

 **PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

DE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



# **Uma Estratégia para uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada baseados em marcadores fiduciais**

Webert Vieira Arantes

Orientando

Alexandre Cardoso, Dr.

Orientador

Edgard A. Lamounier Júnior, PhD

Co-Orientador

UBERLÂNDIA, MG

JULHO DE 2011

# **Uma Estratégia para uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada baseados em marcadores fiduciais**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do  
título de Mestre em Ciências, avaliada em 11/07/2011  
pela Banca Examinadora.

Área de Concentração: Processamento da Informação

UBERLÂNDIA, MG

JULHO DE 2011

**DE MÚLTIPLAS CÂMERAS EM SISTEMAS DE  
REALIDADE AUMENTADA BASEADOS EM MARCADORES FIDUCIAIS**

Webert Vieira Arantes

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do  
título de Mestre em Ciências, avaliada em 11/07/2011  
pela Banca Examinadora.

Área de Concentração: Processamento da Informação

Aprovada em ...../...../ 2011

Banca Examinadora:

---

Alexandre Cardoso, Dr (UFU) - Orientador

---

Edgard A. Lamounier Júnior, PhD (UFU)

---

Keiji Yamanaka, PhD (UFU)

---

Luciano Pereira Soares, Dr (PUC - RJ)

UBERLÂNDIA, MG

JULHO DE 2011

A minha esposa Ivana e aos meus filhos Victor, Igor e Lucas, pelo apoio incondicional que me deram e pela paciência de agüentar os meus muitos momentos de mau humor devido às dificuldades que enfrentamos juntos.

Aos meus pais que por várias vezes tiveram de mostrar o seu carinho para que eu pudesse ter forças para continuar.

Aos meus orientadores Alexandre e Edgard sem os quais eu não conseguira chegar onde estou.

Aos colegas de laboratório que me ajudaram em todos os momentos em que eu me encontrava sem soluções para os problemas que enfrentei.

E ao meu amigo, colega e parceiro de tênis, Chico Muller que todos estes anos de convivência sempre se mostrou um exemplo a ser seguido.

## RESUMO

**ARANTES, Webert Vieira. Estratégia para ampliar a área de interação em sistemas de Realidade Aumentada através do uso de múltiplas câmeras.** Dissertação de Mestrado. Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica ó UFU, 2011.

Se comparada com outras áreas de pesquisa, a Realidade Aumentada se mostra bastante recente e, por esse motivo, sujeita a novas investigações científicas e a inovações tecnológicas. Segundo Kirner e Siscoutto [2007], os ambientes de Realidade Aumentada facilitam a atuação do usuário em espaços tridimensionais, aumentam o desempenho dos sistemas e permitem melhores técnicas de interação. Nesses ambientes, é comum o uso de somente uma câmera para capturar a cena real e permitir a interação com o sistema. Portanto, em aplicações em que é apresentado um grande número de informações virtuais, no momento da interação com esses dados, é grande o risco de instabilidade na cena, provocada pela oclusão de marcadores, e por confusão na visualização dos dados. Além disso, o campo de interação com os objetos virtuais fica limitado ao entorno do usuário, dificultando a ação sobre os objetos virtuais situados a uma distância maior. O presente trabalho propõe a utilização de mais de uma câmera no desenvolvimento desses sistemas e, com isso, provocar um aumento do campo de interação com os objetos virtuais da cena, flexibilizando a manipulação de marcadores por parte do usuário e possibilitando a melhor "higienização" do ambiente visualizado. O usuário terá a opção de apresentar os marcadores fiduciais não só a câmera principal, mas também as outras câmeras disponíveis. A verificação de qual marcador foi utilizado ocorrerá através da análise da imagem da câmera a qual foi apresentado, mas as ações correspondentes serão executadas sobre os objetos apresentado na cena da câmera principal, permitindo assim que a interação ocorra sem interferência no ambiente. Na implementação do protótipo desenvolvido, foi utilizada a GoblinXNA, uma plataforma *open-source* escrita em C# sobre o Microsoft XNA Game Studio e a biblioteca ALVAR. Para dar suporte a esse contexto, foi utilizado um questionário aplicado aos participantes dos experimentos. Por meio da análise desses dados, foi possível inferir que a estratégia proposta é viável e possibilita a ampliação do campo de interação com os objetos virtuais em sistemas de Realidade Aumenta.

**Palavras-Chave:** Realidade Aumentada. Interface não convencional.

## ABSTRACT

**ARANTES, Webert Vieira. Strategy to increase the area of interaction in augmented reality systems through the use of multiple cameras.** Mastership dissertation. Uberlândia, Electric Engineering College, Federal University of Uberlândia,, 2011.

If compared with other areas of research Augmented Reality shows are fairly recent, and as such subject to new scientific research and technological innovations. According to Kirner and Siscoutto [2007] Augmented Reality environments makes easier the action of the user in three-dimensional space by increasing the system performance and allowing for better interaction techniques. In these environments it is common to use only one camera to capture the real scene and to allow interaction with the system. Therefore, in applications where it is presented a large number of virtual information, at the time of interaction with these data is a great risk of instability in the scene caused by the occlusion of markers, and confusion in data visualization. In addition, the area of interaction with virtual objects is limited to around the user, making the action on the virtual objects located further away. This study proposes the use of more than one camera on the development of these systems and thereby causes an increased interaction area with virtual objects in the scene, making easier the use of markers and enabling a better "cleaning" of environment displayed. The user has the option of presenting the fiducial markers not only the main camera, but the other cameras available. The verification will occur which marker was used by analyzing the camera image which was presented but the corresponding actions will be performed on objects in the scene presented the main camera, allowing the interaction to occur without interference in the environment. In implementing the prototype was used GoblinXNA platform, an *open-source* platform written in C # on the Microsoft XNA Game Studio and the library ALVAR. To support this context, was used a questionnaire to the participants of the experiments. Through analysis of these could infer that the proposed strategy is feasible and enables an expansion of the area of interaction with virtual objects in augmented reality systems.

**Keyword:** Augmented Reality. Interface unconventional.

ARANTES, Weibert Vieira ; Alexandre Cardoso ; Edgard Afonso Lamounier Júnio. **Proposta de um Framework para utilização de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada.** In: SVR - Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, 2010, Natal - Rio Grande do Norte. Anais do XII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR2010), 2010.

ARANTES, Weibert Vieira ; Marlus Dias Silva ; SANTOS, E. S. ; Mônica Rocha Ferreira de Oliveira ; Keiji Yamanaka ; Alexandre Cardoso ; Edgard Afonso Lamounier Júnio . **Proposta de uma Interface não Convencional Baseada em Processamento de Imagens e Redes Neurais Artificiais.** In: IX Congresso Brasileiro de Redes Neurais/Inteligência Computacional, 2009, Ouro Preto. Anais do IX Congresso Brasileiro de Redes Neurais/Inteligência Computacional (IX CBRN), 2009.

SANTOS, E. S. ; Marlus Dias Silva ; ARANTES, Weibert Vieira ; Lázaro Lima ; Alexandre Cardoso ; Edgard Afonso Lamounier Júnio . **Proposta de uma Interface não Convencional para Reabilitação Motora Suportada por Ambientes de Realidade Virtual.** In: 6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2009, Santos. Anais do WRVA 2009, 2009.

Lázaro Lima ; SANTOS, E. S. ; Marlus Dias Silva ; ARANTES, Weibert Vieira ; Alexandre Cardoso ; Edgard Afonso Lamounier Júnio . **Uma ferramenta para auxiliar o tratamento de pessoas com aracnofobia utilizando técnicas de Realidade Aumentada.** In: 6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2009, Santos. Anais do WRVA 2009, 2009.

Marlus Dias Silva ; SANTOS, E. S. ; ARANTES, Weibert Vieira ; Lázaro Lima ; Alexandre Cardoso ; Edgard Afonso Lamounier Júnio . **Uma Proposta de Middleware para distribuição de Realidade Aumentada pela Web como Ferramenta de Apoio para Educação a Distância.** In: 6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2009, Santos. Anais do WRVA 2009, 2009.

## SUMÁRIO

<b>Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Contextualização .....</b>	<b>6</b>
1.1.1. Realidade Aumentada.....	6
1.1.2. Recursos para desenvolvimento de sistemas em Realidade Aumentada.....	8
1.1.3. Imersão e interação em Ambientes de Realidade Aumentada.....	8
<b>1.2. Motivação da pesquisa e problema a ser abordado.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. Objetivos e metas.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Organização do trabalho.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Fundamentos Tecnológicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Introdução .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Realidade Aumentada.....</b>	<b>14</b>
2.2.1. Conceitos e definições .....	14
2.2.2. Tipos de sistemas de Realidade Aumentada .....	15
2.2.3. Técnicas de interação em Realidade Aumentada .....	17
<b>2.3. Tecnologias de apoio a ambientes de RA.....</b>	<b>20</b>
2.3.1. Plataforma Goblin XNA.....	20
2.3.2. Framework XNA .....	21
2.3.3. ALVAR .....	22
2.3.4. Comunicação via Socket.....	23
<b>2.4. Considerações Finais.....</b>	<b>25</b>
<b>3. Trabalhos Relacionados.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Introdução .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. <i>õImproving Interaction in an Augmented Reality System Using Multiple Camerasö</i>...</b>	<b>26</b>
<b>3.3. <i>õMultidimensional Information Visualization Using Augmented Realityö</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4. <i>õCalibração de múltiplas câmeras baseado em um padrão invarianteö</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>3.5. Uma arquitetura para distribuição de ambientes virtuais de Realidade Aumentada</b>	<b>30</b>
<b>3.6. <i>õSaviraö</i> .....</b>	<b>31</b>
<b>3.7. <i>Opportunistic Tangible User Interfaces for Augmented Reality</i>.....</b>	<b>33</b>



	34
<b>4. Concepção da Estratégia</b>	<b>37</b>
4.1. Introdução	37
4.2. Estratégia utilizada	37
4.3. Arquitetura do sistema	39
4.4. Etapa I - Definição dos modelos 3D e Marcadores	40
4.5. Etapa II - Estruturação do Módulo Servidor	41
4.5.1. Aquisição dos modelos 3D	42
4.5.2. Criação da câmera virtual	42
4.5.3. Criação das luzes do ambiente virtual	42
4.5.4. Ligação dos modelos 3D com os marcadores	43
4.5.5. Aquisição da cena real	43
4.5.6. Servidor <i>Socket</i>	43
4.5.7. Verificação e execução das ações de interação	44
4.5.8. Renderização e apresentação da cena no monitor	44
4.6. Etapa III - Estruturação do(s) Módulo(s) Cliente(s)	44
4.6.1. Aquisição da cena real	44
4.6.2. Movimento dos marcadores ou gestos	45
4.6.3. Cliente <i>Socket</i>	45
4.7. Considerações Finais	46
<b>5. Técnicas Desenvolvidas para Interação</b>	<b>47</b>
5.1. Introdução	47
5.2. Colisão entre Objetos Virtuais e o uso de botões	49
5.3. Posição Relativa	50
5.4. Selecionar, mover e deletar	52
5.5. Rotação e Escala	55
5.6. Menus Flutuantes	56
5.7. Considerações Finais	57
<b>6. Estudo de Caso: Resultados e limitações</b>	<b>58</b>
6.1. Introdução	58
6.2. Casa de Bonecos	58

Goblin XNA .....	65
6.4. Modelagem e Exportação dos Objetos Virtuais .....	66
6.5. Análise do estudo.....	67
6.5.1. Experimentos realizados.....	67
6.5.2. Resultados e limitações .....	70
6.6. Considerações Finais .....	78
7. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	79
7.1. Introdução .....	79
7.2. Conclusões .....	79
7.3. Contribuições .....	80
7.4. Trabalhos Futuros.....	80
8. Referências Bibliográficas .....	82

## Índice de Ilustrações

Figura 1 - Sistema de Realidade Aumentada de Visão Indireta.....	7
Figura 2 - Exemplo de uma composição em Realidade Aumentada (RA).....	10
Figura 3 - Visualização de informações em RA [Meiguins, 2006].....	11
Figura 4 - Vaso e carro virtual sobre uma mesa real [KIRNER et al., 2006].....	14
Figura 5 - Sistema de Visão Ótica Direta [Augmented Construction, 2010].....	15
Figura 6 - Sistema de Visão Direta por Vídeo [Vuzix Wrap 920AR glasses, 2010].....	16
Figura 7 - Sistema de Visão por Vídeo baseado em Monitor.....	16
Figura 8 - Exemplo da técnica do "Espelho Mágico" [ARTag, 2010].....	17
Figura 9 - Exemplo da técnica da "Lente Mágica" [Estadão, 2010]. ....	18
Figura 10 - Hierarquia do grafo de cena na Goblin XNA.....	21
Figura 11 - Marcador fiducial. ....	22
Figura 12 - Exemplo de uma matriz de marcadores usada pela ALVAR. ....	23
Figura 13 - Múltiplas câmeras de monitoramento para estabilizar a visualização de objetos virtuais. ....	26
Figura 14 - Interação feita no protótipo de Meiguins [Meiguins, 2006].....	28
Figura 15 - Posicionamento das câmeras no sistema proposto por Manuel Eduardo [Loaiza, 2009].....	29
Figura 16 - Interação por apresentação de marcador [Silva, 2008]. ....	30
Figura 17 - Interação por oclusão de marcador [Silva, 2008]. ....	31
Figura 18 - Apresentação dos dados no SAVIRA [Zorzal, 2009].....	32
Figura 19 - Interação por meio do menu no SAVIRA [Zorzal, 2009].....	32
Figura 20 - Parte do corpo do usuário visto no SAVIRA [Zorzal, 2009]. ....	33
Figura 21 - Opportunistic controls sendo utilizado no estudo de caso [Steven, 2010]. ....	34
Figura 22 - Sistema com câmera única. ....	38
Figura 23 - Sistema com múltiplas câmeras. ....	39
Figura 24 - Arquitetura proposta para a estratégia de desenvolvimento de aplicativos que usem múltiplas câmeras como meio de interação em sistemas de Realidade Aumentada. ....	40
Figura 25 - Tela do programa de modelagem 3ds Max.....	41
Figura 26 - Marcador criado por meio da ALVAR. ....	47
Figura 27 - Marcador com uma matriz 2x3 de "marcas". ....	48
Figura 28 - Dois marcadores sobrepostos. ....	49
Figura 29 - Ilustração de uma mesa digitalizadora e um mouse. ....	51
Figura 30 - Fluxograma para implementação da Posição Relativa.....	52
Figura 31 - Ferramenta Mover. ....	53
Figura 32 - "Ferramenta" Selecionar, Mover.....	54
Figura 33 - "Ferramenta" Selecionar, Deletar. ....	54
Figura 34 - Marcador usado para navegar no menu flutuante.....	56
Figura 35 - Menu Principal do aplicativo Casa de Bonecos. ....	59
Figura 36 - Ambiente 2 sendo apresentado em RA. ....	60
Figura 37 - Menu apresentado na câmera principal.....	61
Figura 38 - Menu sendo apresentado à câmera extra. ....	61

do com o uso da câmera extra. ....	62
Figura 40 - Personagem virtual sendo retirado da cena usando-se a câmera extra. ....	63
Figura 41 - Comparação entre o uso do marcador na câmera principal e na câmera extra.....	64
Figura 42 - Outros ambientes disponíveis no sistema. ....	64
Figura 43 - Tela do programa 3ds Max.....	67
Figura 44 - Disposição das câmeras nos ensaios realizados.....	68
Figura 45 - Utilização do sistema usado nos ensaios de interação.....	69
Figura 46 - Marcadores "Menu Flutuante" sendo usados.....	69
Figura 47 - Nível de escolaridade dos participantes.....	70
Figura 48 - Nível de conhecimento no uso de computadores.....	71
Figura 49 - Nível de conhecimento em sistemas de Realidade Aumentada. ....	71
Figura 50 - Resultado da realização da tarefa número 1.....	72
Figura 51 - Resultado da realização da tarefa número 2.....	73
Figura 52 - Resultado da realização da tarefa número 3.....	73
Figura 53 - Resultado da realização da tarefa número 4.....	74
Figura 54 - Resultado da realização da tarefa número 5.....	75
Figura 55 - Média dos resultados da realização das 5 tarefas. ....	76
Figura 56 - Utilização de forma colaborativa do protótipo com múltiplas câmeras.....	77

