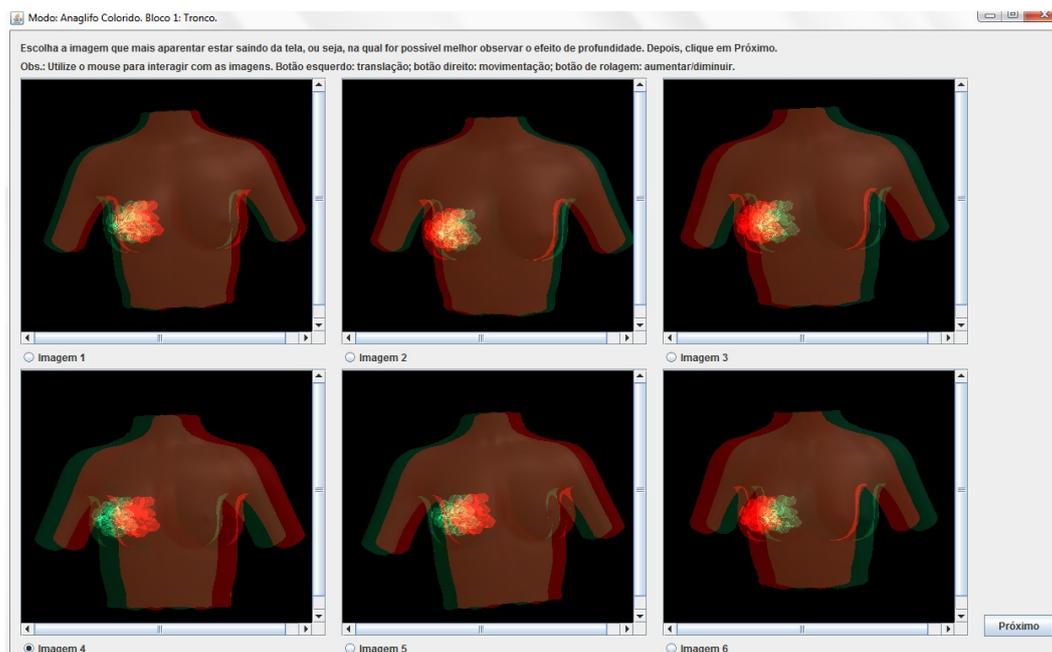


Figura 28: Tela do Primeiro Bloco do Sistema para Avaliação.

O primeiro bloco, mostrado na Figura 28, avaliava a sensação de profundidade de acordo com o valor de paralaxe utilizado, sendo a paralaxe tanto positiva quanto negativa. Para cada objeto, eram mostradas seis imagens diferentes, cada uma com um valor diferente de paralaxe, e o usuário deveria escolher a imagem que mais aparentasse estar sendo projetada para fora da tela, ou seja, a que melhor proporcionasse a sensação de profundidade.

Os valores de paralaxe utilizados estão em *float* e referem-se à posição do objeto no ambiente virtual, sendo este valor a coordenada x do vetor de coordenadas. Nas demais coordenadas, y e z, foi utilizado o valor 0. Foram utilizados os seguintes valores de paralaxe: -0.03, -0.05, -0.07, 0.03, 0.05 e 0.07.

O segundo bloco, mostrado na Figura 29, também avaliava a sensação de profundidade de acordo com o valor de paralaxe utilizado. Porém, era exibida, para cada objeto, uma única imagem e o próprio usuário, utilizando botões na tela, aumentava ou diminuía a paralaxe, modificando a imagem e, conseqüentemente, a sensação de profundidade. O valor inicial era de 0.03. Assim, o usuário parava ao encontrar o valor de paralaxe que melhor proporcionasse a sensação de profundidade a ele, sendo, então, esse valor utilizado para o bloco seguinte.

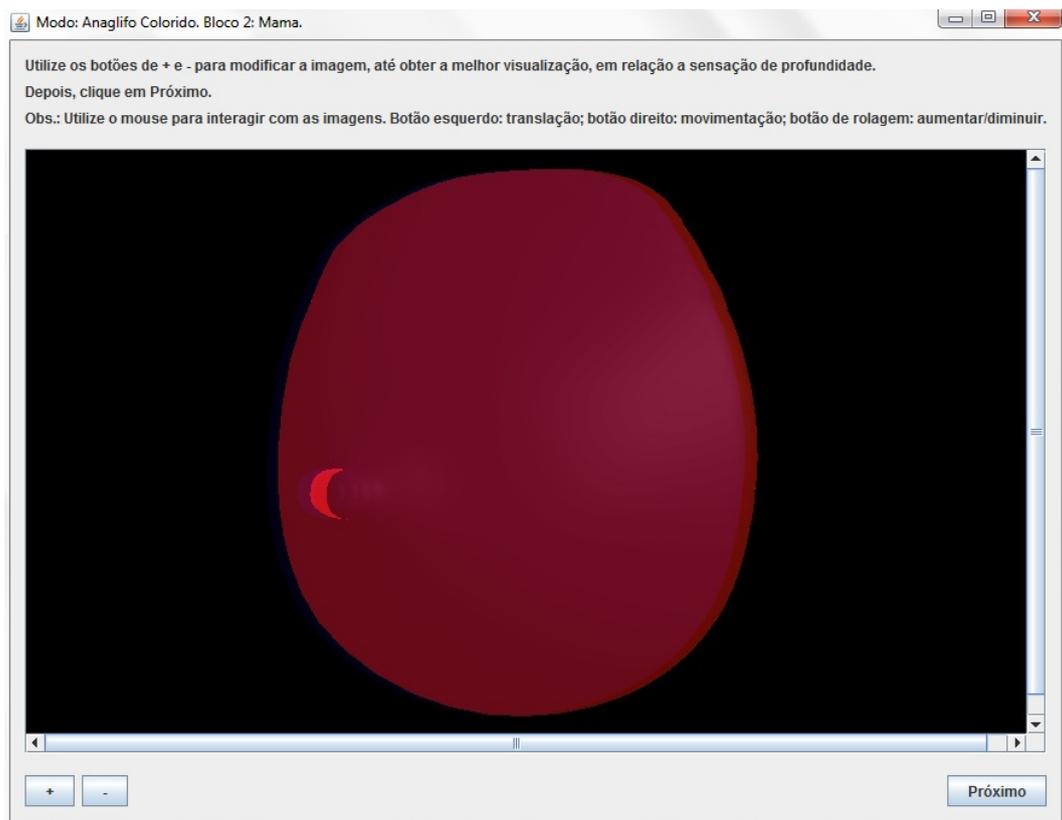


Figura 29: Tela do Segundo Bloco do Sistema para Avaliação.

O terceiro e último bloco, mostrado na Figura 30, avaliava a coloração das imagens em relação aos tons de pele. Foram considerados três tons: claro, moreno e negro. Para cada órgão, eram mostradas seis imagens diferentes, sendo duas imagens referentes a cada cor de pele, as quais diferiam na combinação de cores. Para cada tom de pele, o usuário deveria escolher qual imagem possuía a melhor coloração, ou seja, a que melhor se aproximasse da realidade.

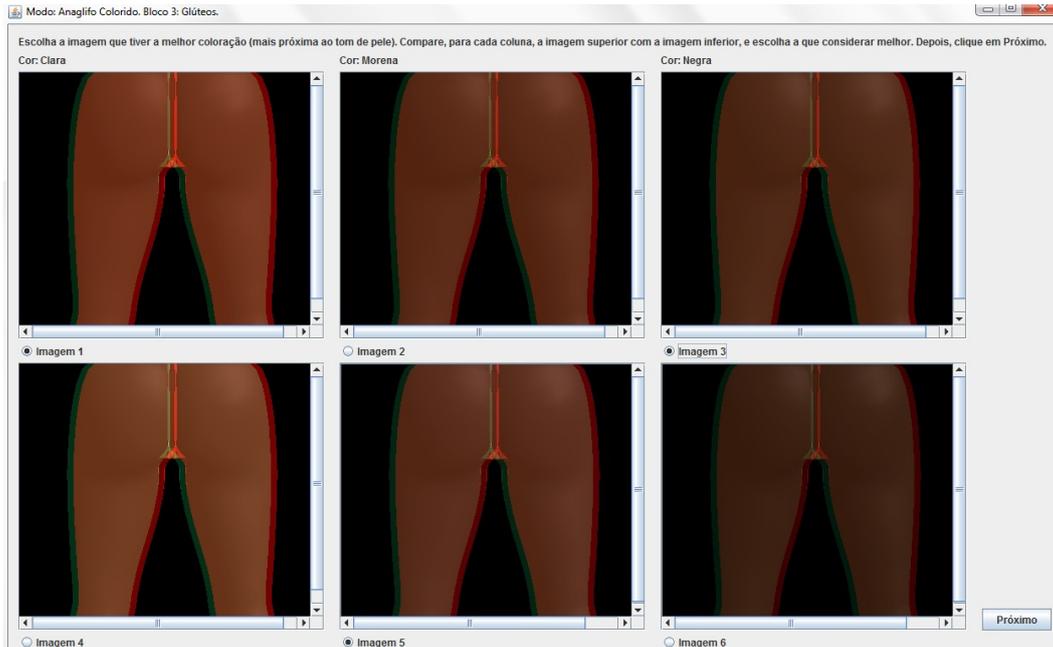


Figura 30: Tela do Terceiro Bloco do Sistema para Avaliação.

As combinações de cores foram obtidas utilizando-se quantidades diferentes das componentes RGB (*Red*, *Green*, *Blue*) para as cores ambiente, emissiva, difusa e especular que compõem o material dos objetos exibidos. Os valores das componentes RGB são calculados em *float*. Para cada objeto, referentes aos olhos esquerdo e direito, foram utilizados valores diferentes para cada componente em cada uma das cores que compõe a aparência do objeto, exceto nas cores emissiva e especular.

Na combinação de cor morena2, foi utilizado o valor 0 e o valor 1 em todas as componentes das cores emissiva e especular, respectivamente, em ambos os objetos. Para o objeto referente ao olho esquerdo, foram utilizados os seguintes valores das componentes RGB, respectivamente: 1.57, 0.0444 e 0.0461 para a cor ambiente, e 1.5, 0.0441 e 0.4347 para a cor difusa. Para o objeto referente ao olho direito, foram utilizados os seguintes valores das componentes RGB, respectivamente: 0.057, 1.444 e 1.461 para a cor ambiente, e 0.05, 1.441 e 1.447 para a cor difusa.

O código para criar a combinação morena2, adicionando-a à aparência dos objeto esquerdo e direito, respectivamente, é da forma, sendo 30.0 o valor referente ao brilho do objeto:

```
app1.setMaterial(new Material(new Color3f(1.57f, .0444f, .0461f), new Color3f(0.0f, 0.0f, 0.0f),
new Color3f(1.5f, .0441f, .4347f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
app2.setMaterial(new Material(new Color3f(.057f, 1.444f, 1.461f), new Color3f(0.0f, 0.0f, 0.0f),
```

```
new Color3f(.05f, 1.441f, 1.447f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
```

Na Figura 30, na interface gráfica da aplicação, a Imagem 1 se refere à combinação clara1, a Imagem 2 se refere à combinação morena1, a Imagem 3 se refere à combinação negra1, a Imagem 4 se refere à combinação clara2, a Imagem 5 se refere à combinação morena2 e a Imagem 6 se refere à combinação negra2.

Todas as informações obtidas ao longo da avaliação foram armazenadas em um arquivo para posterior análise.

5.4 Integração no *Framework ViMeT*

Para implementar a técnica de Anaglifo Colorido no *framework ViMeT* foi essencial o estudo deste, pois foi necessário conhecimento sobre a sua estrutura e suas classes, bem como o relacionamento entre elas.

Para implementação não foi necessária a criação de nenhuma classe nova, visto que foram aproveitadas algumas das funcionalidades já implementadas no *framework*. Assim, foram alteradas apenas três classes existentes: *CorIluminacao*, responsável por ajustar a iluminação das cenas criadas, *Environment*, responsável pela criação do ambiente virtual e pela adição dos objetos ao ambiente, e *Wizard*, responsável pela construção da interface de interação do usuário com o *framework*. O diagrama de classes do *ViMeT* pode ser visto na Figura 31, com as classes alteradas destacadas com um retângulo azul.

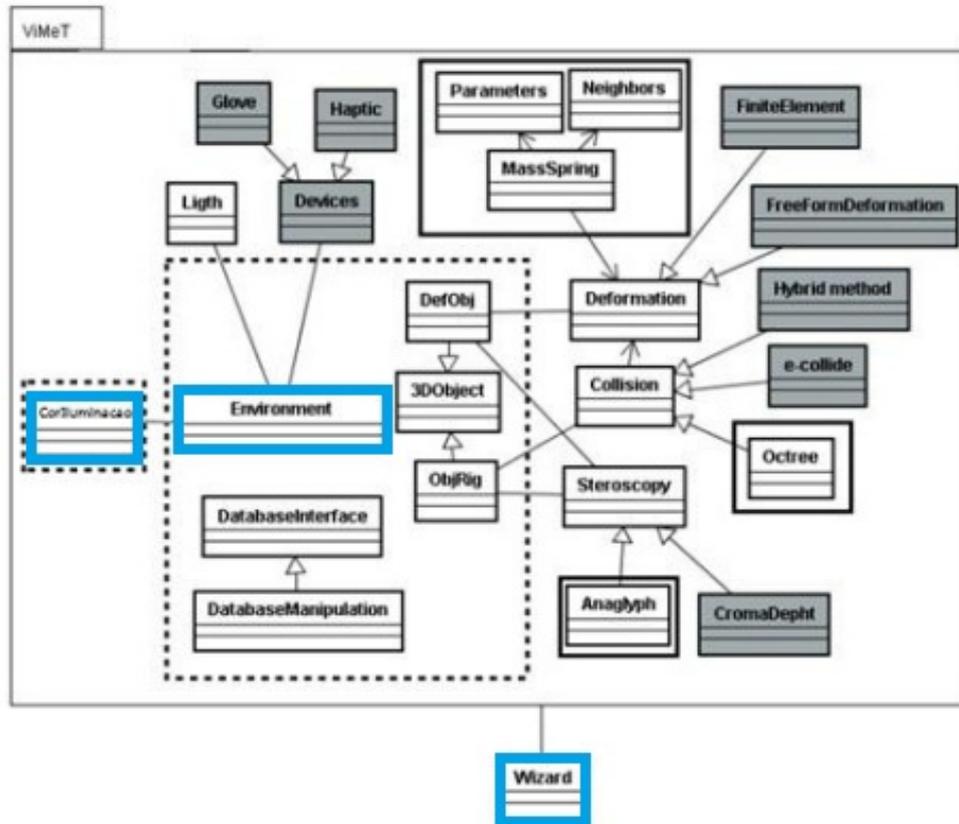


Figura 31: Diagrama de Classes do *Framework ViMeT*.

Na classe *CorIluminacao* foi feita uma pequena alteração, apenas para adicionar cor à luz ambiente e à luz direcional, sendo alterados dois métodos: *carregaLuzAmbiental(BranchGroup b)* e *carregaLuzDirecional(BranchGroup b)*. O código referente a essa alteração pode ser visto na Figura 32.

```

public void carregaLuzAmbiental(BranchGroup b) {
    AmbientLight amb = new AmbientLight();
    amb.setColor(new Color3f(.4f, .2f, .1f));
    amb.setInfluencingBounds(bounds);
    b.addChild(amb);
}

public void carregaLuzDirecional(BranchGroup b) {
    DirectionalLight direct = new DirectionalLight();
    direct.setColor(new Color3f(.07f, .07f, .07f));
    direct.setDirection(-1.0f, -1.0f, -1.0f);
    direct.setInfluencingBounds(bounds);
    b.addChild(direct);
}

```

Figura 32: Código alterado para adicionar cor às luzes ambiente e direcional.

Essas alterações foram feitas a fim de melhorar a qualidade da visualização das aplicações geradas utilizando Anaglifo Colorido. Assim, se o usuário escolher as luzes ambiente e direcional para adicionar à sua aplicação, essas alterações serão aplicadas, melhorando a visualização.

Na classe *Environment* foi adicionado apenas o método *addAnaglifoColorido* (*Object3D obj*, *String cor*) para aplicar as colorações e iluminações adequadas ao se utilizar a técnica de Anaglifo Colorido. O código completo deste método encontra-se no Apêndice 4.

O método manteve as mesmas características e funcionalidades do método *add(Object3D obj)* já existente no *framework* para criação de aplicações utilizando Anaglifo Verdadeiro: criação do nó *BranchGroup*, que contém as informações dos objetos da cena, criação das transformações *TransformGroup* e *Transform3D*, criação do objeto *Shape3D* para representar o órgão ou a seringa, e a verificação se o objeto se trata de um órgão ou de uma seringa para adição da coloração correta. Além dessas funcionalidades, foi adicionado o trecho de código referente à adição das cores vermelha e ciana dos objetos referentes aos olhos esquerdo e direito, respectivamente, através das classes *Appearance* e *Material*.

Por fim, na classe *Wizard* foram feitas diversas alterações e adições, sendo a principal delas a criação da nova aba *Estereoscopia*. Para essa aba, primeiramente, foram transferidos a *checkbox* para selecionar se se trata de uma aplicação de estereoscopia, o *textfield* para digitar o valor da paralaxe e os *buttons* Salvar e Cancelar da aba *Functionalities*. Em seguida, foram criados os *radiobuttons* para o usuário escolher entre Anaglifo Verdadeiro e Anaglifo Colorido. Na Figura 33 é mostrada a nova aba da interface de interação do *framework*. O código completo para criação da nova aba é mostrado no Apêndice 5.

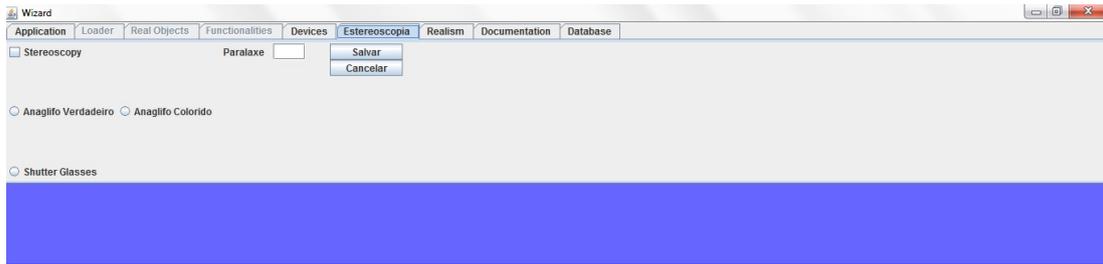


Figura 33: Nova aba *Estereoscopia* adicionada à interface gráfica do *framework ViMeT*.

Na sequência, foram feitas alterações apenas no código da classe. No método *gravarAplicacao()* foi alterada parte do código para que seja verificado qual tipo de estereoscopia (Anaglifo Verdadeiro ou Anaglifo Colorido) está selecionado antes de gravar a aplicação no banco de dados. O código referente a essa alteração é mostrado na Figura 34.

```
//Verifica qual tipo de estereoscopia foi selecionado
Object stereoObj[] = jCheckBoxEstereo.getSelectedObjects();
if(stereoObj != null){
    if(jRadioEstereo.isSelected()) {
        tipoEstereo = "TRUE ANAGLYPH";
        paralaxe = -0.03f;
    }
    else if(jRadioColorAnaglyph.isSelected()) {
        tipoEstereo = "COLORFUL ANAGLYPH";
        paralaxe = 0.07f;
    }
    if(!(jTextFieldParalaxe.getText().equals(""))) paralaxe =
        Float.parseFloat(jTextFieldParalaxe.getText());
} else{
    tipoEstereo = "NONE";
}
////////////////////////////////////
```

Figura 34: Código alterado para verificar qual tipo de estereoscopia está selecionado antes de gravar a aplicação.