# ***Introdução***

---

## **1.1. Contextualização**

### **1.1.1. Realidade Aumentada**

Quando ao ambiente físico são sobrepostos objetos virtuais tridimensionais e apresentados ao usuário em tempo real por meio de dispositivos tecnológicos, ou quando imagens capturadas de pessoas e objetos reais são inseridas em um ambiente virtual, chamamos de Realidade Misturada. Nesse contexto, a Realidade Aumentada ocorre quando objetos virtuais são incluídos em cenas do mundo real [KIRNER; TORI, 2004]. Sendo assim, na realização de estudos em que é necessária a visualização e manipulação do objeto estudado, a Realidade Aumentada pode facilitar esse procedimento, reproduzindo dados complexos na forma de objetos tridimensionais e fazendo a sua apresentação na cena do ambiente real. Em aplicações desenvolvidas para uso tanto em espaços internos como externos, a Realidade Aumentada permite a realização de interações tangíveis mais fáceis e naturais e é por isso, tida como candidata a próxima geração de interface popular [SISCOUTTO *et al.*, 2007].



**Figura 1 - Sistema de Realidade Aumentada de Visão Indireta.**

A Figura 1 apresenta um sistema de Realidade Aumentada em que uma *webcam* é usada para capturar a imagem do ambiente físico. Essa imagem será combinada no computador com os objetos virtuais e apresentada em tempo real ao usuário por meio de um monitor. O posicionamento dos objetos virtuais na cena real é feito por intermédio de técnicas de visão computacional aplicadas na localização de marcadores fiduciais, geralmente formas geométricas impressas em papel, que são apresentadas à câmera e identificadas pelo *software* em função da sua forma [CARDOSO *et al.*, 2007].

A Realidade Aumentada pode ser classificada quanto à forma de visualização utilizada [Azuma, 2001]:

- Quando a imagem dos objetos virtuais misturados à cena real é projetada diretamente nos olhos do usuário, dizemos que a Realidade Aumentada é de Visão Direta e pode ser implementada com o uso de capacetes ópticos ou capacetes com câmeras acopladas.
- Quando o usuário percebe a Realidade Aumentada em um monitor dizemos que a Realidade Aumentada é de Visão Indireta e pode ser implementada com o uso de uma câmera e monitor convencional [AZUMA, 2001].

No caso da Figura 1, a Realidade Aumentada é de Visão Indireta.

O *hardware* necessário para o desenvolvimento de um sistema de Realidade Aumentada de Visão Indireta é composto por um computador convencional e uma câmera de vídeo ligada a ele. Para promover a interação do usuário com os objetos virtuais da cena, na maioria das vezes, são utilizados dispositivos não convencionais de baixo custo, como marcadores de papel [KIRNER; TORI, 2006]. Para o reconhecimento das estruturas constantes impressas nos marcadores, um *software* com algoritmos de visão computacional é utilizado. Esse *software* deverá ser capaz de implementar objetos virtuais, que geralmente são construídos previamente, bem como incorporá-los a cena do ambiente físico em tempo real [TORI *et al.*, 2006]. Entre os *softwares* de autoria de Realidade Aumentada, podem ser citados o ARToolKit [BILLINGHURST, 2006], MRT [FREEMAN, 2005], Studierstube [SCHMALSTIEG, 2002], APRIL [LEDERMANN, 2005], DART [MACINTYRE, 2003], MARS [GUVEM, 2003], AMIRE [ZAUNER, 2003], MXRToolKit [Mixed Reality Lab Singapore, 2006], osgART [TECHNOTECTURE, 2005], ALVAR [V.T.R.C. of Finland, 2008] e o *Goblin XNA* [OHANODA, 2009].

### 1.1.3. Imersão e interação em Ambientes de Realidade Aumentada

O conceito de imersão está ligado diretamente ao sentido de presença, ou seja, sentimento de se estar dentro do ambiente, eliminando a diferença entre a realidade e a representação. Quando o sistema de Realidade Aumentada é de Visão Direta, dizemos que o sistema é Imersivo e quando de Visão Indireta, ele é considerado de Imersão Subjetiva (ou não-imersivo) [KIRNER; TORI, 2004], [ARAUJO, 2005]. Apesar De a Realidade Aumentada por Visão Indireta ter um grau de imersão reduzido em relação à Realidade Aumentada por Visão Direta, ela apresenta como ponto positivo a falta das restrições impostas ao uso de capacetes e óculos. Além disso, o grau de imersão pode ser aumentado usando algum dispositivo baseado em outro sentido, como por exemplo, a audição [ROBERTSON, 1993].

Além de permitir ao usuário a visualização de objetos virtuais na cena da realidade física, os sistemas de Realidade Aumentada podem proporcionar maneiras para que o usuário interaja com esses objetos. Em uma interface convencional, a interação entre humanos e computadores é feita por meio de interfaces gráficas, como menus de telas acessados por meio do *mouse* e o teclado, dispositivos que dificilmente poderiam ser tratados como extensões

em certo nível de treinamento para serem utilizados [KIRNER; TORI, 2006]. Na Realidade Aumentada, geralmente a interação é feita por meio do uso de Interfaces Tangíveis, que permitem uma interação com o computador usando as mãos ou ferramentas reais [AZUMA, 2001]. Nesse contexto, a interação é a ação que o usuário exerce sobre os objetos virtuais presente na cena e o nível de interatividade no sistema é medido pela sua capacidade de detectar essas ações, seja por meio de dispositivos de entrada convencionais ou não, e modificar instantaneamente o ambiente virtual apresentado. Quanto maior essa capacidade, maior o nível de interatividade [KIRNER, 2005].

Uma das formas usadas com mais frequência para a interação em ambientes de Realidade Aumentada é a presença de marcadores fiduciais, que são formas geométricas impressas em papel e, muitas vezes, montados sobre uma superfície rígida e plana como papelão ou madeira que, quando manipulados à frente da câmera, provocam a movimentação do objeto virtual associado a ele. Mais de um marcador pode ser implementado no sistema e usado como ferramenta para permitir ao usuário interagir com os objetos virtuais. Essas ferramentas podem causar, por exemplo, a mudança de cor do objeto, a troca de um objeto por outro ou mudanças de sua escala e rotação. Como exemplo, é possível observar, na Figura 2, a imagem de uma sala onde foi colocado um marcador fiducial. Quando o sistema de Realidade Aumentada é inicializado, um objeto virtual, no caso uma mesa, é posicionado no ambiente por meio do cálculo da localização desse marcador. A interação com a mesa poderia ser feita por meio da movimentação do marcador colocado no piso, que a carregaria para uma nova posição.





**Figura 2** ó Exemplo de uma composição em Realidade Aumentada (RA).

## **1.2. Motivação da pesquisa e problema a ser abordado**

Atualmente, é possível verificar a existência de muitos estudos e implementações de sistemas de Realidade Aumentada. Essas soluções aumentam as informações nos ambientes e produzem a sensação de que elas estão presentes em um único cenário [VICENTINI, 2006]. Por meio dessa tecnologia é possível a interação entre o meio físico e o virtual de forma a oferecer ao usuário melhor reflexão sobre a situação de interesse [KIRNER *et al.*, 2006]. Entretanto em alguns casos como no trabalho de [MEIGUINS, 2006] cujo resultado pode ser observado na Figura 3, em que a quantidade de informação apresentada é grande e a interação com os dados pode provocar confusão no momento da sua realização. Em outros trabalhos como em Zorzal [2009], podemos perceber uma limitação em se apresentar os dados sobre a cena real a que se referem. A solução encontrada nessa pesquisa foi apresentar os dados sobre um elemento gráfico e, no momento da interação, o usuário se posicionar à frente da câmera do sistema para a apresentação dos marcadores.

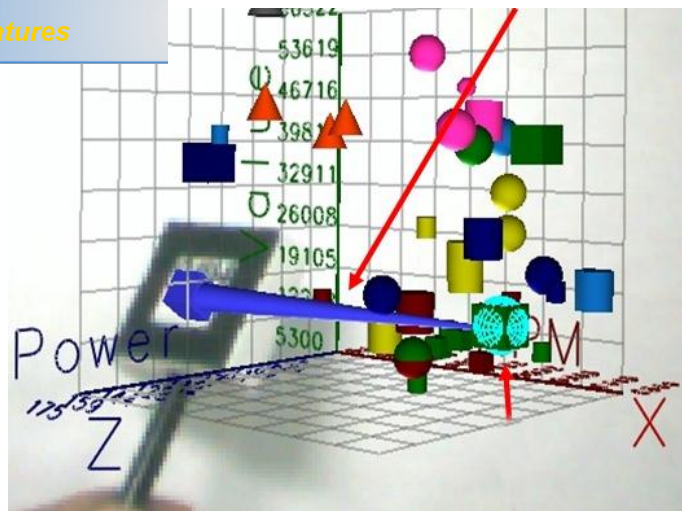


Figura 3 - Visualização de informações em RA [Meiguins, 2006].

Situações em que a visualização do ambiente em Realidade Aumentada é prejudicada pela obstrução da cena no momento em que o usuário interage com os objetos virtuais, revelam uma limitação no uso desses sistemas. De fato, a opção de interação por uso de marcadores é única, ou seja, o usuário só interage com o sistema por meio da apresentação do marcador à câmera que captura a cena, o que provoca, invariavelmente, algum nível de obstrução.

Analisando as pesquisas de Ingmar [2003] e de Loaiza [2009], percebe-se uma inquietação no sentido de buscar uma solução para o problema de obstrução de marcadores no momento da interação com os objetos virtuais em um ambiente em Realidade Aumentada. Motivada por essa busca, a presente pesquisa foi desenvolvida com intenção de investigar novos meios de promover a interação entre o usuário e os objetos virtuais nesses cenários.

### 1.3. Objetivos e metas

O objetivo deste trabalho é propor uma estratégia para ampliar a área de interação em ambientes de Realidade Aumentada, baseado em marcadores, por meio do uso de múltiplas câmeras conectadas ao sistema. Ou seja, o usuário, por meio dessa estratégia, poderá interagir com os objetos virtuais do cenário, usando câmeras extras e marcadores fiduciais. Espera-se, com essa estratégia, minimizar o problema de oclusão de marcadores provocada pelo usuário no momento da realização das interações.

jados as seguintes metas foram definidas:

- Investigar os conceitos sobre Realidade Aumentada e possíveis técnicas de interação nesses sistemas.
- Levantar prováveis tecnologias para serem usadas como suporte no desenvolvimento da estratégia de uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada.
- Por meio da análise de trabalhos relacionados, apresentar as limitações existentes nos sistemas atuais e relações com a estratégia proposta.
- Apresentar uma arquitetura para o desenvolvimento de aplicativos que utilizem a estratégia de implementação de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada, explicando as etapas de sua concepção.
- Adaptar as técnicas atuais de interação em sistemas de Realidade Aumentada para serem usadas nos sistemas com múltiplas câmeras.
- Apresentar um protótipo de sistema de Realidade Aumentada que utilize múltiplas câmeras como meio de realizar interações com os objetos virtuais do cenário criado.
- Validar o sistema proposto por meio de testes no protótipo e apresentar os resultados e conclusões conseguidos por meio ensaios realizados por usuários.

#### 1.4. Organização do trabalho

Esta pesquisa organiza-se em sete capítulos apresentados resumidamente a seguir:

**Capítulo 1 ó Introdução:** Contextualiza o tema abordado, apresenta as considerações iniciais sobre imersão, interação e os recursos para o desenvolvimento de sistemas em Realidade Aumentada. Discute a motivação da pesquisa, seus objetivos e metas.

**Capítulo 2 ó Fundamentos Tecnológicos:** Aborda os conceitos sobre vários aspectos da Realidade Aumentada bem como o XNA, ALVAR, *Goblin XNA* e Socket.

**Capítulo 3 ó Trabalhos Relacionados:** Aborda trabalhos relacionados ao tema, possibilitando uma análise sobre as limitações dos sistemas de Realidade Aumentada atuais e sua relação com a presente pesquisa.

**da Estratégia:** Apresenta a estratégia proposta para utilização de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada e descreve uma possível arquitetura para sua implementação.