No método *carregaAplicacao()* o código foi alterado para que, ao carregar uma aplicação do banco de dados, o botão referente ao tipo de estereoscopia daquela aplicação ficasse selecionado. O código referente a essa alteração pode ser visto na Figura 35.

```

////////////////////////////////////
//quando carregar a aplicacao, dependendo do tipo de estereoscopia,
//o botao deve estar selecionado
if (applicationTable.getStereoscopy().equals("NONE")) {
    jCheckBoxEstereo.setSelected(false);
} else {
    jCheckBoxEstereo.setSelected(true);

    if(applicationTable.getStereoscopy().equals("TRUE ANAGLYPH")){
        jRadioEstereo.setSelected(true);
        tipoEstereo = "TRUE ANAGLYPH";
    }
    else if(applicationTable.getStereoscopy().equals("COLORFUL ANAGLYPH")){
        jRadioColorAnaglyph.setSelected(true);
        tipoEstereo = "COLORFUL ANAGLYPH";
    }
}
////////////////////////////////////

```

Figura 35: Código alterado para deixar selecionado o botão referente ao tipo de estereoscopia da aplicação carregada.

No método *gerarCodigo()* foram feitas duas alterações. Primeiramente, inverteu-se uma linha do código, referente ao valor de paralaxe, para que fosse considerado o valor digitado pelo usuário no momento da criação da aplicação; se não fosse digitado nenhum valor, seria considerado o valor *default* do *framework*. Em seguida, foi alterada parte do código que verifica qual tipo de estereoscopia está selecionado para gerar o código correto para o usuário, utilizando os métodos e variáveis corretas. Na Figura 36 é mostrado o trecho de código que contém tais alterações.

```

if (stereo) {
    linha[cLinha++] = "// - Estereoscopia";
    linha[cLinha++] = "    super.setEyeOffset(" + paralaxe + "f);";
}

//dependendo do tipo de estereoscopia selecionado,
//chama um método diferente da classe Environment
linha[cLinha++] = "//Adição dos objetos no universo";

if(tipoEstereo.equals("TRUE ANAGLYPH")){
    linha[cLinha++] = "    this.add(objetos[0]);";
    linha[cLinha++] = "    this.add(objetos[1]);";
}
else if(tipoEstereo.equals("COLORFUL ANAGLYPH")){
    linha[cLinha++] = "    this.addAnaglifoColorido(objetos[0], \" " + cor + " \");";
    linha[cLinha++] = "    this.addAnaglifoColorido(objetos[1], \" " + cor + " \");";
}

```

Figura 36: Código alterado para verificar qual tipo de estereoscopia está selecionado para gerar o código correto ao usuário.

Na seção seguinte serão apresentados os resultados e discussões obtidos com a pesquisa e com a avaliação da visualização.

6 Resultados e Discussões

6.1 Resultados Obtidos com a Avaliação de Visualização

A avaliação foi feita com 20 estudantes, sendo estes da área da computação (90%) e da área de humanas (10%). Destes 20 estudantes, 25% eram do sexo feminino e 75% do sexo masculino.

A faixa etária variou de 17 a 34 anos, sendo a maioria na faixa de 17 a 24 anos (65%). 60% das pessoas não possuíam nenhum problema de visão, enquanto 40% possuíam um ou mais tipos de problemas (miopia, hipermetropia e/ou astigmatismo).

Para análise dos dados coletados, foram utilizados gráficos comparando as duas técnicas, Anaglifo Verdadeiro e Anaglifo Colorido, em relação aos valores de paralaxe e cores de pele escolhidos durante a avaliação, para cada objeto utilizado e bloco do sistema de avaliação.

Na avaliação foi considerada inicialmente a paralaxe negativa, de forma que as imagens referentes a cada olho estavam posicionadas, inicialmente, de forma contrária, ou seja, a imagem referente ao olho esquerdo no lado direito e a imagem referente ao olho direito no lado esquerdo. Dessa forma, durante a análise dos resultados, valores positivos de paralaxe se referem à paralaxe negativa e valores negativos à paralaxe positiva.

Nas Figuras 37, 38, 39 e 40 são exibidos, para cada órgão, os gráficos referentes à comparação entre os valores de paralaxe, em *float*, escolhidos no Bloco 1 para cada uma das técnicas avaliadas.

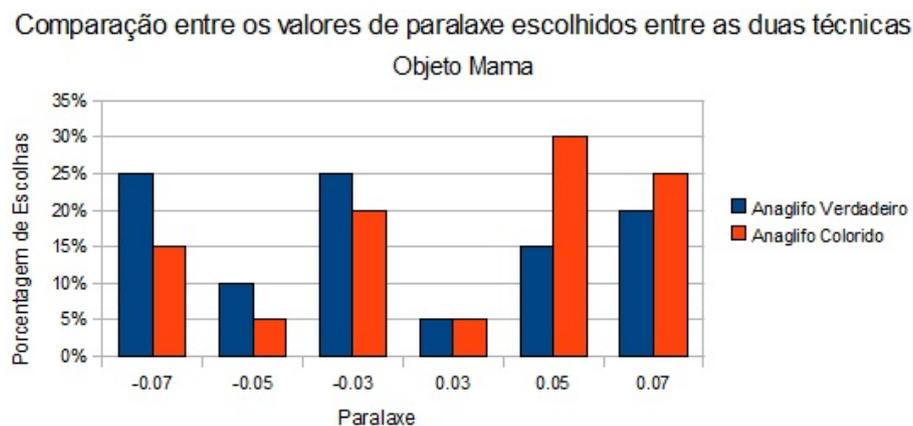


Figura 37: Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Mama.

Comparação entre os valores de paralaxe escolhidos entre as duas técnicas

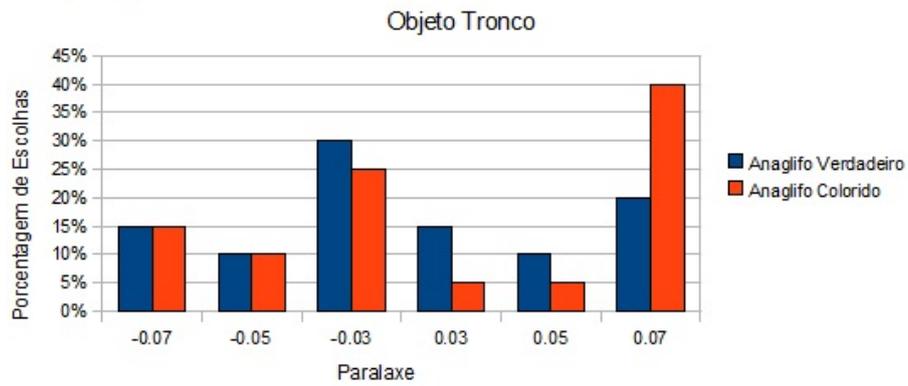


Figura 38: Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Tronco.

Comparação entre os valores de paralaxe escolhidos entre as duas técnicas

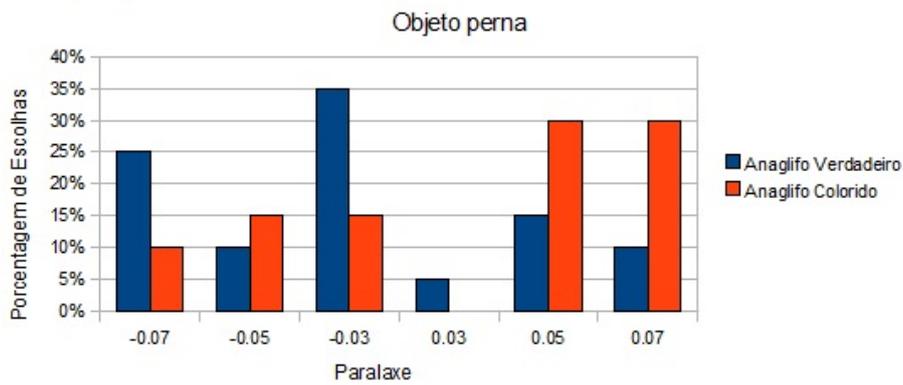


Figura 39: Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Perna.

Comparação entre os valores de paralaxe escolhidos entre as duas técnicas

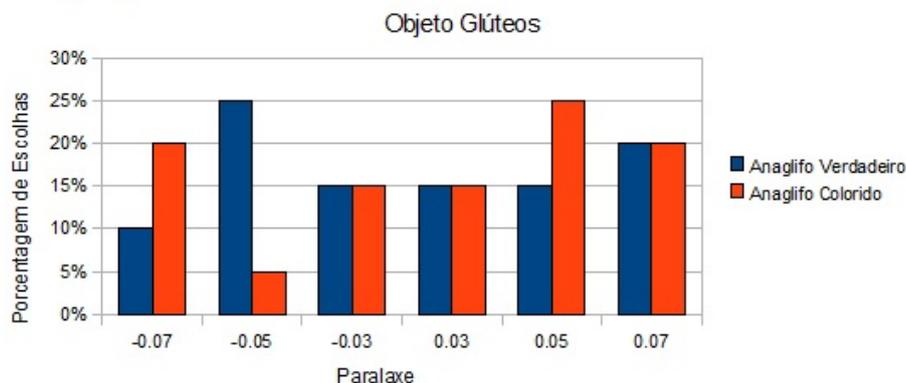


Figura 40: Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas: Glúteos.

Analisando cada gráfico individualmente, é possível perceber algumas diferenças nos valores escolhidos para cada técnica. Em relação ao objeto que representava a Mama, para a técnica de Anaglifo Verdadeiro os valores mais escolhidos foram os valores -0.07 e -0.03, portanto paralaxe positiva. Já para a técnica de Anaglifo Colorido, o valor mais escolhido foi 0.05, portanto paralaxe negativa.

Em relação ao objeto que representava o Tronco, o tipo de paralaxe mais escolhido para cada técnica se manteve o mesmo do objeto que representava a Mama, sendo o valor de -0.03 mais escolhido para a técnica de Anaglifo Verdadeiro e o valor de 0.07 para a técnica de Anaglifo Colorido. Essas escolhas se mantiveram para o objeto representando a perna, e o valor de 0.05 teve a mesma quantidade de escolhas que o valor 0.07 para a técnica de Anaglifo Colorido.

Para o objeto representando os Glúteos, os valores mais escolhidos foram -0.03, paralaxe positiva, e 0.05, paralaxe negativa, para as técnicas de Anaglifo Verdadeiro e Anaglifo Colorido, respectivamente. Para esse objeto, verifica-se que um valor de paralaxe muito escolhido para ambas as técnicas foi o valor de 0.07.

Analisando os gráficos no geral, ou seja, sem considerar cada objeto individualmente, mas sim considerando as escolhas como um todo, obtém-se o gráfico representado na Figura 41.

Comparação entre os valores de paralaxe escolhidos entre as duas técnicas

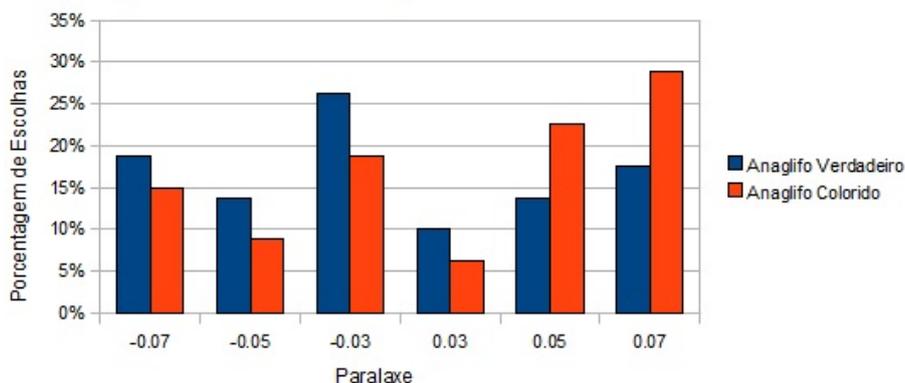


Figura 41: Valores de paralaxe escolhidos entre as imagens mostradas no Bloco 1, comparando as duas técnicas.

A partir do gráfico apresentado na Figura 41, verifica-se que há predominância no tipo e no valor de paralaxe escolhidos para cada técnica, sendo estas escolhas diferentes para as duas técnicas. Para a técnica de Anaglifo Verdadeiro o valor mais escolhido foi o valor de -0.03, ou seja, paralaxe positiva; já para a técnica de Anaglifo Colorido o valor mais escolhido foi o valor de 0.07, ou seja, paralaxe negativa.

A partir desse gráfico, nota-se também que os outros valores mais escolhidos para cada técnica seguem essa predominância: valores de paralaxe positiva para a técnica de Anaglifo Verdadeiro e valores de paralaxe negativa para a técnica de Anaglifo Colorido, com algumas exceções.

Isso mostra que, dependendo da técnica de estereoscopia utilizada, o tipo e o valor de paralaxe mudam. No caso deste projeto, foram comparadas apenas duas técnicas, Anaglifo Verdadeiro e Anaglifo Colorido. Com isso, após a avaliação, percebeu-se que para a primeira técnica houve predominância na escolha da paralaxe positiva com valor de 0.03, enquanto para a segunda técnica houve predominância na escolha da paralaxe negativa com valor de 0.07.

Em relação aos valores de paralaxe escolhidos dinamicamente, há uma grande quantidade de valores diferentes escolhidos, variando de -0.5 a 0.2. Em muitos casos, havia grande variação nos valores escolhidos para o mesmo usuário e para a mesma técnica, dependendo do objeto. Por isso, para este tipo de teste em que se escolhia dinamicamente o valor da paralaxe, não foi possível chegar a um valor padrão.

Isso mostra que, se houver a possibilidade de escolher manualmente o valor da paralaxe em uma aplicação, esta escolha será muito abrangente e subjetiva. Com isso, a melhor opção é escolher um valor como *default* e a partir desse valor, conforme necessidade, o valor da paralaxe pode ser alterado. Isso pode auxiliar

na construção de projetos flexíveis em relação à percepção na visualização tridimensional, permitindo com que o usuário escolha a opção que lhe propicie maior sensação de profundidade.

Nas Figuras 42, 43, 44 e 45 são exibidos, para cada órgão, os gráficos referentes à comparação entre as cores de pele escolhidas no Bloco 3 para cada uma das técnicas avaliadas.

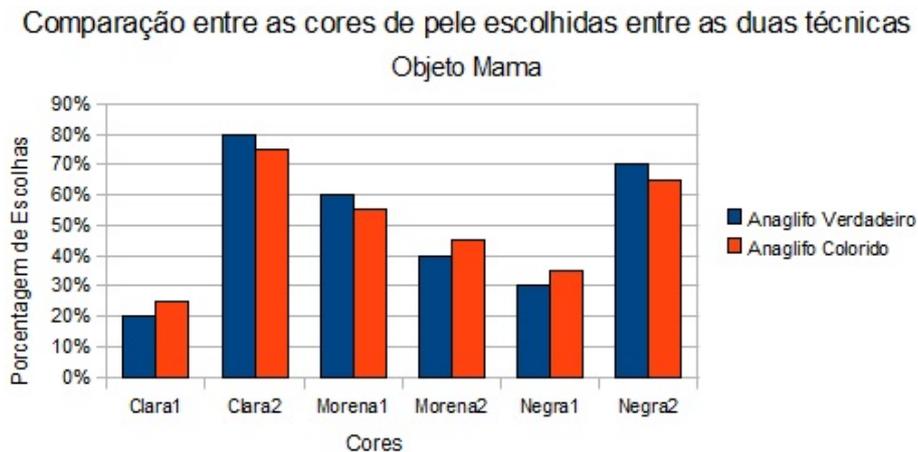


Figura 42: Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Mama.

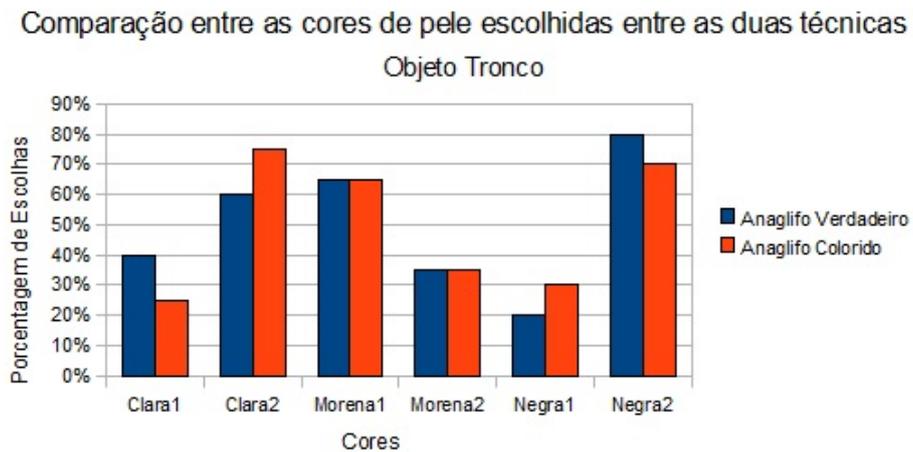


Figura 43: Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Tronco.

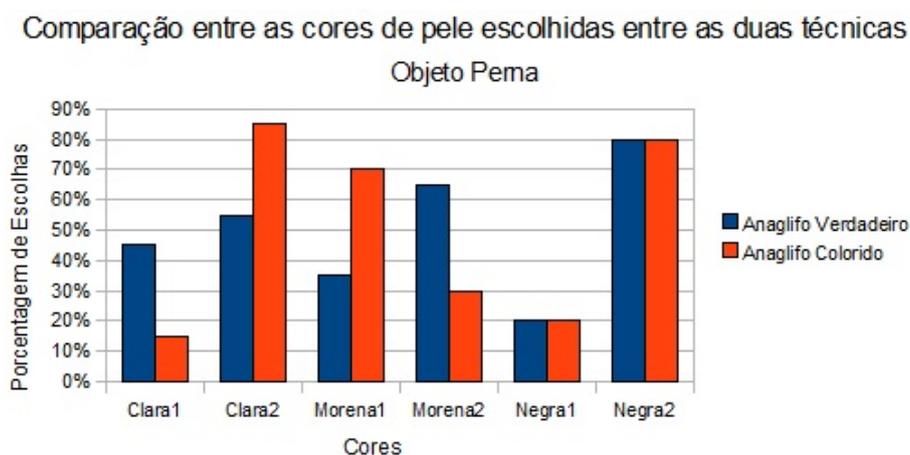


Figura 44: Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Perna.

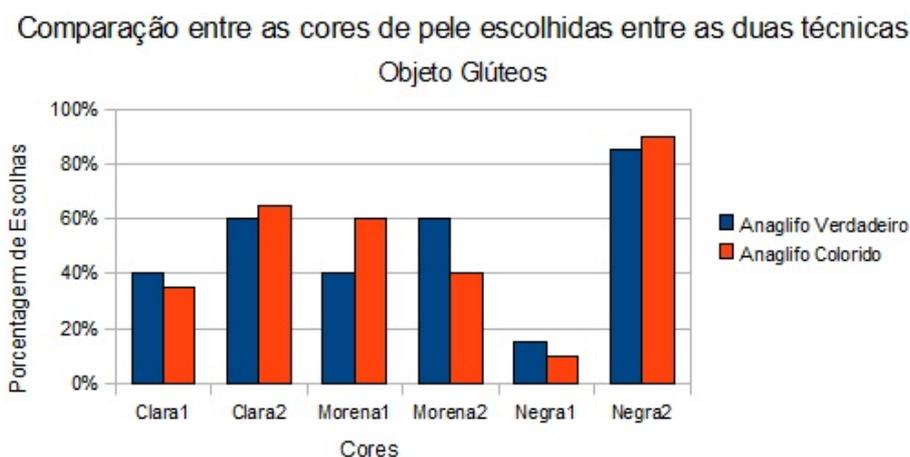


Figura 45: Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas: Glúteos.