**Capítulo 5 ó Técnicas Desenvolvidas para Interação:** Investiga formas de interação entre o usuário e os objetos virtuais apresentados em sistemas de Realidade Aumentada de câmera única e a sua adequação para o sistema proposto com múltiplas câmeras.

**Capítulo 6 ó Estudo de Caso: Resultados e limitações:** Descreve o estudo de caso apresentado e por meio do mesmo analisa a viabilidade e limitações do uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada.

**Capítulo 7 ó Conclusões e Trabalhos Futuros:** Apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## *Fundamentos Tecnológicos*

### 2.1. Introdução

Este capítulo aborda os conceitos básicos de Realidade Aumentada, sua classificação e possíveis técnicas de interação. Descreve os *frameworks* XNA [Microsoft XNA, 2010] e *Goblin XNA* [OHANODA, 2009] usados como base para o desenvolvimento do protótipo apresentado neste trabalho. Apresenta uma visão da biblioteca ALVAR [ALVAR, 2010] utilizada para acessar os recursos necessários para o desenvolvimento de aplicativos em Realidade Aumentada e, por fim, analisa o funcionamento da comunicação entre processos por meio de uma conexão via Socket que permitirá a fluxo de dados captados pelas câmeras.

### 2.2. Realidade Aumentada

#### 2.2.1. Conceitos e definições

A Realidade Aumentada (RA) pode ser definida como a sobreposição do ambiente físico por objetos virtuais gerados por computador e mostrada ao usuário por meio de um dispositivo tecnológico. Esses dispositivos podem ser desde capacetes especiais a um monitor de computador que utiliza uma câmera simples para capturar a cena real [KIRNER; TORI, 2006].

Em um sistema de Realidade Aumentada, é possível, por exemplo, colocar um vaso virtual sobre uma mesa real e interagir com o mesmo. Isso é ilustrado na a Figura 4.



Figura 4 ó Vaso e carro virtual sobre uma mesa real [KIRNER *et al.*, 2006]

Então, um sistema que adiciona objetos virtuais ao mundo real. Esses objetos virtuais são gerados por computador e devem estar alinhados ao ambiente físico, fazendo parecer que coexistem no mesmo espaço. Sistemas de Realidade Aumentada também devem permitir interação em tempo real [AZUMA, 2001].

### 2.2.2. Tipos de sistemas de Realidade Aumentada

Os sistemas de Realidade Aumentada podem ser classificados de acordo com a tecnologia usada, ou seja, de acordo com o tipo do dispositivo de visualização usado para apresentar as imagens ao usuário [AZUMA, 2001].

Nos *Sistemas de Visão Ótica Direta*, são utilizados óculos ou capacetes com um rastreador que possibilita a projeção da imagem dos objetos virtuais alinhados à cena real. O rastreador é a ferramenta responsável pelo alinhamento dos objetos virtuais sobre o ambiente observado. A projeção desses objetos virtuais é feita geralmente sobre uma lente transparente e inclinada. O usuário, através dessa lente, consegue ver, ao mesmo tempo, o ambiente real e o reflexo da imagem do objeto virtual apresentado pelo monitor, dando a impressão de uma imagem única. A Figura 5 apresenta um esquema desse sistema e o seu uso em um projeto que emprega Realidade Aumentada.

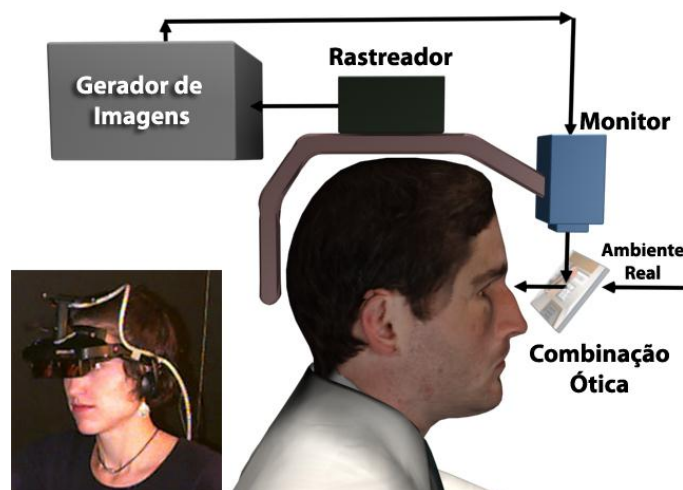


Figura 5 - Sistema de Visão Ótica Direta [Augmented Construction, 2010]

No *Sistema de Visão Direta por Vídeo*, os equipamentos usados possuem câmeras de vídeo acopladas. A imagem do ambiente real é capturada pela câmera, misturada com os elementos virtuais gerados por computador e apresentadas ao usuário por meio de monitores



e o equipamento (óculos) em uso.



**Figura 6 - Sistema de Visão Direta por Vídeo [Vuzix Wrap 920AR glasses, 2010]**

O *Sistema de Visão por Vídeo Baseado em Monitor* utiliza uma câmera instalada no computador para capturar a imagem da cena real que é misturada com os objetos virtuais e apresentada em um monitor convencional. A Figura 7 ilustra o funcionamento desse sistema.



**Figura 7 - Sistema de Visão por Vídeo baseado em Monitor.**

No *Sistema de Visão Ótica por Projeção*, a imagem do objeto virtual é projetada em uma superfície do ambiente real e visualizada pelo usuário sem a necessidade de equipamento

na superfície de projeção no espaço em que é usado e por isso é considerado um sistema restrito [CARDOSO,2007].

Outra forma de classificar os sistemas de Realidade Aumentada é por intermédio da forma pela qual o usuário vê o mundo misturado. Quando o usuário vê o mundo misturado olhando diretamente para as posições reais dos objetos virtuais, como nos *Sistemas de Visão Ótica Direta, por Vídeo e por Projeção*, a Realidade Aumentada é de *Visão Direta* (imersiva). Quando o usuário vê o mundo misturado em algum dispositivo, como o monitor convencional nos *Sistema de Visão por Vídeo Baseado em Monitor*, a Realidade Aumentada é de *Visão Indireta* (não imersiva ou de imersão subjetiva) [KIRNER; TORI, 2006].

### 2.2.3. Técnicas de interação em Realidade Aumentada

Existem dois paradigmas comuns em Realidade Aumentada e podem ser chamados de *õMagic Mirrorö* (Espelho Mágico) e *õMagic Lensö* (Lente Mágica) [CAWOOD, 2008].

Na técnica do Espelho Mágico, um monitor de computador, uma televisão ou uma tela de projeção é colocada, voltada para o usuário, atrás da área que está sendo capturada pela câmera de vídeo do sistema de Realidade Aumentada. Dessa forma, o usuário se veria como em um espelho no qual, além de observar a realidade refletida perceberia, também os objetos virtuais que ãumentamö a cena. A Figura 8 mostra um exemplo da aplicação dessa técnica.



Figura 8 - Exemplo da técnica do "Espelho Mágico" [ARTag, 2010].



ágica é uma abordagem diferente. A câmera de vídeo do sistema estará apontada para o motivo observado. O usuário poderá movimentar os objetos na frente da câmera ou a própria câmera em torno dos objetos, vendo não somente a cena real, mas também os componentes virtuais do ambiente ãumentadoö. A Figura 9 mostra um exemplo da aplicação dessa técnica usada na apresentação de um empreendimento imobiliário.



**Figura 9 - Exemplo da técnica da "Lente Mágica" [Estadão, 2010].**

No princípio, os sistemas de Realidade Aumentada não tinham como preocupação principal a interação com o usuário e, sim, a visualização do cenário criado. As interfaces gráficas, já conhecidas em sistemas convencionais, eram a opção geralmente adotada para a interação do usuário com o sistema criado. Os sistemas de Realidade Aumentada atuais apresentam a tendência de usar interfaces tangíveis [AZUMA, 2001], que permitem interações usando as mãos, objetos ou ãferramentasö reais como, por exemplo, uma pequena pá feita de papel.

Uma das maneiras mais simples de implementação de interfaces tangíveis é conseguida no ambiente de Realidade Aumentada usando-se marcadores fiduciais. A presença de um marcador, geralmente um cartão de papel, à frente de uma câmera faz com que o objeto virtual, gerado e associado a esse cartão, seja visualizado sobre a sua localização. A manipulação do cartão com as mãos movimenta também o objeto virtual. Além do objeto virtual, sons também podem ser associados e iniciados quando o cartão entra no campo de visão da câmera. Alguns cartões de controle (ãferramentasö) podem ser implementados no sistema, para interferir em objetos selecionados de outros cartões. Essa interferência poderia ser uma alteração geométrica, troca, deleção, duplicação ou captura de um objeto. A seleção e interferência nos objetos virtuais desses sistemas geralmente são feitas por aproximação

da posição de outro, inclinação, quando ao se inclinar um cartão uma ação é executada ou oclusão, quando uma função é acionada pela obstrução do cartão antes visto pela câmera. Com isso, os objetos podem ser alterados ou reposicionados, gerando inúmeras possibilidades de aplicações, incluindo jogos e aplicativos educacionais.

Uma alternativa para o desenvolvimento de interfaces de Realidade Aumentada consiste no uso de agentes virtuais, cujas ações são ordenadas pelo usuário por meio de gestos e/ou comandos de voz. Um agente pode, por exemplo, mover objetos virtuais para que o usuário possa inspecioná-lo.

Portanto, a interação nos ambientes de Realidade Aumentada pode ser feita utilizando-se diferentes técnicas de navegação no ambiente e alteração dos objetos virtuais [KIRNER; TORI, 2006].

As técnicas de interação que devem ser usadas em um sistema de Realidade Aumentada dependem do propósito desse sistema. Sendo assim, não existe uma regra clara que defina qual solução deva ser implementada para o desenvolvimento desses sistemas.

As técnicas de interação em ambientes de Realidade Aumentada podem ser classificadas como mostrado a seguir.

- *Interação Espacial* (Spatial Interaction): Acontece quando são usados objetos reais para se manipular os objetos virtuais inseridos no ambiente de Realidade Aumentada. Um exemplo seria o uso de marcadores fiduciais.
- *Interação Baseada em Comandos* (Command-Based Interaction): Quando a técnica usada consiste no uso de comandos de voz ou é feita por meio de gestos realizados pelo usuário e reconhecidos pelo sistema. Este tipo de interação na maioria dos casos possui algumas restrições com relação ao ambiente onde é aplicada. No caso do comando por gestos o fundo da cena e a iluminação do ambiente devem ser controlados para facilitar o reconhecimento, bem como no caso do comando de voz o nível de ruído no lugar deve ser observado [Truyenque, 2005].
- *Interação por Controle Virtual* (Virtual Control Interaction): É feita por meio da apresentação de janelas, botões, menus ou ícones como sendo objetos virtuais que ao serem selecionados executam uma determinada função. Este tipo de interação traz similaridade com um sistema convencional de computador.
- *Interação por Controle Físico* (Physical Control Interaction): O uso de um painel de controle real, contendo teclados, botões ou joysticks acionam não só equipamentos físicos como também os objetos virtuais apresentados [BROLL, 2005].

### 2.3.1. Plataforma Goblin XNA

*Goblin XNA* é uma plataforma *open-source* desenvolvida na *Columbia University, New York* para pesquisa sobre interfaces 3D, incluindo a Realidade Aumentada, e tem como ênfase a programação de jogos. Ela é escrita na linguagem de programação C# (C Sharpe) baseada no *Microsoft XNA Game Studio* e utiliza a biblioteca *ALVAR* e o pacote *DirectShow* para implementação das funcionalidades na Realidade Aumentada. A *Goblin XNA* possui métodos em sua biblioteca que suportam o rastreamento de marcadores por câmera, desenvolvimento de estratégias de interação (colisão, dinâmica etc.), importação de modelos em 3D nos formatos de arquivos desenvolvidos pela *Autodesk* e *Microsoft*, o *FBX* (abreviação de *FilmBox*) e o *X (DirectX)* respectivamente, além de permitir efeitos de sombra, fogo e outros.

*Goblin XNA* utiliza um grafo de cena que suporta manipulação e rendering de cenas 3D. Atualmente, o grafo de cena consiste em dez tipos de nós:

- Geometria
- Transformação
- Luz
- Câmera
- Partícula
- Marcadores (Marker)
- Som
- Desvio (Switch)
- LOD (nível de detalhamento)
- Rastreamento

Grafos de cenas são ferramentas conceituais para representação de ambientes virtuais tridimensionais nas aplicações de computação gráfica [WALSH, 2002]. Na computação gráfica são considerados vários aspectos, como posição do objeto, forma e iluminação. Cada um desses aspectos deve ser inserido em um grafo de cena para representar o ambiente virtual. O grafo de cena é formado, portanto, por nós conectados por arestas compondo um grafo acíclico direcionado. Os nós são organizados de uma maneira hierárquica correspondendo ao do mundo modelado. Exemplos de programas que usam grafos de cenas incluem *AutoCAD*, *Adobe Illustrator*, *OpenSceneGraph* e *CorelDRAW*. Desse modo, um

ós em uma estrutura de grafo ou árvore. A Figura 10 apresenta a hierarquia do grafo de cena da *Goblin XNA* [OHANODA, 2009].

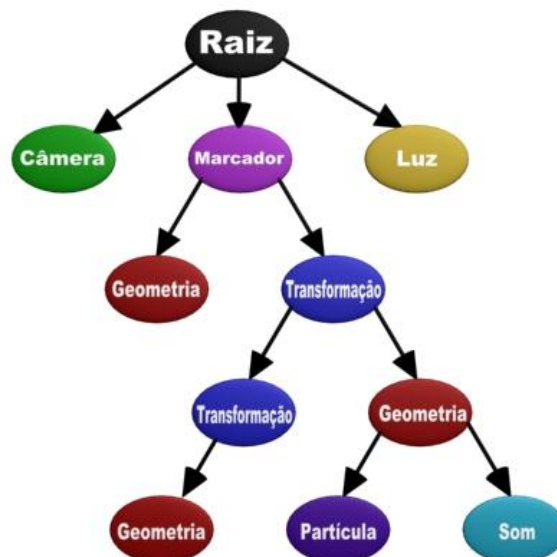


Figura 10 - Hierarquia do grafo de cena na *Goblin XNA*

### 2.3.2. Framework XNA

A plataforma *Goblin XNA* utiliza a estrutura de desenvolvimento do *XNA Game Studio* (sigla em inglês que significa *XNA's Not Acronymed*) que é um *Framework* de programação gráfica desenvolvida pela *Microsoft* para a criação de jogos para o sistema operacional *Windows* e console *Xbox 360*. Esse *Framework* funciona como um meio de conexão entre a *API* (*Interface de Programação de Aplicações*) do *DirectX* e o programador, possuindo uma série de funcionalidades e rotinas previamente compiladas, facilitando o trabalho com geometria espacial.

A linguagem de programação do XNA é o C# (C Sharp), mas como o C# faz parte do conjunto de linguagens do *.NET Framework*, qualquer linguagem *.NET* pode ser usada para o desenvolvimento dos aplicativos.

Todo o *Framework XNA* é distribuído gratuitamente pela *Microsoft*, sendo necessário apenas possuir o C# Express e o *XNA Game Studio* instalados.

Os arquivos de instalação do *Visual C# 2008 Express Edition*, a IDE (ambiente integrado para desenvolvimento) para o C# e do *Microsoft XNA Game Studio 3.1* podem ser encontrados em [Microsoft Express, 2010] e [Microsoft XNA, 2010] respectivamente.

Como citado anteriormente, em sistemas de Realidade Aumentada, para se obter o alinhamento dos objetos virtuais, gerados por computador, com a cena real capturada por uma câmera, faz-se necessário o uso de um sistema de rastreamento. Esse sistema deve obter as coordenadas de posicionamento dos objetos virtuais por meio da análise das imagens da cena real. Ou seja, um sistema de Realidade Aumentada geralmente requer alguma indicação de onde exatamente ele deve ser aumentado o ambiente visualizado. Uma das formas mais usadas para se conseguir essas informações é o rastreamento de um marcador fiducial.

O marcador fiducial é um objeto utilizado como ponto de referência ou medida e é colocado no campo de visão de um sistema de captura de imagens no local onde se deseja que um objeto virtual apareça. Esse marcador pode ser qualquer coisa colocada sobre a cena a ser analisada, por exemplo, um diodo emissor de luz. Um dos primeiros padrões utilizados por aplicativos em RA consiste em um quadrado com bordas pretas em cujo centro se localizava uma forma específica que o tornava único e distinguível de outros marcadores. Qualquer informação pode ser gravada em seu interior, como, por exemplo, uma letra, um nome ou uma imagem. O rastreamento desse tipo de marcador é conseguido, comparando-se a sua imagem com um banco de dados de marcadores. Um exemplo desse tipo de marcador é visto na Figura 11.



**Figura 11 - Marcador fiducial.**

O problema com esse tipo de marcador é que ele não é muito escalável, ou seja, quanto mais rastreadores existirem mais demorado se torna o rastreamento desse marcador na cena.

ALVAR (*A Library for Virtual and Augmented Reality*) [ALVAR, 2010] é uma biblioteca desenvolvida na linguagem de programação C++ pela VTT Technical Research Center na Finlândia. Essa biblioteca oferece ferramentas de programação de alto nível e métodos para a prototipagem rápida de sistema em Realidade Aumentada. ALVAR utiliza um



marcadores fiduciais baseados na *OpenCV* (*Open Source Computer Vision Library*) em que algoritmos de Visão Computacional são utilizados no desenvolvimento dos aplicativos para rastreamento dos marcadores.

A biblioteca ALVAR foi inspirada no ARToolkit, um sistema inventado por Hirokazu Kato, que utiliza visão computacional e marcadores fiduciais na criação de sistemas em Realidade Aumentada. No entanto, para alcançar maior confiabilidade no reconhecimento dos marcadores, a ALVAR utiliza, para o seu rastreamento, uma dada matriz de marcadores do tipo *idBased Markes*. Esse tipo de marcador utiliza padrões já definidos e o seu rastreamento deixa de ser feito por similaridade de imagens e passa a ser por meio da leitura direta, o que o torna mais escalável. A Figura 12 mostra uma matriz de marcadores utilizada pela biblioteca ALVAR.

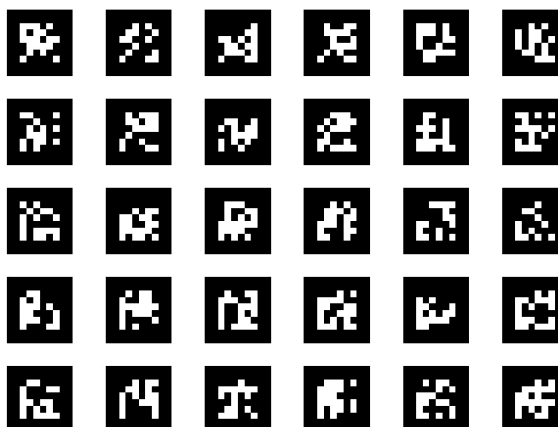


Figura 12 ó Exemplo de uma matriz de marcadores usada pela ALVAR.

A vantagem em se usar a matriz de marcadores é que, por existir uma quantidade maior de ômarcasô, a questão da interferência da luz na visualização do marcador é minimizada, permitindo assim uma maior confiabilidade e estabilidade no sistema desenvolvido [V. T. R. C. of Finland, 2008].

#### 2.3.4. Comunicação via Socket

*Socket* é uma interface de comunicação bidirecional feita entre processos por meio de uma rede de computadores. *Sockets* são representados como descritores de arquivos e podem permitir a comunicação entre processos distintos no mesmo aparelho ou em máquinas distintas, por meio de uma rede. Os *Sockets* constituem a base da comunicação em redes

ocol/Internet Protocol) e também são muito usados em comunicações entre processos no interior de um mesmo computador. Eles normalmente são identificados como uma interface entre a camada de aplicação e a camada de transporte do sistema. Essa comunicação é baseada no paradigma cliente-servidor.

*Sockets* podem trabalhar com RPCs (Chamada Remota de Procedimento) e assim terem a função de implementar numa aplicação as funções de rede. Em documentos de RFC (*Request for Comments*) relacionado à TCP ou UDP (*User Datagram Protocol*), um *Socket* em um computador é definido como a combinação de um endereço IP e o número da porta do protocolo.

A interface padronizada de soquetes surgiu originalmente no sistema operacional Unix BSD (*Berkeley Software Distribution*); portanto, eles são muitas vezes chamados de *Berkeley Sockets*. É também uma abstração computacional que mapeia diretamente uma porta de transporte (TCP ou UDP) e um endereço de rede. Com esse conceito, é possível identificar um aplicativo ou servidor na rede de comunicação IP.

Para identificar uma conexão ente dois computadores, um *Socket* deve ser definido, por meio das seguintes informações:

- Endereço IP do servidor;
- Porta em que se encontra o serviço solicitado;
- Endereço IP do cliente;
- Porta por meio da qual o cliente solicita o serviço.

Um exemplo de conexão entre computadores por meio de *Socket* é o acesso a uma página da *Internet*. Um servidor Web tem a porta 80 como porta padrão de comunicação entre os clientes. Quando é digitado o endereço de um *site* no *browser* (navegador), automaticamente esse endereço é convertido em seu respectivo endereço IP e uma porta no computador é disponibilizada dinamicamente, constituindo assim um *Socket*. O cliente, nesse caso, é quem solicita a conexão através do *browser*, e o servidor é quem disponibiliza a página para ser acessada.

Em outras palavras, a comunicação entre processos consiste em transmitir uma mensagem entre um *Socket* de um processo e um *Socket* de outro processo. Para que um processo receba mensagens, seu *Socket* deve estar vinculado a uma porta local e a um dos endereços IP do computador em que é executado. As mensagens enviadas para um endereço de IP e um número de porta em particular só podem ser recebidas por um processo cujo *Socket* esteja associado a esse endereço IP e esse número de porta [COULOURIS, 2005]

Na criação de um sistema em Realidade Aumentada, além do conhecimento sobre os conceitos que envolvem a matéria, é necessária a utilização de uma plataforma de programação que contenha métodos de:

- Captura de imagens por câmera (real);
- Importação de objetos 3D;
- Criação de câmera e luzes virtuais;
- Rastreamento de marcadores;
- *Rendering* (geração de imagens por meio de modelos tridimensionais gerados por computador);
- Comunicação entre processos (troca de dados e mensagens entre programas).

Esse capítulo objetivou uma breve conceituação e descrição dos objetos e metodologias que envolvem a criação de interfaces em Realidade Aumentada.



## Trabalhos Relacionados

### 3.1. Introdução

Este capítulo analisa pesquisas que usam de alguma forma uma solução com múltiplas câmeras e discute trabalhos em que o uso dessa solução poderia ampliar as possibilidades de interação ou uma melhor apresentação dos dados desses sistemas.

### 3.2. *õImproving Interaction in an Augmented Reality System Using Multiple Camerasö*

Na proposta feita por Ingmar Baetge [INGMAR, 2003] o sistema de Realidade Aumentada criado é usado em um ambiente colaborativo em que os usuários podem analisar um objeto de interesse, como, por exemplo, uma peça de engenharia da indústria automotiva. O objetivo do sistema é dar aos usuários a possibilidade de interação de forma natural com os objetos virtuais colocados sobre uma mesa de reunião. Na pesquisa, são apontados alguns problemas, com destaque para a oclusão de marcadores causada pelas mãos dos usuários durante a interação com o sistema. Essa oclusão prejudica o sistema de rastreamento impedindo a visualização correta dos objetos virtuais apresentados.

A solução encontrada pelo autor foi a implementação de um sistema de rastreamento baseado em múltiplas câmeras de vídeo, em que o posicionamento do objeto é feito pela estimativa calculada a partir das imagens capturadas de todas as câmeras. A conclusão do trabalho é feita por meio de avaliações quantitativas e qualitativas e aponta para um sistema mais eficiente contra oclusões e, portanto mais eficaz no apoio a interação. Na Figura 13 é possível ver a imagem da câmera principal, no centro, e de duas câmeras extras, à esquerda e à direita, auxiliando o sistema de rastreamento.



Figura 13 - Múltiplas câmeras de monitoramento para estabilizar a visualização de objetos virtuais.

nesse trabalho tem como objetivo apoiar o sistema de rastreamento das aplicações desenvolvidas e proporciona uma melhora nas interações do usuário com os objetos virtuais. Dessa forma, evita que haja um colapso na visualização do objeto, quando o usuário, no momento da interação, obstrui a visão do marcador. Todavia, os sistemas propostos a partir dessa pesquisa continuam oferecendo como única possibilidade de interação o uso das ferramentas, seja em conjunto com a câmera principal, ou seja, a câmera cuja imagem capturada é usada para o rastreamento é a mesma usada para a execução das ações de interação. A apresentação das ferramentas para as câmeras extras não estabelece ações de interação, essas câmeras são usadas somente para estabilizar a imagem apresentada do objeto virtual na cena.

A presente dissertação difere da proposta de Ingmar Baetge, em relação ao uso de múltiplas câmeras, justamente no que se refere à interação do usuário com os objetos virtuais apresentados na cena. Enquanto Ingmar propõe o uso das câmeras como apoio ao sistema de rastreamento, aqui é apresentada uma estratégia em que o usuário terá como opção a interação no sistema por meio do uso de marcadores junto às câmeras extras, possibilitando ampliar a área de interação entre o usuário e os objetos apresentados.

### **3.3. *3D Multidimensional Information Visualization Using Augmented Reality***

No trabalho apresentado por Meiguins [2006], um protótipo para visualização de informações em ambiente de Realidade Aumentada é proposto. O protótipo permite ao usuário realizar tarefas tais como filtros dinâmicos de dados, seleção de atributos, zoom semântico e detalhes sob demanda. A implementação do protótipo foi feita usando-se a biblioteca de programação ARToolkit, que trabalha com sistema de rastreamento baseado em marcadores. O usuário pode visualizar e manipular as informações por meio do uso de marcadores dispostos em forma de *menu* ou com um marcador especial que aciona as opções desse *menu*, como mostra a Figura 14. Nota-se que a quantidade de informações apresentadas é muito grande e a interferência da mão do usuário ou da movimentação de marcadores no ambiente causa certa confusão na visualização dos dados.

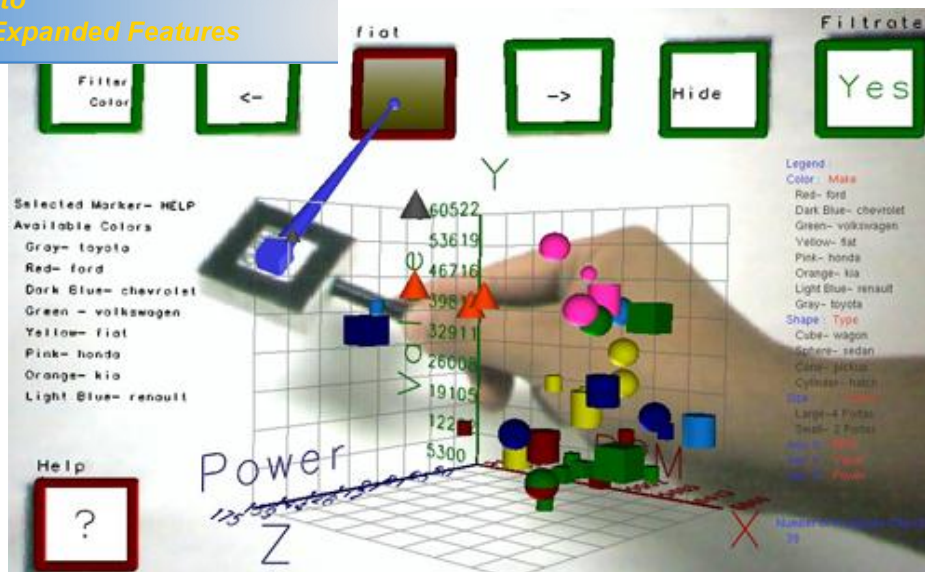


Figura 14 - Interação feita no protótipo de Meiguins [Meiguins, 2006].

A estratégia apresentada nesta dissertação oferece a trabalhos como o de Meiguins a opção de uma interação que não interfira na cena apresentada. Na Figura 14, por exemplo, o usuário poderia apresentar o marcador de interação para uma das câmeras extras e a ação correspondente a seleção de uma opção no *menu* poderia ser feita de uma forma mais limpa sem causar interferência na apresentação dos dados.