Analisando cada gráfico individualmente, percebe-se que para ambas as técnicas foram escolhidas as mesmas combinações de cores para cada tom de pele, salvo algumas exceções. Em relação aos objetos que representavam a Mama e o Tronco, tanto na técnica de Anaglifo Verdadeiro quanto na técnica de Anaglifo Colorido, foram escolhidas exatamente as mesmas combinações para cada tom de pele: clara2, morena1 e negra2 para os tons de pele claro, moreno e negro, respectivamente.

Em relação aos objetos que representavam a Perna e os Glúteos, foram escolhidas as mesmas combinações de cores nas duas técnicas apenas para os tons de pele claro e negro: clara2 e negra2, respectivamente. Para o tom de pele moreno, houve

diferença, sendo escolhidas para os dois órgãos as combinações morena2 e morena1 para as técnicas de Anaglifo Verdadeiro e Anaglifo Colorido, respectivamente.

Analisando os gráficos no geral, ou seja, sem considerar cada objeto individualmente, mas sim considerando as escolhas como um todo, obtém-se o gráfico representado na Figura 46.

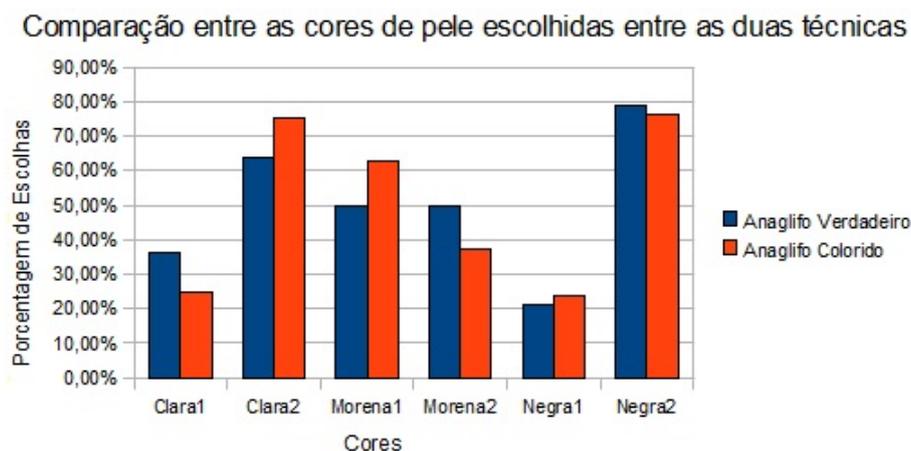


Figura 46: Cores de pele escolhidas entre as imagens mostradas no Bloco 3, comparando as duas técnicas.

A partir desse gráfico pode-se perceber que para os tons de pele claro e negro, houve predominância na escolha das combinações clara2 e negra2, respectivamente, para ambas as técnicas comparadas. Já em relação ao tom de pele moreno, para a técnica de Anaglifo Verdadeiro as combinações morena1 e morena2 apresentaram a mesma quantidade de escolhas, enquanto para a técnica de Anaglifo Colorido houve predominância na escolha da combinação morena1.

Isso mostra que, para coloração da pele, há a prevalência das mesmas combinações de cores nos três tons de pele claro, moreno e negro para a técnica de Anaglifo colorido, sendo estas combinações consideradas as mais próximas dos tons de pele correspondentes. O mesmo não ocorre para a técnica de Anaglifo Verdadeiro, pelo menos em relação ao tom de pele moreno, no qual as escolhas ficaram equilibradas entre as duas combinações consideradas.

Em relação à idade, sexo e problemas de visão, não foi feito nenhum teste de significância estatística a fim de avaliar se os dados demográficos obtidos apresentassem alguma diferença significativa na escolha do valor da paralaxe e da coloração, ou seja, se as diferenças de idade e sexo e a existência ou não de problemas de visão influenciava na visualização dos objetos. Porém, analisando as informações armazenadas, foi possível observar algumas tendências.

Observando os resultados no geral para valores de paralaxe, notou-se uma

diferença entre os sexos na escolha do tipo de paralaxe. Enquanto pessoas do sexo feminino escolheram mais valores de paralaxe negativa, pessoas do sexo masculino escolheram mais valores de paralaxe positiva. Em relação a faixa etária, tanto pessoas na faixa de 17 a 24 anos quanto pessoas na faixa de 25 a 34 anos escolheram mais valores de paralaxe negativa. O mesmo ocorreu em relação aos problemas de visão, em que tanto pessoas com problemas de visão quanto pessoas sem problemas de visão escolheram mais valores de paralaxe negativa.

Observando os resultados no geral para as combinações de cores escolhidas, entre os sexos houve diferença nas escolhas apenas para o tom moreno de pele, em que pessoas do sexo feminino escolheram mais a combinação *morena2* e pessoas do sexo masculino escolheram mais a combinação *morena1*. Para os tons claro e negro, ambos os sexos escolheram mais as combinações *clara2* e *negra2*, respectivamente. Em relação à faixa, não houve diferenças nas escolhas, de forma que tanto pessoas na faixa de 17 a 24 anos quanto pessoas na faixa de 25 a 34 anos escolheram mais as combinações *clara2*, *morena1* e *negra2* para os tons claro, moreno e negro, respectivamente. Em relação à existência de problemas de visão, houve diferenças apenas nas escolhas de combinações para o tom negro de pele, para o qual pessoas com problemas de visão escolheram mais a combinação *negra1*, enquanto pessoas sem problemas de visão escolheram mais a combinação *negra2*. Para os tons claro e moreno não houve diferenças, sendo mais escolhidas as combinações *clara2* e *morena1*, respectivamente, tanto por pessoas com problemas de visão quanto por pessoas sem problemas de visão.

Com a avaliação foi possível chegar a um valor padrão para a paralaxe, sendo este valor de 0.07 com paralaxe negativa. Também foi possível chegar a um padrão combinações de cores para cada um dos três tons de pele, sendo estas as combinações *clara2*, *morena1* e *negra2*. O valor de paralaxe encontrado foi implementado como valor *default*, podendo ser alterado manualmente pelo usuário durante a criação da aplicação.

6.2 Resultados Obtidos com a Implementação no *Framework ViMeT*

Para a implementação da técnica de Anaglifo Colorido no *ViMeT*, não foi necessária a criação de nenhuma classe nova, apenas alterações nas classes existentes. Por isso, o diagrama de classes do *framework* não sofreu modificações devido à implementação desse projeto, permanecendo o mesmo.

A principal alteração feita no *framework* foi a criação da nova aba *Estereoscopia* na interface de interação do usuário com o *ViMeT*, através da classe *Wizard*. A criação dessa nova guia forneceu aos usuários a possibilidade de escolha entre as técnicas de estereoscopia implementadas no *framework*, Anaglifo Verdadeiro

e Anaglifo Colorido, além da possibilidade de escolher manualmente o valor de paralaxe a ser utilizado, apesar de possuir um valor *default* para a paralaxe.

Mantendo todas as funcionalidades já existentes no *framework*, as implementações realizadas por este projeto possibilitaram a adição de uma nova técnica de estereoscopia ao *ViMeT*, a fim de melhorar a qualidade de visualização das aplicações geradas, imprimindo maior realismo às cenas criadas, porém deixando livre a escolha do usuário.

Nas Figuras 47 e 48 é possível observar exemplos de aplicações geradas utilizando o *ViMeT*, após as implementações, simulando a mama com tom de pele claro e os glúteos com tom de pele negro, respectivamente.

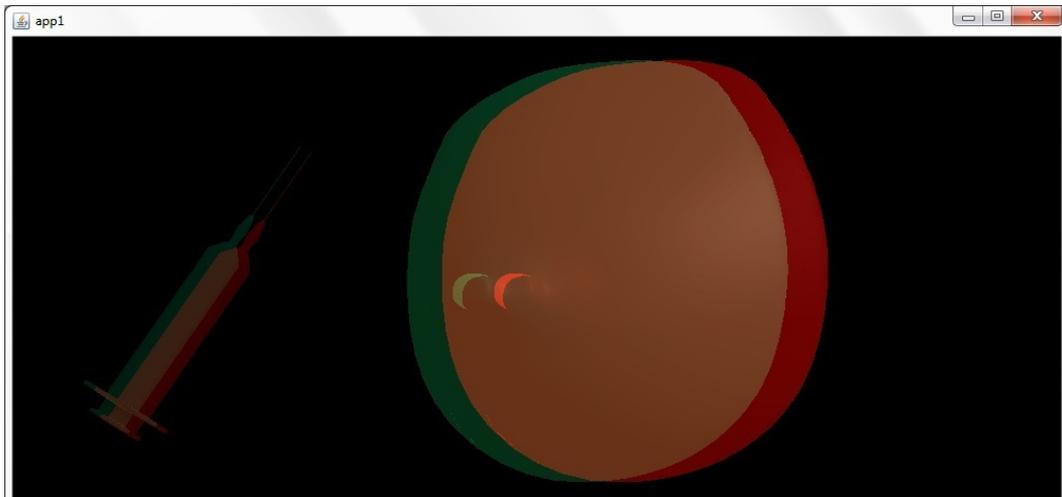


Figura 47: Exemplo de aplicação gerada com o *ViMeT* utilizando Anaglifo Colorido, após as implementações, simulando a mama com tom de pele claro.

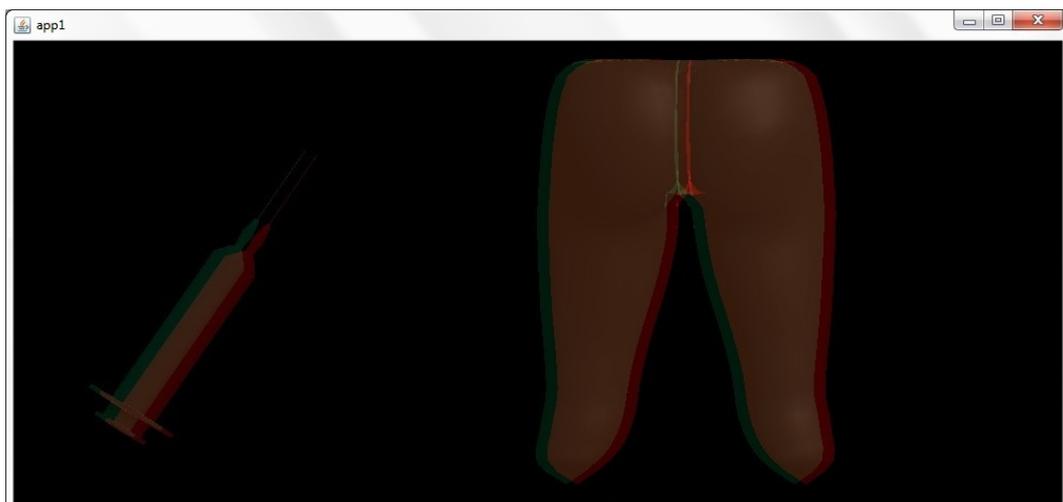


Figura 48: Exemplo de aplicação gerada com o *ViMeT* utilizando Anaglifo Colorido, após as implementações, simulando os glúteos com tom de pele negro.

7 Conclusões Finais

A Realidade Virtual vem sendo muito utilizada ao longo dos últimos anos em diversas áreas, especialmente na área médica, para ensino e treinamento. Ela possibilita a criação de ambientes e objetos virtuais que simulem de forma tridimensional a realidade, com alto grau de realismo, fornecendo uma alternativa para profissionais e estudantes que não têm acesso a instrumentos e locais para treinamento.

A forma mais conhecida e utilizada atualmente para criação de aplicações de Realidade Virtual e percepção de profundidade é a estereoscopia, que consiste na exibição de duas imagens ligeiramente diferentes de uma mesma cena, nas quais são aplicados procedimentos para gerar a cena final em três dimensões. Existem diversas técnicas de estereoscopia, sendo uma delas a técnica de anaglifos. O Anaglifo possui diversos métodos de produção, e é um dos mais utilizados por ser de fácil implementação e de baixo custo.

Com a Revisão Sistemática realizada no início deste projeto, foi definida a implementação da técnica de Anaglifo Colorido no *framework ViMeT*, a fim de melhorar a qualidade da visualização das aplicações geradas. No *framework* já estava implementada a técnica de Anaglifo Verdadeiro, a qual possui maior perda de coloração da imagem original em relação ao Anaglifo Colorido.

Com a avaliação realizada para comparação entre as técnicas de Anaglifo Verdadeiro e Anaglifo Colorido a respeito da quantidade de paralaxe e da coloração dos objetos, pôde-se observar algumas diferenças significativas entre as técnicas em relação ao tipo de paralaxe mais escolhido (positivo ou negativo), e algumas pequenas diferenças em relação à coloração dos objetos.

Observando no geral os resultados obtidos para a paralaxe, observou-se para a técnica de Anaglifo Verdadeiro os valores mais escolhidos foram de paralaxe positiva, enquanto para a técnica de Anaglifo Colorido os valores mais escolhidos foram de paralaxe negativa. Com isso, notou-se que para a técnica de Anaglifo Colorido, a paralaxe negativa proporciona melhor sensação de profundidade que a paralaxe positiva, podendo ser utilizados valores mais altos.

Já em relação à coloração dos objetos, os resultados obtidos mostraram uma predominância nas combinações de cores escolhidas para cada tom de pele em todos os objetos e nas duas técnicas. Com isso, notou-se que a coloração dos objetos para cada tom de pele não é influenciada pela técnica de Anaglifo utilizada, considerando as duas técnicas comparadas.

Por fim, analisando todos os resultados obtidos, foi possível chegar a um padrão tanto para a paralaxe quanto para a coloração os objetos para implementação no *framework ViMeT* para a técnica de Anaglifo Colorido, sendo estes resultados implementados no *framework* como valores *default*.

O presente trabalho cumpriu com seu objetivo proposto inicialmente, imple-

mentando uma nova técnica de estereoscopia no *framework ViMeT* para melhorar a qualidade da visualização das aplicações geradas. Os resultados obtidos foram plenamente satisfatórios tanto em relação à sensação de profundidade quanto à coloração das imagens representando tons de pele.

Com a implementação de uma nova técnica no *framework*, que preserva melhor a qualidade e coloração das imagens geradas, foi possível aumentar o grau de realismo das aplicações geradas pelo *ViMeT* em relação à técnica que já estava implementada. Apesar de ainda não se ter chegado a uma qualidade ótima de visualização, por se tratar de uma técnica estereoscópica mais simples, com essa nova versão do *framework* houve melhora na qualidade das imagens quando comparada à versão anterior, melhorando a eficiência do treinamento médico proposto pelo *ViMeT*.

8 Referências Bibliográficas

Referências

- [1] NETTO, A. V.; MACHADO, L. S.; de OLIVEIRA, M. C. F. Realidade Virtual - Definições, Dispositivos e Aplicações. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC-USP), Escola Politécnica (POLI-USP), São Paulo e São Carlos, 2002, p. 4-5.
- [2] ADAMS, G. Um Balanço Bibliográfico e de Fontes da Estereoscopia. In: Anais do Museu Paulista. São Paulo. N. Sér. v. 6/7. p. 207-225. (2003).
- [3] OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; NUNES, F. L. S. Building an Open Source Framework for Virtual Medical Training. Journal of Digital Imaging, 2010, v. 23, p. 706-720.
- [4] BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H.; Systematic Review in Software Engineering. Systems Engineering and Computer Science Department, COPPE/UFRJ, May 2005.
- [5] KITCHENHAM, B.; Procedures for Performing Systematic Review. Keele University Technical Report TR/SE-0401 and NICTA Technical Report 0400011T.1, July 2004.
- [6] SOUZA, I. A.; Simulador de realidade virtual para o treinamento de biópsia por agulha de nódulos da glândula tireoide. Tese de Doutorado, Escola Politécnica - USP, Sistemas Eletrônicos. São Paulo, Novembro 2007.
- [7] SCHOOTEN, B. W.; DIJK, E. M. A. G.; ZUDILOVA-SEINSTRAS, E.; SUNESIAPUTRA, A.; REIBER, J. H. C.; The effect of stereoscopy and motion cues on 3D interpretation task performance. Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces, May 2010.
- [8] SEABRA, R. D.; Uma ferramenta em realidade virtual para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Tese de Doutorado, Escola Politécnica - USP, Engenharia de Construção Civil e Urbana. São Paulo, Setembro 2009.
- [9] TOMOYOSE, A. N.; Comparação e classificação de técnicas de estereoscopia para realidade aumentada e jogos. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica - USP, Sistemas Digitais. São Paulo, Junho 2010.

- [10] ALTINAY, C.; KUHIRT, U.; Boosting the Level of Immersion: Integrating Stereoscopic Output into Interactive Audiovisual Applications. 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, p. 117-120, May 2008.
- [11] SAKAMOTO, K.; HOSOMI, T.; Monocular display unit for 3D display with correct depth perception. Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP), p. 1-8, November 2009.
- [12] AZARI, H.; CHENG, I.; BASU, A.; Stereo 3D mouse (S3D-Mouse): Measuring ground truth for medical data in a virtual 3D space. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, p. 5744-5747, September 2009.
- [13] SONG, M.; MORKHOV, S. A.; LOADER, A. R.; SIMMONDS, M. J.; A stereoscopic OpenGL-based interactive plug-in framework for Maya and beyond. Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry, December 2009.
- [14] ERICSSON, F.; OLWAL, A.; Interaction and rendering techniques for handheld phantograms. Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems, May 2011.
- [15] LIVATINO, S.; PRIVITERA, F.; 3D visualization technologies for teleguided robots. Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, November 2006.
- [16] TIBOR, S.; MIRSAID, T.; Comparison of stereo displaying techniques in POV-Ray 3D generated scenes. Proceedings of the 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, November 2008.
- [17] ANDRADE, L. A.; GOULARTE, R.; Anaglyphic stereoscopic perception on lossy compressed digital videos. Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, October 2009.
- [18] SITEK, A.; Visualization of raw 3D list-mode PET and TOFPET data without tomographic reconstruction using virtual space. IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, p. 3629-3631, October 2008.
- [19] MOREIRA, P. M.; Projeções estereoscópicas para realidade aumentada espacial utilizando shaders no Java 3D. Escola Politécnica - USP, Engenharia da Computação - Computação Gráfica e Realidade Aumentada. São Paulo, 2008.