### 3.4. Calibração de múltiplas câmeras baseado em um padrão invariante

Loaiza [2009] discute um método de calibração de múltiplas câmeras para rastreamento de marcadores, baseado na extração e posterior uso das características físicas e implícitas de um padrão unidimensional invariante, cuja estrutura é definida por quatro marcadores colineares.

Um dos componentes-chave na criação de sistemas de Realidade Virtual e Aumentada é o rastreamento. É ele que permite o posicionamento correto dos objetos virtuais no ambiente real. Várias tecnologias são usadas na implementação desses sistemas, entre elas os rastreamentos sonoro, eletromagnético, mecânico e óptico, sendo esse último o mais usado.

O processo de calibração de câmeras é uma etapa importante na instalação dos sistemas de rastreamento óptico. Da qualidade da calibração deriva o funcionamento correto e preciso do sistema de rastreamento. Para realização dos testes no trabalho apresentado por

...e quatro câmeras monocromáticas com conexão *Firewire*.  
A captura foi feita a 30 fps (frames por segundo) em um computador Intel Core 2 Duo de 2.3GHz com 2GB de memória. Uma imagem dos sistemas montados pode ser vista na Figura 15.



**Figura 15 - Posicionamento das câmeras no sistema proposto por Manuel Eduardo [Loaiza, 2009].**

Esta pesquisa também permite observar a utilização de múltiplas câmeras para a etapa de rastreamento em sistemas de Realidade Aumentada, da mesma forma que no trabalho de Ingmar as câmeras extras são usadas como auxílio no rastreamento da cena para posicionamento dos objetos virtuais.

Apesar do foco da pesquisa ser a calibração das múltiplas câmeras para serem usadas no sistema de rastreamento, é importante observar que as câmeras extras não atuam como possíveis meios de interação do usuário com os objetos virtuais posicionados. A presente dissertação propõe uma estratégia em que essas câmeras extras poderiam ser utilizadas também como meio de interação do usuário com o sistema.



## Aumentada

No trabalho de Wender Antônio [SILVA, 2008], é apresentada uma arquitetura para distribuição de ambientes virtuais de Realidade Aumentada como ferramenta de apoio a projetos de ensino. Por meio de um protótipo de *software* sobre fisiologia vegetal, um estudo de caso foi apresentado utilizando-se uma interface de Realidade Aumentada que possibilitou a interação do usuário com o ambiente virtual por meio de menus e uso de marcadores. A conclusão da pesquisa chegou ao resultado de que o protótipo foi eficaz e aplicável na área de ensino.

No protótipo apresentado foi criada uma janela de visualização da cena capturada pela câmera e colocado do lado direito dessa janela um *Menu* por meio do qual o usuário realiza a interação com o sistema. Para que ocorresse a interação, foram utilizadas duas estratégias: apresentação de marcadores e oclusão de marcadores. O usuário apresenta um marcador para câmera e, dependendo desse marcador e de sua localização na janela, uma ação é executada. Ou o usuário faz a oclusão de um marcador específico e uma ação é realizada. As Figuras 16 e 17 mostram essas estratégias sendo usadas.

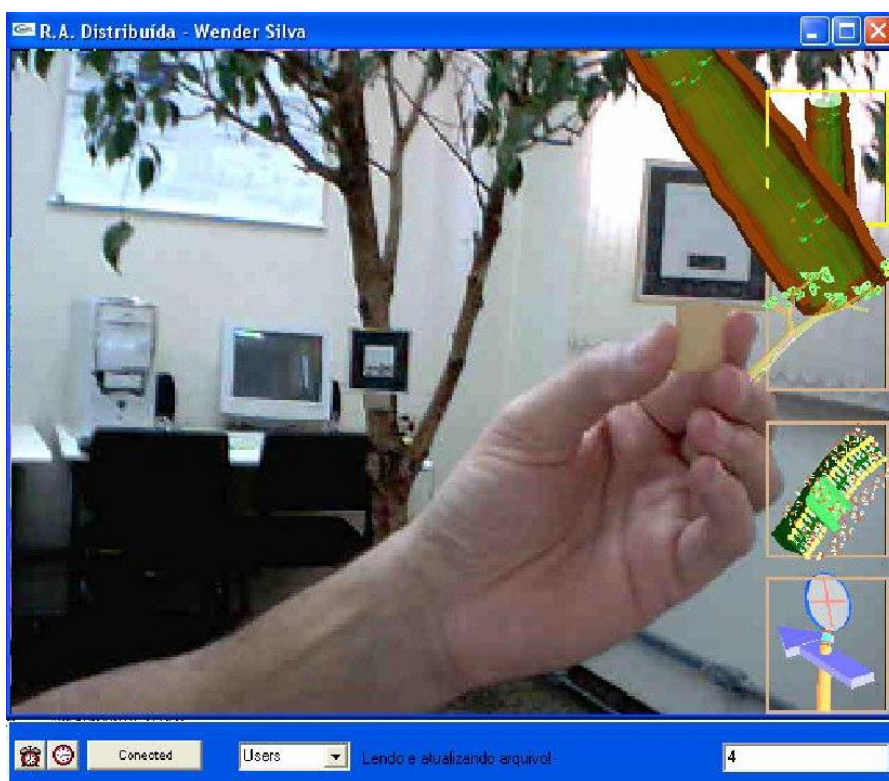
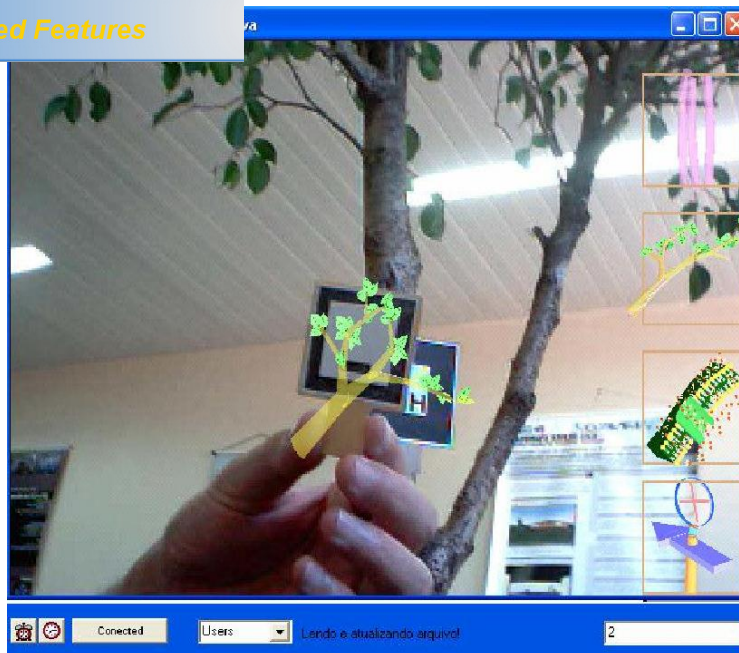


Figura 16 - Interação por apresentação de marcador [Silva, 2008].



**Figura 17 - Interação por oclusão de marcador [Silva, 2008].**

Podemos perceber pelas figuras 16 e 17 que, neste trabalho, a utilização de múltiplas câmeras no processo de interação poderia melhorar a apresentação da cena. Se ao invés do usuário apresentar os marcadores para câmera principal ele os apresentasse para uma câmera extra, a mão do usuário não interferiria na apresentação da cena e a quantidade de informações desnecessárias na tela seria menor. Da mesma forma poderia ser evitado o uso do *Menu de Interação* sobre a cena e o foco de atenção ficaria centrado no objeto de estudo.

### **3.6. ãSaviraõ**

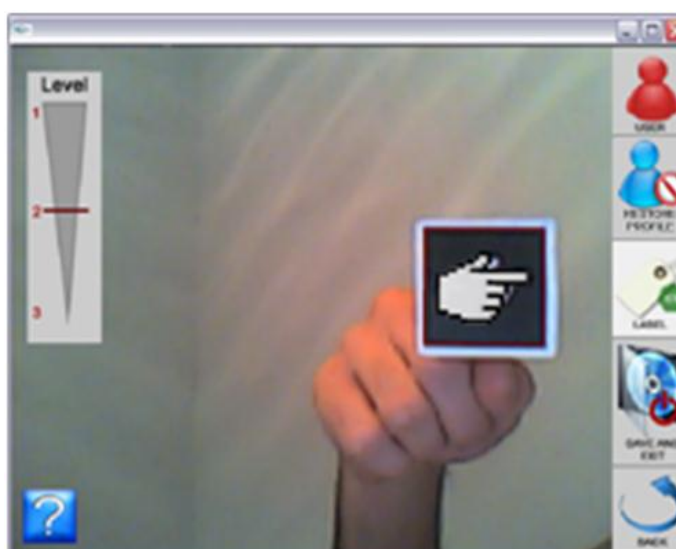
O sistema SAVIRA (Sistema Adaptativo de Visualização de Informação com Realidade Aumentada), propõe uma estratégia para visualização de informações usando-se Realidade Aumentada. Como protótipo é apresentado o uso dessa estratégia no setor rural, mais especificamente numa fazenda com varias tipos de atividades [ZORZAL, 2009].

São apresentados sobre um modelo de terreno gerado por computador, diversos ícones correspondentes aos campos de interesse suportados pelo sistema e em uma barra lateral, ícones dispostos na forma de *Menu* para a realização das interações. A Figura 18 apresenta esse arranjo.



**Figura 18 - Apresentação dos dados no SAVIRA [Zorzal, 2009].**

A navegação nos menus é feita por meio da apresentação de um marcador preso ao dedo do usuário que provoca uma ação ao se aproximar de uma determinada posição, como pode ser visto na Figura 19.



**Figura 19 - Interação por meio do menu no SAVIRA [Zorzal, 2009].**

É possível perceber pelas figuras que o potencial da cena real como suporte para os objetos virtuais não é utilizado em sua totalidade. Seria interessante se os gráficos fossem apresentados sobre a cena a que eles se referem. Por exemplo, os dados de uma análise das plantações da fazenda sendo apresentados sobre a imagem da própria plantação. Além disso,



sentados ao sistema, o usuário tem que se posicionar a frente da câmera, obstruindo boa parte da cena. Podemos observar essa situação na Figura 20.

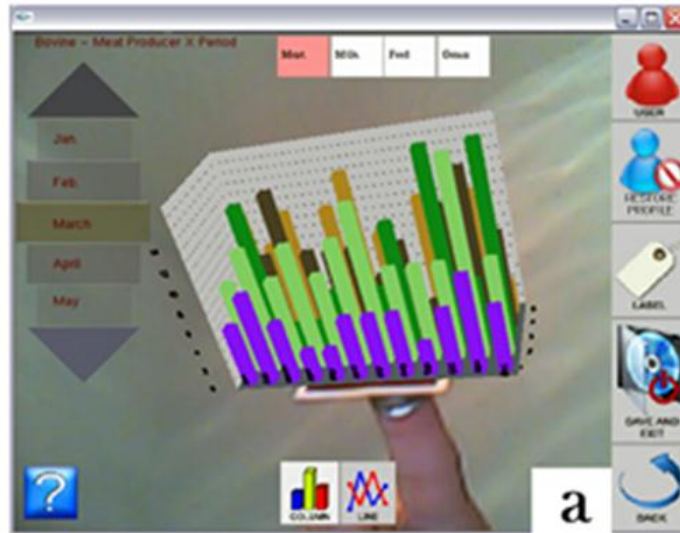


Figura 20 - Parte do corpo do usuário visto no SAVIRA [Zorzal, 2009].

Se ao invés de uma única câmera o SAVIRA utilizasse múltiplas câmeras as possibilidades de apresentação dos dados e a higienização da cena seriam maiores. A estratégia apresentada nessa dissertação torna-se, portanto uma opção quanto à apresentação dos dados e formas de interação para sistemas como o SAVIRA.

### 3.7. *Opportunistic Tangible User Interfaces for Augmented Reality*

Steven [2010] em seu trabalho conceitua *Opportunistic Controls* (OC - Controles oportunos) como sendo técnicas de interação desenvolvidas em Realidade Aumentada apoiada em gestos. *Widgets 3D* (componentes de interfaces gráficas 3D) são usados como sugestões sobre a funcionalidade de controles de equipamentos. Por exemplo, um conjunto de botões no equipamento pode ser mapeado em Realidade Aumentada mostrando as suas características. A implementação dessa técnica é feita com o uso de marcadores fiduciais combinados com reconhecimento de gestos. Nesse trabalho é apresentada, como estudo de caso, a realização de uma inspeção simulada de uma manutenção de um motor de avião por meio de um conjunto de botões virtuais executados como OCs. A execução dessa manutenção feita por meio da

participantes terminassem as suas tarefas em menor tempo do que usando técnicas convencionais. A Figura 21 mostra a técnica de OC sendo aplicada.

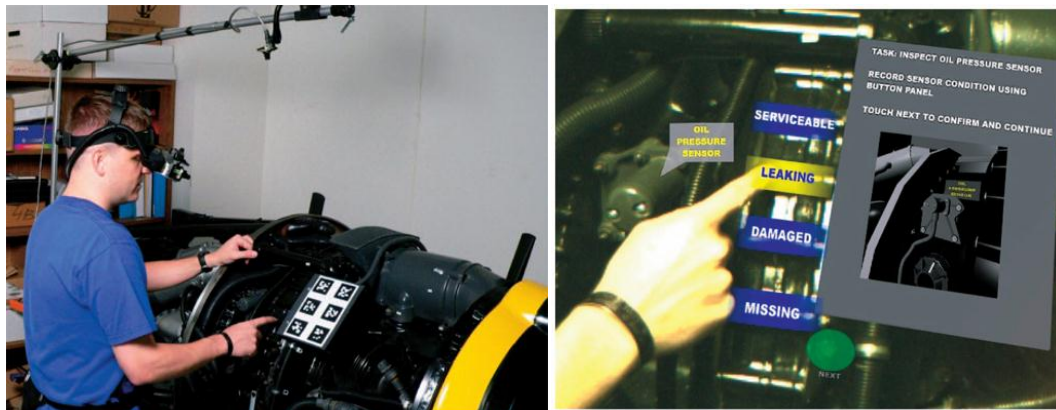


Figura 21 - Opportunistic controls sendo utilizado no estudo de caso [Steven, 2010].

Durante a apresentação da pesquisa, o autor sugere como solução para a melhoria na identificação dos gestos do usuário, o uso de uma segunda câmera de vídeo montada em paralelo e um pouco acima do plano dominante dos OCs. Isso permitiria ao sistema suspender o processo de segmentação (separação da imagem da mão na cena apresentada) e identificação do gesto quando a mão do usuário não estivesse na mesma profundidade dos OCs.

Apesar de o uso de câmeras extras não ter sido implementado no sistema apresentado na pesquisa sobre *Opportunistic Controls*, a sua utilização foi considerada pelo autor para a melhoria do desempenho do sistema. Uma possibilidade não considerada poderia ser a utilização de múltiplas câmeras como meio de permitir um maior número de interações e diminuição do risco de oclusão indesejada de marcadores.

### 3.8. Considerações Finais

Os trabalhos apresentados nesse capítulo demonstram que, em muitos casos, o uso de múltiplas câmeras pode ser a solução para limitações que envolvem sistemas de Realidade Aumentada, como por exemplo, o cálculo da profundidade de campo da mão do usuário na interação com marcadores ou a oclusão desses marcadores.

A Tabela 1 sintetiza os pontos abordados nas pesquisas apresentadas a fim de se ter uma melhor visualização da utilização de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada. Nela é possível verificar quais dos sistemas usam múltiplas câmeras e quais

a. Aponta se as câmeras extras são usadas para o rastreamento da cena ou para o cálculo de profundidade de campo na utilização de interações por gestos. A Tabela 1 também expõe em quais trabalhos foram utilizadas interações por marcadores e em quais por gestos. Mostra se existe, nos sistemas implementados, o risco indesejado de oclusão de marcadores e se há possibilidade dos sistemas serem sistemas colaborativos. Por fim confere se alguma das pesquisas utiliza múltiplas câmeras com o objetivo de ampliar o campo de interações do usuário com os objetos virtuais apresentados.

**TABELA 1 ó Comparação entre os Trabalhos Relacionados.**

Pesquisa	Múltiplas Câmeras	Câmeras extras usadas para Rastreamento	Câmeras extras usadas para cálculo Profundidade de campo	Interação por Gestos	Uso de marcadores como Ferramentas	Risco de problemas com Oclusão	Possibilidade do uso do sistema de forma colaborativa	Câmeras extras usadas para Interatividade
Ingmar 2003	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>
Meiguins 2006	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>
Wender 2008	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>
Loaiza 2009	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>
Zorzal 2009	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>
Steven 2010	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<i>SIM</i>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<i>SIM</i>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>

Nas pesquisas realizadas por Ingmar, Loaiza e Steven, múltiplas câmeras foram usadas ou como forma de auxílio no rastreamento da cena para posicionamento dos objetos virtuais ou para o cálculo de profundidade de campo no uso de interações por gesto.

Os trabalhos de Ingmar, Meiguins, Wender e Zorzal usam marcadores específicos para provocarem interações, isto é, utilizam marcadores que são apresentados à câmera para promover a interação entre o usuário e os objetos virtuais apresentados. Na pesquisa de Steven, os marcadores não são apresentados pelo usuário, eles são colocados na cena para promover o posicionamento de elementos virtuais ou para serem usados como estratégia de interação quando sofrem oclusão.

iza, que não apresenta um estudo de caso em Realidade Aumentada, ocorre, nos trabalhos apresentados, o risco de oclusão indesejada de marcadores. No sistema de Ingmar, esse problema é minimizado pelo uso de múltiplas câmeras.

Nos trabalhos apresentados por Ingmar e Wender, a utilização dos protótipos como sistemas colaborativos fica evidente, enquanto em Meiguins, Zorzal e Steven essa possibilidade não existe. Aqui entendem-se como sistemas colaborativos aqueles em que vários usuários possam interagir com os objetos virtuais ao mesmo tempo.

Por fim, em nenhuma das pesquisas analisadas, foi considerada a utilização de múltiplas câmeras como meio de captação de ações que gerassem interações entre o usuário e os objetos virtuais.

A Tabela 1 não objetiva a comparação entre os sistemas apresentados, mas sim a visualização de suas características. A análise dessas características serve como confirmação da motivação da pesquisa desta dissertação. A pesquisa tem como fim a apresentação de uma estratégia que utilize múltiplas câmeras como meio de promover interação entre o usuário e os objetos virtuais apresentados em sistemas de Realidade Aumentada. Com essa estratégia pretendesse minimizar o problema de oclusão indesejada de marcadores e de promover uma visualização mais ôlimpaô das cenas, além de possibilitar que os sistemas criados possam ser usados de forma colaborativa.

## *Concepção da Estratégia*

### **4.1. Introdução**

Neste capítulo, apresenta-se uma estratégia para o uso de múltiplas câmeras no desenvolvimento de sistemas em Realidade Aumentada. Por meio dessa estratégia, o usuário será capaz de interagir com os objetos virtuais apresentados na cena não só através da câmera principal, mas também por meio das câmeras extras do sistema. A câmera principal, no contexto atual, refere-se àquela cuja imagem capturada é usada para o rastreamento e posicionamento dos objetos virtuais.

Como parte da estratégia proposta, apresenta-se um modelo de arquitetura para o desenvolvimento do sistema.

### **4.2. Estratégia utilizada**

Analisando as propostas das pesquisas apresentadas no capítulo anterior, evidencia-se que em nenhuma delas houve a utilização de múltiplas câmeras como meio de promover a interação entre o usuário e os objetos virtuais apresentados em Realidade Aumentada. As câmeras extras colocadas nos protótipos foram usadas ou para auxiliar no rastreamento de marcadores para o posicionamento dos objetos virtuais ou para o cálculo de profundidade de campo, quando foi empregada a interação por gestos. Nesse último caso, a câmera extra apenas fornece a informação de proximidade entre dois objetos, no caso entre a mão do usuário e um marcador. Quando o uso de múltiplas câmeras serve para minimizar o problema de oclusão de marcadores, as câmeras extras são usadas para prover uma visão mais ampla da cena, completando desse modo as informações perdidas quando ocorre uma obstrução indesejada.

Neste trabalho é proposta uma estratégia em que as câmeras extras colocadas nos sistemas de Realidade Aumentada são utilizadas como meio de permitir a interação direta com os componentes virtuais do ambiente gerado. O usuário poderá realizar interações não só por meio da apresentação das ferramentas de interação para a câmera principal, mas

às câmeras extras, aumentando os meios de interação e possibilitando o uso do sistema de modo colaborativo.

Na Figura 22, é apresentada uma ilustração de um sistema de Realidade Aumentada utilizando uma única câmera. A cena real é capturada pela câmera principal e o objeto virtual é posicionado na cena por meio do rastreamento do marcador na mão do usuário. O usuário, ao movimentar o marcador, movimentará ao mesmo tempo o modelo 3D ligado a ele, no caso um sofá.



**Figura 22 - Sistema com câmera única.**

Na Figura 23 é apresentada uma ilustração da proposta de um sistema de Realidade Aumentada com múltiplas câmeras, no caso uma câmera principal e uma câmera extra. A cena real é capturada pela câmera principal, mas diferente do sistema mostrado na Figura 22 o ambiente capturado está distante do usuário. A movimentação do objeto virtual nesse ambiente é feita por meio do rastreamento do marcador apresentado para a câmera extra. Dessa forma a cena visualizada no monitor não sofre intervenção da imagem do usuário no momento da interação com o objeto virtual. O modelo 3D do sofá pode ser posicionado no ambiente real de uma forma mais limpa e com menor dificuldade.





**Figura 23 - Sistema com múltiplas câmeras.**

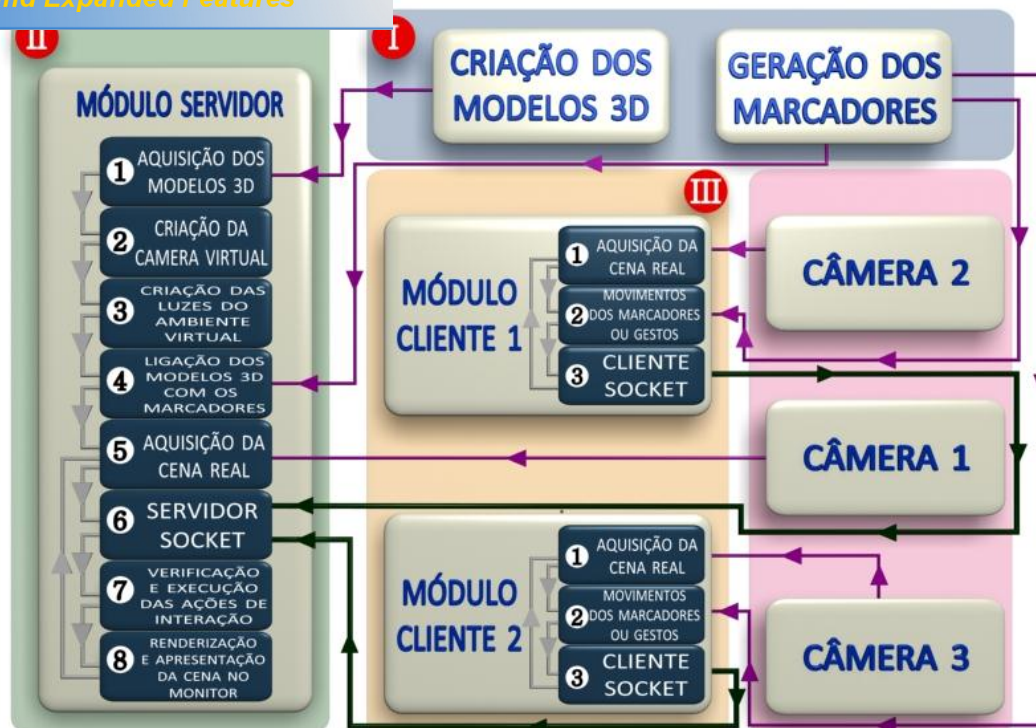
As seções que se seguem abordam uma proposta de arquitetura para o sistema de múltiplas câmeras e as etapas necessárias para o seu desenvolvimento.

#### **4.3. Arquitetura do sistema**

Para o desenvolvimento de aplicações baseadas na estratégia proposta será utilizado o modelo de arquitetura e o fluxo de dados apresentado na Figura 24. Nesse modelo foram utilizadas três câmeras, podendo ser estendido para um número maior. As etapas principais para a implementação do modelo são:

- Etapa I ó Definição dos modelos 3D e Marcadores
- Etapa II ó Estruturação do Módulo Servidor
- Etapa III ó Estruturação do(s) Módulo(s) Cliente(s)





**Figura 24 - Arquitetura proposta para a estratégia de desenvolvimento de aplicativos que usem múltiplas câmeras como meio de interação em sistemas de Realidade Aumentada.**

Independente da plataforma de desenvolvimento utilizada, essas etapas são necessárias para a implementação do sistema.

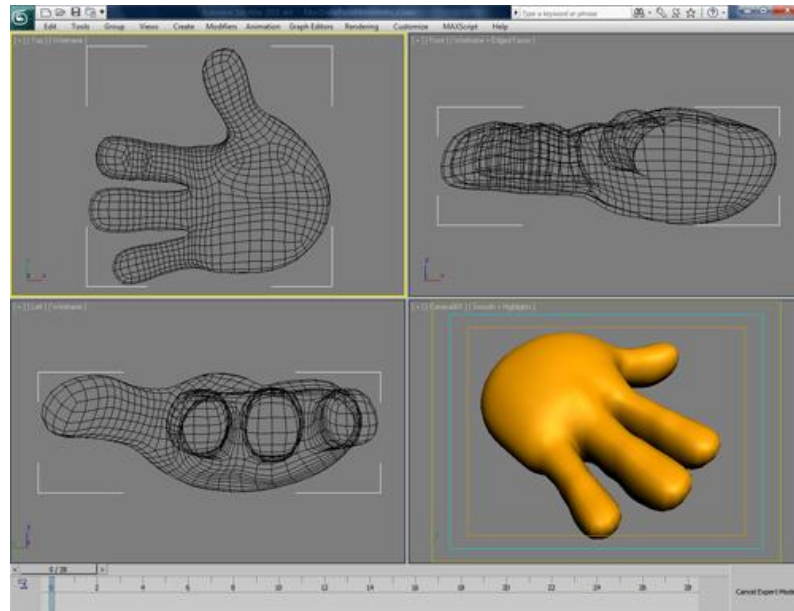
#### 4.4. Etapa I - Definição dos modelos 3D e Marcadores

Esta etapa é responsável pela criação dos modelos 3D (objetos virtuais) e pela geração dos marcadores que serão empregados nas outras etapas.

A modelagem dos objetos 3D que serão compostos na cena real para geração de um sistema de Realidade Aumentada, deverá ser feita por programas de terceiros. Esses programas são específicos para esse fim e como exemplos podem ser citados o 3ds Max, Maya e XSI da empresa Autodesk e o Blender, um aplicativo *Open Source*.

Os modelos criados deverão ser exportados para um formato de arquivo (LWO, 3DS, OBJ, WRL, MD2, DAE, X, FBX,...) que será lido pelo módulo Servidor da arquitetura apresentada. O formato de exportação dependerá da plataforma de desenvolvimento utilizada.

tos os formatos X e FBX. A Figura 25 mostra a tela do programa 3ds Max sendo utilizado na modelagem de um objeto 3D.



**Figura 25 - Tela do programa de modelagem 3ds Max.**

A escolha dos marcadores a serem utilizados e a forma de produzi-los estão diretamente ligadas à maneira pela qual o usuário interagirá no sistema e com a plataforma de desenvolvimento selecionada. Algumas plataformas permitem a criação e cadastramento de marcadores definidos pelo desenvolvedor e outras já trazem os padrões dos marcadores e somente a escolha entre os oferecidos deve ser feita.

Os módulos (Servidor e Clientes) na arquitetura apresentada não precisam necessariamente utilizar os mesmos marcadores, podendo o desenvolvedor atribuir um grupo de marcadores de interação para cada módulo.