- [20] DELFINO, S. R.; Geração de Estudos de Caso para Treinamento Médico Virtual a partir de Técnicas de Processamento de Imagens e Realidade Virtual. 2007.
- [21] OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; NUNES, F. L. S.; BEZERRA, A.; Concepção e Implementação de um Framework para simulação de exames de punção usando Realidade Virtual. Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS - USP) e Centro Universitário Eurípedes de Marília (UNIVEM). 2007.
- [22] ORACLE - Sun Developer Network (SDN). Java 3D API Tutorial. Disponível em: <http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/>. Acesso em: 10/12/2011.
- [23] OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; NUNES, F. L. Santos.; Building a Open Source Framework for Virtual Medical Training. *Journal of Digital Imaging*, v. 23, p. 706-720, 2010.
- [24] SISCOUTTO, R. A.; SZENBERG, F.; TORI, R.; RAPOSO, A. B.; CELES, W.; GATTASS, M.; Realidade Virtual: Conceitos e Tendências.
- [25] LEITE, P. J. S.; OpenStereo: Uma Biblioteca para Suporte ao Desenvolvimento de Aplicações Estereoscópicas. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Centro de Informática.
- [26] MORAIS, A. M.; MACHADO, L. S.; MORAES, R. M.; Ferramentas de Realidade Virtual para os Profissionais da Área Médica. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) e Laboratório de Tecnologia para o Ensino Virtual e Estatística (LabTEVE). João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2011.
- [27] BOTEGA, L. C. Implementação de Estereoscopia de Baixo Custo Para Aplicações em Ferramentas de Realidade Virtual Para Treinamento Médico. Fundação de Ensino Eurípedes Soares da Rocha – Centro Universitário Eurípedes de Maria (UNIVEM), Marília, 2005. p. 27-30.
- [28] SANTOS, A. D.; MACHADO, L. S. Visualização Tridimensional de Baixo Custo para o Desenvolvimento de Aplicações em Medicina. In: *Anais do Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA2007)*. Itumbiara, Brazil, 2007.
- [29] GONCALVES, V. M.; NUNES, F. L. S.; D. M. E.; OLIVEIRA, R.A.P.; Avaliação de Funções de Similaridade em um Framework de Teste para Programas com Saídas Gráficas. In: *XXXVII Conferencia Latinoamericana de*

- Informática (XXXVII CLEI), 2011, Quito, Equador. Proceedings of XXXVII Conferencia Latinoamericana de Informática (XXXVII CLEI), 2011. v. 1. p. 1-15.
- [30] MACHADO, L. S.; MORAES, R. M.; Cenários 3D Interativos com *Software Livre*. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2005.
- [31] Best Cars Web Site. Disponível em: <http://bestcars.uol.com.br/artigos/projeto-2.htm>. Acesso em: 20/12/2011.
- [32] Searching For Gold. Disponível em: <http://celsoishida.blogspot.com/p/rv-e-ra.html>. Acesso em: 20/12/2011.
- [33] Hipertacular. Como funciona o cinema 3D. Disponível em: <http://blog.hipertacular.com/2010/02/07/como-funciona-o-cinema-3d/>. Acesso em: 12/11/2011.
- [34] OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; *ViMeT* - Projeto e Implementação de um *Framework* para Aplicações de Treinamento Médico Usando Realidade Virtual. Fundação de Ensino Eurípedes Soares da Rocha, Centro Universitário Eurípedes de Marília, Marília, 2007.
- [35] HASEYAMA, A. **Projeções Estereoscópicas para Realidade Aumentada Espacial**. Monografia (Bacharelado em Engenharia da Computação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- [36] MACHADO, L. S. **A Realidade Virtual no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica: um Estudo de Caso no Transplante de Medula Óssea**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [37] NUNES, F. L. S. . ViMeT A framework to generate applications for biopsy exams using Virtual Reality. 2010.

9 Apêndices

9.1 Apêndice 1: Protocolo de Revisão Sistemática

Objetivo: Analisar, através de pesquisas bibliográficas, as diversas formas de implementação de estereoscopia em aplicações de realidade virtual, apresentando conceitos, vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas.

Questão de Pesquisa: Quais as técnicas existentes, e as vantagens e desvantagens de cada uma, de implementação de estereoscopia em aplicações de realidade virtual?

Critérios de Seleção de Fontes: As fontes analisadas e estudadas serão buscadas via web, em bases de dados científicas relacionadas ao tema, incluindo teses, dissertações, artigos e periódicos.

Palavras-chave: O termo *stereoscopy* relacionado com os termos: *anaglyph*, 3D (ou *three-dimensional*), *virtual reality*, *stereo vision* e *depth* (ou *immersion*).

Fontes:

- *IEEE Xplore Digital Library:*
- *ACM Digital Library:*
- Teses USP:
- *SCOPUS:*
- Banco de Teses da CAPES:
- Portal Periódicos da CAPES

Tipo dos Trabalhos: Teses e dissertações de mestrado e doutorado, trabalhos de conclusão de curso, artigos de periódicos ou anais de eventos científicos, relacionados ao tema.

Idioma dos Artigos: Português e Inglês.

Critérios de Inclusão e Exclusão:

- Critérios de Inclusão:
 - (a) Trabalhos publicados e disponíveis em bases de dados científicas;
 - (b) Trabalhos recentes, publicados desde 2005, e aprovados pela comunidade científica;
 - (c) Trabalhos que estejam dentro do contexto de estereoscopia aplicada a Realidade Virtual e suas diversas técnicas;
 - (d) Trabalhos que apliquem alguma das técnicas existentes de estereoscopia.

- Critérios de Exclusão:

- (a) Trabalhos publicados há mais de cinco anos, ou seja, antes de 2005;
- (b) Trabalhos que não estejam relacionados às técnicas de estereoscopia.

Processo de Seleção dos Estudos Primários: Serão feitas buscas utilizando-se as palavras chaves, e os trabalhos que atenderem ao maior número dessas palavras, terão prioridade. Nos artigos e teses encontrados, serão lidos os resumos, já considerando os critérios de inclusão e exclusão. Os trabalhos mais relevantes serão lidos por completo, e então será feito um resumo de cada um deles, juntamente com o formulário de Revisão Sistemática.

Estratégia de Extração de Informação: Após leitura integral dos textos, serão preenchidos "Formulários de Extração de dados" para cada texto considerado válido para revisão sistemática. Esses formulários conterão informações a respeito do texto (nome, autores, data e veículo de publicação, fonte, referências relevantes), uma síntese do texto redigida pelo pesquisador que conduzirá a revisão sistemática, destacando a metodologia utilizada, além das técnicas de estereoscopia citadas e/ou aplicadas, e reflexões pessoais do condutor da revisão sistemática a respeito do conteúdo e das conclusões da pesquisa.

Sumarização dos Resultados: Após obtenção dos dados e resultados, serão feitas análises qualitativa e quantitativa nos trabalhos encontrados e será redigido um relatório descrevendo o conteúdo da RS.

9.2 Apêndice 2: Formulário de Condução da Revisão

Fonte:
Data de busca:
String utilizada:
Período considerado:
Lista de artigos encontrados:

Formulário ACM

Fonte: ACM Digital Library
Data de busca: 03/08/2011
String utilizada: ((stereoscopy) AND (anaglyph) AND ((3D) OR (three-dimensional)))
Período considerado: 2006 a 2011
Lista de artigos encontrados:
(1) CARVALHO, F. G.; RAPOSO, A.; GATTASS, M.; Designing a hybrid user interface: a case study on an oil and gas application. Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry, December 2009.
(2) ZACHARA, M.; ZAGAL, J. P.; Challenges for success in stereo gaming: a Virtual Boy case study. Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, October 2009.
(3) SONG, M.; MORKHOV, S. A.; LOADER, A. R.; SIMMONDS, M. J.; A stereoscopic OpenGL-based interactive plug-in framework for Maya and beyond. Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry, December 2009.
(4) van SCHOOTEN, B. W.; van DIJK, E. M. A. G.; ZUDILOVA-SEINSTRA, E.; SUINESIAPUTRA, A.; REIBER, J. H. C.; The effect of stereoscopy and motion cues on 3D interpretation task performance. Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces, May 2010.
(5) de OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; PAVARINI, L.; NUNES, F. L. S.; BOTEGA, L. C.; ROSSATTO, D. J.; BEZERRA, A.; Virtual reality framework for medical training: implementation of a deformation class using Java. Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications, June 2006.
(6) LIVATINO, S.; PRIVITERA, F.; 3D visualization technologies for teleguided robots. Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, November 2006.
(7) TIBOR, S.; MIRSAD, T.; Comparison of stereo displaying techniques in POV-Ray 3D generated scenes. Proceedings of the 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, November 2008.

Tabela 4: Lista de Artigos com Status: ACM

Artigo	Critérios de Inclusão Atendidos	Critérios de Exclusão Atendidos	Staus
1	(a) e (b)	(b)	Excluído
2	(a) e (b)	(b)	Excluído
3	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
4	(a), (b) e (c)		Incluído
5	(a) e (b)	(b)	Excluído
6	(a), (b) e (c)		Incluído
7	(a), (b) e (c)		Incluído
8	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
9	(a) e (b)	(b)	Excluído
10	(a), (b) e (c)		Incluído

(8) ERICSSON, F.; OLWAL, A.; Interaction and rendering techniques for handheld phantograms. Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems, May 2011.

(9) TOKUNAGA, D. M.; CORRÊA, C. G.; NAKAMURA, R.; NUNES, F. L. S.; TORI, R.; Non-photorealistic rendering in stereoscopic 3D visualization. ACM SIGGRAPH 2010 Posters, July 2010.

(10) de ANDRADE, L. A.; GOULARTE, R.; Anaglyphic stereoscopic perception on lossy compressed digital videos. Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, October 2009.

Lista de artigos com status de inclusão ou exclusão:

Formulário IEEE

Fonte: IEEE Xplore Digital Library

Data de busca: 09/08/2011

String utilizada: ((virtual reality) AND ((stereo vision) OR (stereoscopy)) AND ((depth) OR (immersion)) AND ((3D) OR (three-dimensional)))

Período considerado: 2006 a 2011

Lista de artigos encontrados:

(1) SITEK, A.; Visualization of raw 3D list-mode PET and TOFPET data without tomographic reconstruction using virtual space. IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, p. 3629-3631, October 2008.

(2) SHAKER, S.; ASMAR, D.; ELHAJJ, I. H.; 3D reconstruction of indoor scenes by casting visual rays in an occupancy grid. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), p. 1176-1182, December 2010.

Tabela 5: Lista de Artigos com Status: IEEE

Artigo	Critérios de Inclusão Atendidos	Critérios de Exclusão Atendidos	Staus
1	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
2	(a) e (b)	(b)	Excluído
3	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
4	(a) e (b)	(b)	Excluído
5	(a), (b), (c) e (d)		Incluído
6	(a) e (b)	(b)	Excluído
7	(a) e (b)	(b)	Excluído
8	(a), (b) e (c)		Incluído
9	(a), (c) e (d)	(a)	Excluído

(3) ALTINAY, C.; KUHIRT, U.; Boosting the Level of Immersion: Integrating Stereoscopic Output into Interactive Audiovisual Applications. 3DTV Conference: The True Vision - Captue, Transmisson and Disply of 3D Video, p. 117-120, May 2008.