#### **4.5. Etapa II - Estruturação do Módulo Servidor**

O Módulo Servidor é o módulo central da arquitetura apresentada. É ele o responsável por receber as imagens da câmera principal (câmera 1) e apresentar a cena final já composta com os objetos virtuais. Os Módulos Clientes adquirem os dados sobre os marcadores ou gestos apresentados às câmeras extras e executam o envio desses dados, por meio de uma

idor, que decide e executa as ações de interação referente

aos dados recebidos.

O Módulo Servidor é dividido em oito fases básicas:

1. Aquisição dos modelos 3D.
2. Criação da câmera virtual.
3. Criação das luzes do ambiente virtual.
4. Ligação dos modelos 3D com os marcadores.
5. Aquisição da cena real.
6. Servidor *Socket*.
7. Verificação e execução das ações de interação.
8. Renderização e apresentação da cena no monitor.

#### **4.5.1. Aquisição dos modelos 3D**

Nessa fase da estrutura do Módulo Servidor, os modelos 3D gerados na etapa I são importados e disponibilizados para no sistema. Para cada modelo adquirido é atribuída uma matriz de transformação que indicará a posição, a rotação e a escala desse modelo. Essa matriz será usada em uma etapa posterior na execução das ações de interação com os objetos virtuais.

#### **4.5.2. Criação da câmera virtual**

Nessa fase é criada a câmera virtual, responsável pela apresentação do mundo virtual e na cena e é ela quem deve ser alinhada a câmera real para que os objetos virtuais sejam posicionados de forma correta.

#### **4.5.3. Criação das luzes do ambiente virtual**

A criação das luzes no ambiente virtual é importante nas plataformas que suportam a apresentação de sombras. O correto posicionamento dessas luzes é o que possibilita um maior realismo da cena e deve ter como referência a posição das luzes no ambiente real.

Os marcadores gerados na etapa I são lidos e armazenados nesta fase. A cada marcador lido é atribuída uma matriz de transformação, que é atualizada constantemente por meio de algoritmos de rastreamento que usam técnicas de visão computacional. Isto é, o sistema monitora em tempo real a imagem capturada pela câmera e rastreia os marcadores presentes, atualizando os dados da posição em que se encontra.

A ligação entre os modelos 3D e seus respectivos marcadores é feita quando o sistema repassa as informações da matriz de transformação do marcador para a matriz de transformação do objeto virtual a ele atribuído. Com isso, a posição e a rotação do modelo 3D são atualizadas constantemente e seguem os atributos correspondentes dos seus marcadores. Assim ao se movimentar um marcador, o modelo virtual a ele ligado é movimentado da mesma forma. É possível também atribuir vários modelos 3D ao mesmo marcador, ficando esse responsável pelo posicionamento de um grupo de objetos virtuais.

#### **4.5.5. Aquisição da cena real**

Uma câmera real é designada para cada módulo Servidor e módulos Clientes. A cena capturada pela câmera do Módulo Servidor é aquela em que os objetos virtuais serão posicionados. Essa câmera é, portanto a câmera principal do sistema. A análise das imagens capturadas por essa câmera fornece os dados de posicionamento dos elementos virtuais que comporão o ambiente ãumentadoö. O usuário poderá assim interagir com esses elementos por meio dos marcadores apresentados a essa câmera. As imagens capturadas pelas outras câmeras serão tratadas pelos seus respectivos módulos e proporcionaram outros meios de interação com os objetos virtuais apresentados na cena da câmera principal.

#### **4.5.6. Servidor *Socket***

Nessa fase o Módulo Servidor faz a comunicação com os Módulos Clientes por meio de uma conexão *Socket*. O servidor *Socket* fica ãescutandoö a porta designada para a conexão, a espera de mensagens enviadas pelos Módulos Clientes. As mensagens recebidas contêm a informação de qual cliente a está enviando e os dados necessários para promover a interação com os objetos virtuais apresentados na cena.

A execução das ações de interação é realizada por meio da verificação da movimentação dos marcadores presentes na cena capturada pela câmera principal ou pelo recebimento de uma mensagem de algum Módulo Cliente. É essa fase que permite a utilização dos dados adquiridos pelas câmeras extras e promove a efetivação das interações correspondentes.

#### **4.5.8. Renderização e apresentação da cena no monitor**

Finalmente nessa fase, os dados fornecidos pelas etapas anteriores são processados e a imagem gerada contendo a cena real composta com os objetos virtuais, devidamente posicionados, é apresentada ao usuário por meio de um monitor de computador.

O Módulo Servidor é único no sistema e permite ao usuário interagir com os objetos virtuais sem a necessidade da presença de um Módulo Cliente. Ele é o módulo principal na arquitetura apresentada e juntamente com a etapa I pode ser considerado uma arquitetura para um sistema de Realidade Aumentada de câmera única.

### **4.6. Etapa III - Estruturação do(s) Módulo(s) Cliente(s)**

A etapa III na arquitetura apresentada pode ser compreendida como a diferença existente entre um sistema de Realidade Aumentada baseado em câmera única e um sistema de múltiplas câmeras. É essa a etapa que permite ao usuário interagir com o sistema por meio da apresentação para as câmeras extras de marcadores de interação ou gestos.

O Módulo Cliente é dividido em três fases principais:

1. Aquisição da cena real.
2. Movimento dos marcadores ou gestos.
3. Cliente *Socket*.

#### **4.6.1. Aquisição da cena real**

Da mesma forma que na etapa II, é nesta fase que a câmera real designada ao Módulo Cliente fornece a imagem do ambiente. A cena capturada aqui não é a cena em que serão

A análise dessa cena será dedicada ao rastreamento de marcadores e aquisição dos dados necessários para realização de interações com os objetos virtuais apresentados na cena da câmera principal.

#### **4.6.2. Movimento dos marcadores ou gestos**

A etapa I da arquitetura apresentada fornece para a etapa II tanto os modelos 3D como os marcadores que serão usados pelo Módulo Servidor, mas para a etapa III, ela fornece somente os marcadores que serão usados pelo módulo correspondente. No Módulo Cliente não são usados modelos 3D ligados aos marcadores porque na estratégia apresentada as câmeras extras são usadas somente como meio para obtenção dos dados para realização das interações que ocorrerão na cena apresentada no Módulo Servidor. Apesar disso o desenvolvedor pode fazer a opção de implementar uma rotina que possibilite a aquisição e apresentação de objetos virtuais em uma nova janela. Explicando melhor, cada Módulo Cliente poderá ter também implementado todas as fases do Módulo Servidor, incluindo a fase de apresentação da cena no monitor e de recebimento de mensagens pela conexão *Socket*.

É possível também utilizar a etapa I para criar um grupo de ferramentas ou gestos específicos para cada módulo existente, ou seja, os marcadores de interação utilizados no Módulo Servidor e em cada um dos Módulos Clientes podem ser diferentes e específico para a atuação daquele módulo.

Essa etapa portando verifica se houve a apresentação de algum marcador de interação para a câmera designada ao módulo e registra a sua movimentação ou identifica o gesto apresentado.

#### **4.6.3. Cliente *Socket***

Os Módulos Clientes usam essa fase para enviar os dados obtidos para Módulo Servidor. A conexão cliente *Socket* envia uma mensagem ao servidor *Socket* contendo a identificação do cliente, o código do marcador ou gesto identificado e a matriz de transformação desse marcador. O Módulo Servidor recebe esses dados e executa as ações correspondentes.



Neste capítulo, foi apresentada uma estratégia para o desenvolvimento de sistemas de Realidade Aumentada utilizando-se múltiplas câmeras. Um modelo de arquitetura foi analisado e as etapas para sua implementação foram discutidas. Na arquitetura proposta, poderão ser incluídas novas câmeras e, para cada câmera acrescentada, um novo Módulo Cliente deverá ser adicionado. A Figura 24 mostra a arquitetura para duas câmeras extras, no entanto, como já foi dito, é possível usar a mesma arquitetura para mais câmeras, ficando o sistema limitado apenas à capacidade de processamento dos módulos em tempo real.

A estratégia apresentada deverá permitir ao usuário, quando necessário, a interação em sistemas de Realidade Aumentada de forma mais limpa, isto é, sem a interferência da imagem desse usuário na cena em que são apresentados os objetos virtuais. Além disso, como cada Módulo Cliente tem uma câmera de vídeo dedicada a ele para a realização das interações no sistema, é possível que mais de um usuário faça uso da aplicação, tornando-se assim um sistema colaborativo.



## Técnicas Desenvolvidas para Interação

### 5.1. Introdução

Neste capítulo, apresentam-se as técnicas de interação utilizadas juntamente com a estratégia proposta para o uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada. Para a realização dos testes, foi empregada a plataforma *Goblin XNA* juntamente com a biblioteca ALVAR, descritas no capítulo 2.

Como já dito anteriormente a ALVAR permite o rastreamento de marcadores do tipo *idBased Markes*. Os padrões desses marcadores são fixos e previamente cadastrados no sistema, o que possibilita o rastreamento de uma quantidade maior de marcadores. Sendo assim é possível registrar uma matriz de marcadores como sendo o objeto que fornecerá os dados de posicionamento para os elementos virtuais. Dessa forma, mesmo quando várias das ômarcasö que compõem a matriz são obstruídas, é possível conseguir os dados de posicionamento do marcador (matriz). A Figura 26 mostra um desses marcadores que foi construído a partir da escolha das ômarcasö numeradas de 0 a 27 e distribuídas em uma matriz de quatro linhas por sete colunas.

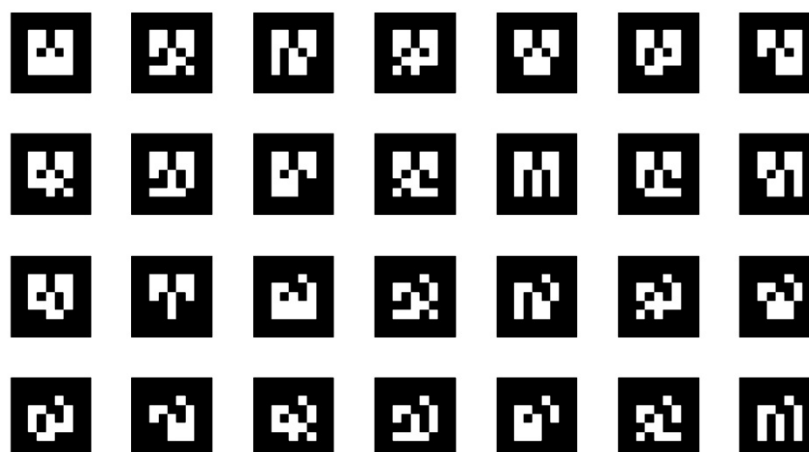
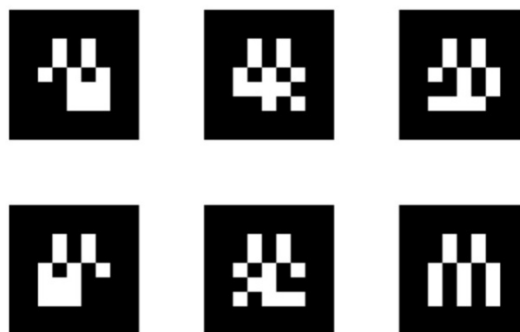


Figura 26 - Marcador criado por meio da ALVAR.

os utilizados para o desenvolvimento das técnicas de interação descritas a seguir foram o posicionamento dos marcadores, a oclusão de marcadores e a colisão de objetos virtuais.

O sistema de rastreamento disponível na biblioteca ALVAR analisa a imagem capturada pela câmera a procura das ômarcasö que compõem o marcador. A presença na cena de apenas uma dessas ômarcasö é suficiente para os cálculos necessários para o alinhamento dos objetos virtuais na cena. O uso desse tipo de marcador minimiza o problema de oclusão causado pela iluminação ou o problema causado pela presença de algum objeto físico que sobrepõe uma parte do marcador.

Para o uso das técnicas de interação, criou-se uma série de marcadores compostos de seis ômarcasö distribuídas em uma matriz de duas linhas por três colunas. A quantidade de ômarcasö nesses marcadores foi escolhida de forma empírica, com o propósito de facilitar o uso de marcadores sobrepostos. Essa técnica será mais bem explicada a seguir. A Figura 27 mostra um dos marcadores criados.



**Figura 27 - Marcador com uma matriz 2x3 de "marcas".**

Em alguns casos utilizou-se um modelo 3D vinculado ao marcador de interação. Esse modelo possui a forma de mão e serve como o apontador (Cursor) do sistema, permitindo a utilização da técnica de colisão de objetos virtuais, em que, por meio da verificação da proximidade entre os elementos virtuais, as ações de interação são executadas. Outra técnica utilizada é a de oclusão de marcadores. Um marcador é apresentado à câmera e, quando a sua presença não for mais percebida, uma ação é disparada.

Para que fosse possível a execução das duas técnicas (oclusão e colisão) com a utilização de apenas um marcador de interação, a estratégia utilizada foi a de marcadores sobrepostos, em que são registrados dois marcadores, um composto de seis ômarcasö (matriz

matriz 1x2). As 6 marcas do segundo marcador devem ser iguais a duas 6 marcas consecutivas do primeiro marcador. Um apontador é vinculado ao primeiro marcador que quando movimentado desloca também o segundo marcador. Ou seja, ao movimentar o apontador, o marcador que será utilizado na técnica de oclusão será deslocado ao mesmo tempo e quando esse sofrer oclusão; o marcador de matriz maior ainda poderá ser rastreado e o objeto virtual que representa o apontador ainda será visível. Essa estratégia poderá ser mais bem compreendida observando-se a Figura 28. Nela, o marcador que movimentará o apontador é composto pelas seis 6 marcas apresentadas e o marcador para ser usado na técnica de oclusão está destacado em vermelho. É possível reparar que, quando as 6 marcas em destaque forem obstruídas, ainda restarão quatro marcas usadas para o posicionamento do apontador.

A utilização de duas marcas ao invés de uma, na composição do marcador que sofrerá oclusão, visou à diminuição do risco de ocorrer uma oclusão acidental.

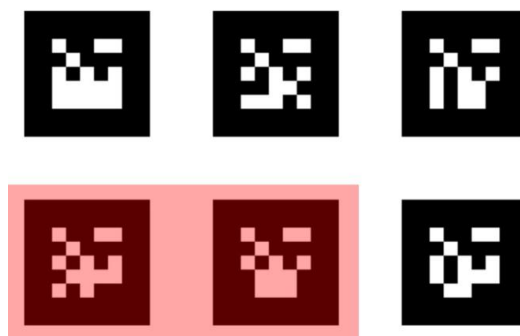


Figura 28 6 Dois marcadores sobrepostos.