(4) ZHONG, Z.; XIUWEN, C.; ZHANG, L.; XUEFENG, C.; Internet-wide multi-party tele-immersion framework for remote 3D collaboration. IEEE International Symposium on VR Innovation (ISVRI), p. 183-188, March 2011.

(5) AZARI, H.; CHENG, I.; BASU, A.; Stereo 3D mouse (S3D-Mouse): Measuring ground truth for medical data in a virtual 3D space. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, p. 5744-5747, September 2009.

(6) IONESCU, D.; Gesture control and the new and intelligent man-machine interface. 6th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), p. 291, May 2011.

(7) ZOU, L.; YAN, L.; A method of stereo vision matching based on OpenCV. International Conference on Audio Language and Image Processing (ICALIP), p. 185-190, November 2010.

(8) SAKAMOTO, K.; HOSOMI, T.; Monocular display unit for 3D display with correct depth perception. Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP), p. 1-8, November 2009.

(9) WATSON, K.; TEMKIN, B.; HEINRICHS, W. L.; KRUMMEL, T. M.; GORMAN, P. J.; Development of stereoscopic-haptic virtual environments. 12th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, p. 29-34, August 2002.

Lista de artigos com status de inclusão ou exclusão:

9.3 Apêndice 3: Formulário de Extração de Dados

Nome do Artigo:
Autores:
Data de Publicação:
Veículo de Publicação:
Fonte:
Resumo:
Referências Relevantes:

9.4 Apêndice 4: Método adicionado a classe *Environment* para aplicar cor e iluminação às aplicações geradas utilizando Anaglifo Colorido

```
public void addAnaglifoColorido(Object3D obj, String cor){
BranchGroup bg = obj.getBranchGroup();
if (bg == null) {
bg = new BranchGroup();
bg.setCapability(BranchGroup.ALLOW_DETACH);
TransformGroup tgM = new TransformGroup();
TransformGroup tg = new TransformGroup();
tgM.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_READ);
tgM.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_WRITE);
tg.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_READ);
tg.setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_WRITE);
obj.setMotionTransform(tgM);
obj.setTransformGroup(tg);
obj.setBranchGroup(bg);
bg.addChild(tgM);
tgM.addChild(tg);
if (stereoEnabled) {
Transform3D myTrans1 = new Transform3D();
myTrans1.setTranslation(new Vector3f(-eyeOffset, 0F, 0F));
TransformGroup tg1 = new TransformGroup(myTrans1);
Transform3D myTrans2 = new Transform3D();
myTrans2.setTranslation(new Vector3f(+eyeOffset, 0F, 0F));
TransformGroup tg2 = new TransformGroup(myTrans2);
tg.addChild(tg1);
tg.addChild(tg2);
float transparencyValue = 0.5f;
TransparencyAttributes ta = new TransparencyAttributes(TransparencyAttributes.BLENDED,
transparencyValue, TransparencyAttributes.BLEND_SRC_ALPHA, TransparencyAt-
tributes.BLEND_ONE);
Shape3D shape = obj.getShape();
Appearance app1 = new Appearance();
app1.setTransparencyAttributes(ta);
app1.setRenderingAttributes(new RenderingAttributes());
Shape3D shape2 = obj.getShape();
Appearance app2 = new Appearance();
app2.setTransparencyAttributes(ta);
```

```

app2.setRenderingAttributes(new RenderingAttributes());
//se for seringa, coloca cor neutra
if(!obj.isOrgao()){
app2.setMaterial(new Material(new Color3f(1.0f,.0f,.0f), new Color3f(.0f,.0f,.0f),
new Color3f(1.0f,.0f,.0f), new Color3f(1.0f,1.0f,1.0f), 30.0f));
app1.setMaterial(new Material(new Color3f(.0f,1.0f,1.0f), new Color3f(.0f,.0f,.0f),
new Color3f(.0f,1.0f,1.0f), new Color3f(1.0f,1.0f,1.0f), 30.0f));
}
else{
if(cor.toLowerCase().contains(" clara")){
app2.setMaterial(new Material(new Color3f(1.945f, .0866f, .0782f), new Color3f(0.0f,
0.0f, 0.0f),
new Color3f(1.986f, .0869f, .0771f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
app1.setMaterial(new Material(new Color3f(.0945f, 1.866f, 1.782f), new Color3f(0.0f,
0.0f, 0.0f),
new Color3f(.0986f, 1.869f, 1.771f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
}
else if(cor.toLowerCase().contains(" morena")){
app2.setMaterial(new Material(new Color3f(1.57f, .0344f, .0261f), new Color3f(0.0f,
0.0f, 0.0f),
new Color3f(1.7f, .0441f, .0347f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
app1.setMaterial(new Material(new Color3f(.057f, 1.344f, 1.261f), new Color3f(0.0f,
0.0f, 0.0f),
new Color3f(.07f, 1.441f, 1.347f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
}
else if(cor.toLowerCase().contains(" negra")){
app2.setMaterial(new Material(new Color3f(1.067f, .005f, .0007f), new Color3f(0.0f,
0.0f, 0.0f),
new Color3f(1.035f, .0067f, .0105f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
app1.setMaterial(new Material(new Color3f(.0067f, 1.05f, 1.007f), new Color3f(0.0f,
0.0f, 0.0f),
new Color3f(.0035f, 1.067f, 1.005f), new Color3f(1.0f, 1.0f, 1.0f), 30.0f));
}
}
shape.setAppearance(app1);
tg1.addChild(new Shape3D(shape.getGeometry(), app1));
if (obj instanceof ObjDef) {
try {
shape2 = ((ObjDef) obj).getStereoShape();
shape2.setCollidable(false);
}
}

```

```

shape2.setAppearance(app2);
tg2.addChild(shape2);
}
catch (Exception e) {
System.out.println("erro: " + e.getMessage());
}
}
else {
shape2 = new Shape3D(shape.getGeometry(), app2);
shape2.setCapability(Shape3D.ALLOW_LOCAL_TO_VWORLD_READ);
tg2.addChild(shape2);
}

        System.out.println(" adicionado stereo - fim");
}
else {
Appearance ap = new Appearance();
Shape3D shape = obj.getShape();

        if (obj.isOrgao()) {
ap = new CorIluminacao(ap, null).adicionaCor(cor);
shape.setAppearance(ap);
}

        tg.addChild(obj.getShape());
}
}
myLocale.addBranchGraph(bg);
}

```

9.5 Apêndice 5: Código completo para criação da nova aba *Estereoscopia* na interface de interação do *framework*.

```

////////////////////Guia Estereoscopia////////////////////
JCheckBox jCheckBoxEstereo;
JRadioButton jRadioEstereo, jRadioColorAnaglyph, jRadio Shutter;
String tipoEstereo = ;

        JPanel painelFunc4 = new JPanel(new BorderLayout());

```

```

    JPanel painelEstereo = new JPanel(new BorderLayout());
    jCheckBoxEstereo = new JCheckBox("Stereoscopy");
    painelEstereo.add(jCheckBoxEstereo, BorderLayout.NORTH);
    jRadioEstereo = new JRadioButton("Anaglifo Verdadeiro", false);
    ButtonGroup radioGroupES = new ButtonGroup();
    radioGroupES.add(jRadioEstereo);
    painelEstereo.add(jRadioEstereo, BorderLayout.WEST);
    jRadioColorAnaglyph = new JRadioButton("Anaglifo Colorido", false);
    radioGroupES.add(jRadioColorAnaglyph);
    painelEstereo.add(jRadioColorAnaglyph, BorderLayout.EAST);
    painelFunc4.add(painelEstereo, BorderLayout.WEST);

```

```

    JPanel painelParEst = new JPanel();
    painelParEst.setLayout(null);
    JLabel paralaxe = new JLabel("Paralaxe");
    paralaxe.setBounds(10, 2, 60, 20);
    jTextFieldParalaxe = new JTextField(2);
    jTextFieldParalaxe.setText("");
    jTextFieldParalaxe.setBounds(72, 2, 40, 20);

```

```

    JButton bSalvarFunc = new JButton("Salvar");
    bSalvarFunc.setBounds(142, 2, 90, 20);
    bSalvarFunc.addActionListener(new ActionListener()
    public void actionPerformed(ActionEvent evt)
    salvarDef();
    salvarOctree();
    salvarParalaxe();

    );

```

```

    JButton bCancelaParalaxe = new JButton("Cancelar");
    bCancelaParalaxe.setBounds(142, 22, 90, 20);
    bCancelaParalaxe.addActionListener(new ActionListener()
    public void actionPerformed(ActionEvent evt)
    cancelarAlteracoes();

    );

```

```

    painelParEst.add(paralaxe);

```

```
painelParEst.add(jTextFieldParalaxe);
painelParEst.add(bSalvarFunc);
painelParEst.add(new JLabel());
painelParEst.add(bCancelaParalaxe);
painelFunc4.add(painelParEst, BorderLayout.CENTER);
```

```
    jt.addTab("Estereoscopia", painelFunc4);
////////////////////////////////////
```

Parecer do Orientador

O projeto chegou ao seu final com os objetivos totalmente cumpridos. A dedicação da bolsista lhe propiciou um amadurecimento durante a execução do projeto, principalmente em relação à compreensão dos fundamentos da pesquisa científica. Acredito que o projeto tenha contribuído para que a aluna obtivesse a experiência de desenvolver um trabalho científico de qualidade, considerando todas as suas fases: desde a sua concepção, passando pela revisão bibliográfica, implementação, coleta e análise dos resultados. Além disso, a bolsista esteve presente no laboratório de pesquisa durante grande parte do tempo de execução do projeto, tendo a oportunidade de conhecer e participar de discussões sobre os projetos de outros alunos do grupo, propiciando uma troca de experiências que auxiliou no seu aprendizado e amadurecimento. Dessa forma, acredito que a participação neste projeto contribuiu com a formação da bolsista e deve fazer diferença na sua atuação profissional.