A seguir são descritas algumas técnicas de interação possíveis de serem usadas em sistemas de Realidade Aumentada com múltiplas câmeras.

## 5.2. Colisão entre Objetos Virtuais e o uso de 6 botões

O apontador é um elemento gráfico usado para indicar uma posição na tela do computador e auxiliar o usuário na seleção e execução de comandos. Quando o usuário quer interagir com um programa, ele movimenta o apontador até o ícone correspondente e com o uso dos botões do *mouse*, ele seleciona e o executa. Essa é uma forma convencional de se interagir no computador e a maioria dos usuários não têm dificuldades com esse processo. Foi desenvolvida, portanto uma estratégia semelhante, para que o usuário possa interagir com os

de Realidade Aumentada com múltiplas câmeras. Um marcador fará o papel de *mouse* e um elemento gráfico, agora em 3D, será o apontador. Ao se movimentar o marcador o apontador também se moverá. Para se identificar o objeto virtual que sofrerá a ação é usada a técnica de colisão entre modelos virtuais e para a execução da ação usa-se a técnica de oclusão de marcadores.

A biblioteca ALVAR possui rotinas que permitem a detecção de colisão entre objetos virtuais. Para facilitar os cálculos é criado um invólucro sobre os modelos 3D, de forma a se ter uma estrutura mais simples e diminuir o tempo de execução das operações. Geralmente esse invólucro tem a forma de uma esfera ou de uma caixa (óbox) que contém todo o objeto virtual em seu interior. A precisão na detecção da colisão não é grande, quando se usa o invólucro em forma de caixa, mas suficiente para a maioria dos casos.

Os marcadores são criados de acordo com o que foi descrito na introdução desse capítulo e ilustrado na Figura 28. A simulação do uso dos botões do *mouse* pelo sistema é feita por meio da oclusão dos marcadores menores (matriz 1x2) sobrepostos ao marcador principal (marcador de movimentação do apontador). Assim quando movimentamos o marcador principal o botão é movimentado em conjunto. Vários botões podem ser criados usando um mesmo marcador e apesar de ser possível criar um botão com apenas uma marca (matriz 1x1), na estratégia usada todos os botões são de uma linha por duas colunas. Como já comentado, isso é feito para minimizar o problema de oclusão acidental ou a oclusão causada pela iluminação incidente sobre os marcadores.

Ao se apresentar o marcador principal à câmera, a biblioteca ALVAR identifica como presentes não só o marcador principal, mas também os botões cadastrados. Dessa forma, basta verificar se um marcador que representa um botão não está presente para executar uma ação correspondente ao apertar esse botão.

### 5.3. Posição Relativa

Muitas vezes, para se movimentar o objeto virtual em um cenário de Realidade Aumentada, basta mover o marcador vinculado a ele. Quando isso ocorre, os dados da matriz de transformação do objeto são atualizados com os dados da matriz de transformação do marcador, ficando, assim, os dois elementos ligados e possibilitando a mudança de posição do objeto virtual. Para o desenvolvimento de uma técnica de interação similar, mas por meio da

das câmeras extras, uma estratégia foi criada, porque o cenário da câmera extra não está alinhado ao cenário da câmera principal e, portanto, a posição do marcador não poderá ser a mesma nos dois cenários. Se a posição do marcador no cenário da câmera extra for simplesmente enviada pela conexão *Socket* e aplicada ao objeto virtual apresentado na cena principal, ele parecerá estar sem relação alguma com essa cena. Assim, para um objeto no cenário da câmera principal se movimentar uma determinada distância, essa mesma distância deve ser percorrida pelo marcador no cenário da câmera extra. Dessa forma, o uso da câmera extra somente tornaria o processo de interação mais difícil, pois, para que o sistema funcione corretamente o usuário deverá ter um ambiente semelhante em termos de proporções e posicionamento em ambas as câmeras. Isso ocorre, porque a mudança de posição do apontador em um sistema de câmera única é feita de forma absoluta, a posição no espaço do modelo 3D é a mesma do marcador ao qual ele está ligado. A estratégia encontrada para solucionar esse problema foi usar o posicionamento relativo do marcador para movimentar o objeto virtual e não mais a sua posição absoluta. O mesmo ocorre se for comparada a movimentação do apontador em uma tela de monitor usando-se um *mouse* convencional e uma mesa digitalizadora. Na mesa digitalizadora, ao se posicionar a caneta no canto superior direito, o apontador será posicionado no canto superior direito do monitor, ou seja, o posicionamento é absoluto. Com o uso do *mouse* já não ocorre o mesmo: quando levantamos o *mouse* e o reposicionamos em outro local o apontador permanece parado até que o *mouse* toque a superfície e retome a movimentação, o movimento do apontador é relativo. Com isso, o *mouse* pode ser usado em uma superfície pequena e mesmo assim o apontador pode percorrer toda a tela do monitor. A Figura 29 mostra a ilustração de uma mesa digitalizadora e um *mouse*.



**Figura 29 - Ilustração de uma mesa digitalizadora e um *mouse*.**

ma de Realidade Aumentada com múltiplas câmeras obedece ao mesmo princípio do *mouse*, isso é a movimentação do marcador de interação apresentado à câmera extra será aplicada de forma relativa ao objeto virtual no cenário principal. Quando o marcador é apresentado à câmera extra, a sua posição é enviada para o objeto virtual da câmera principal, mas essa informação não será usada diretamente sobre ele, será calculado antes o movimento realizado pelo marcador em relação a sua posição inicial e então esse resultado será aplicado ao objeto. A Figura 30 apresenta o fluxograma usado no desenvolvimento dessa estratégia.

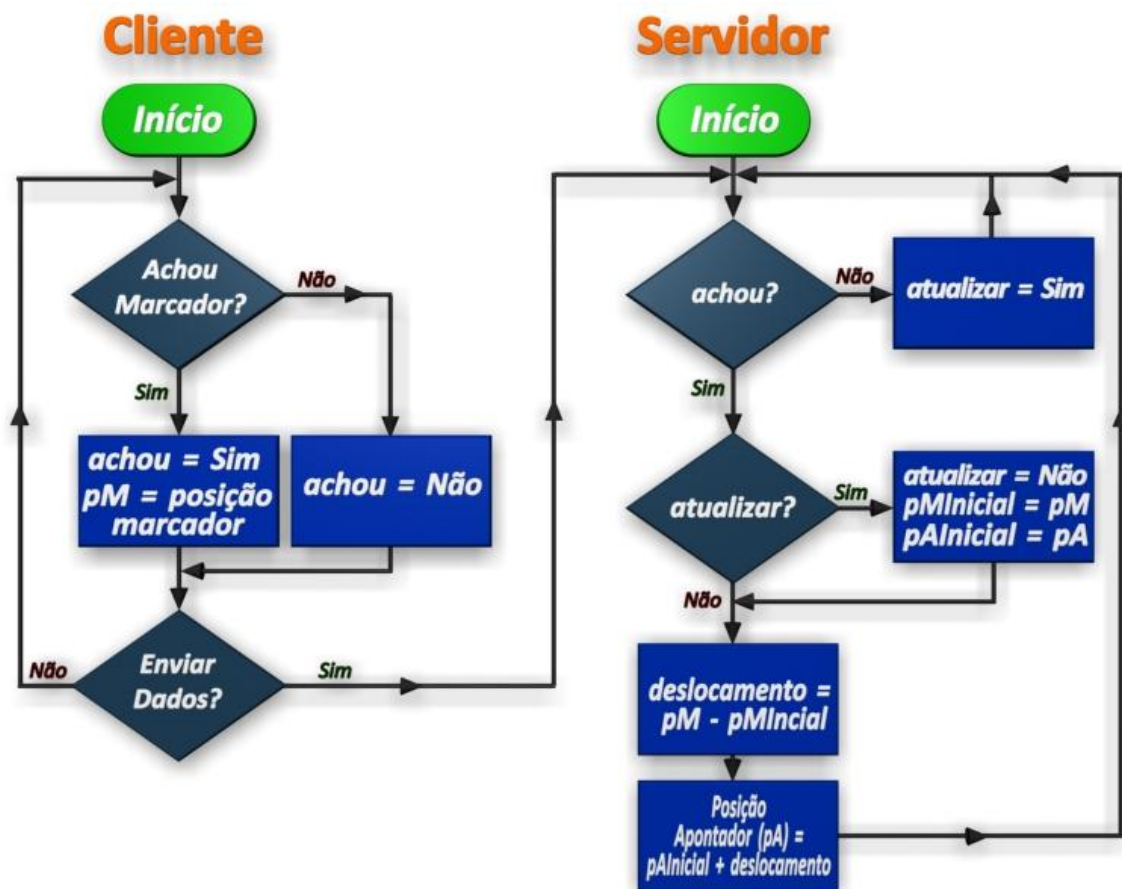


Figura 30 - Fluxograma para implementação da Posição Relativa.

#### 5.4. Selecionar, mover e deletar

Durante a fase de testes, uma estratégia foi criada para permitir selecionar, movimentar e deletar objetos virtuais do cenário de Realidade Aumentada. Para isso, foram criadas três marcadores de interação.



um marcador com duas ômarcasö (matriz 1x2) e permite fazer movimentações nos objetos usando a estratégia de colisão de objetos virtuais. Ao apresentar esse marcador à câmera, um modelo representando um apontador aparece na cena e, por meio da colisão desse modelo com o objeto virtual desejado, o usuário realiza a movimentação. O objeto virtual, após a colisão com o apontador, passa a ter as suas coordenadas de posicionamento atualizadas com as coordenadas do apontador. Isso possibilita que o apontador ôcarregueö o objeto para a posição desejada pelo usuário. Para que o apontador libere o objeto na posição desejada, basta retirar rapidamente o marcador da cena. Fazendo isso, as coordenadas do objeto param de ser atualizadas e o objeto permanece no mesmo local. Ao se usar esse marcador de interação sob as câmeras extras, o posicionamento relativo do marcador é empregado para atualizar a posição do apontador. O fluxograma para se utilizar o posicionamento relativo foi mostrado na Figura 30 e a Figura 31 ilustra o marcador de interação usado como ferramenta de movimentação de objetos virtuais.



**Figura 31 ó ôFerramentaö Mover.**

O segundo marcador de interação é mais abrangente e a movimentação dos objetos é feita pelo conjunto de ações de selecionar e movimentar. Para essa ôferramentaö criou-se um marcador principal com seis ômarcasö (matriz 2x3), e dois marcadores menores com duas ômarcasö (matriz 1x2) que servem de ôbotõesö para a execução das ações. Quando ocorre a colisão do apontador com um objeto, verifica-se, primeiramente, se algum ôbotãoö foi pressionado (marcador não achado). Se o ôbotãoö de selecionar foi pressionado, o objeto é marcado como preparado para receber uma ação. Essa marca aprece em forma de uma caixa, formada por linhas, que envolve todo o modelo. Se a colisão ocorre e o objeto está marcado como selecionado ao se pressionar o ôbotãoö mover o objeto é carregado pelo apontador. O mesmo princípio de posição absoluta e relativa é aplicado a essa ôferramentaö em relação à câmera usada para rastrear o marcador. A Figura 32 mostra a ôferramentaö descrita acima em que os marcadores menores que representam os ôbotõesö estão em destaque.



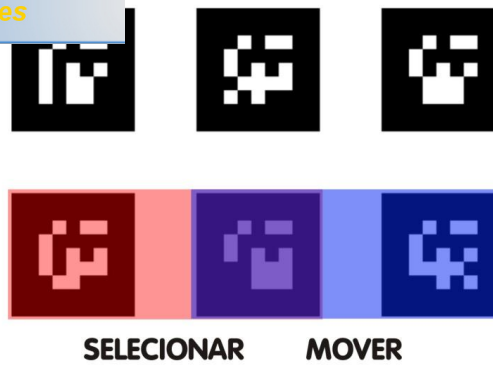


Figura 32 - "Ferramenta" Selecionar, Mover.

O terceiro marcador de interação executa três ações: a de selecionar para deletar, a o de deletar e a de desfazer a ação anterior. Para isso, é criado um marcador principal com seis ômarcasö (matriz 2x3) e três marcadores menores com duas ômarcasö (matriz 1x2) usados como ôbotõesö que executarão as ações de selecionar, deletar e desfazer (*Undo*). O funcionamento dessa ôferramentaö é semelhante ao da ôferramentaö anterior, mas com duas diferenças. Uma é em relação à seleção que nesse caso muda a cor do objeto após o ôbotãoö selecionar ser pressionado, isso para indicar que o objeto está selecionado para deleção. A outra diferença é a inclusão de um ôbotãoö de desfazer (*Undo*) que, ao ser pressionado, verifica se algum objeto foi deletado e faz com que esse objeto retorne à cena. A figura 33 mostra essa ôferramentaö e os seus ôbotõesö.

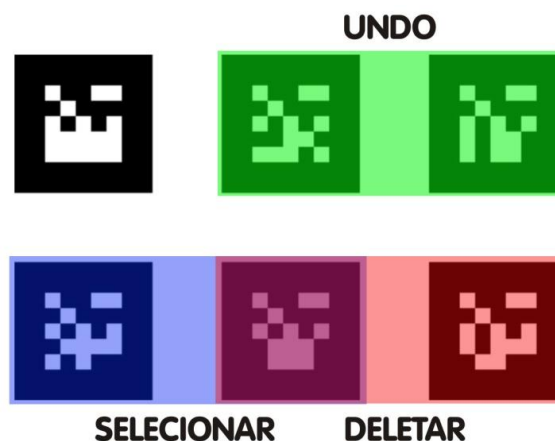


Figura 33 - "Ferramenta" Selecionar, Deletar.

Em muitos casos, além de mover o objeto virtual, é necessário girá-lo e/ou mudar o seu tamanho (escala). Para isso, desenvolveu-se uma estratégia que permite a rotação e mudança de escala de um objeto virtual.

Um marcador com seis ômarcasô (matriz 2x3) foi criado para servir de controle para as mudanças na rotação e escala do objeto selecionado. A seleção e movimentação ficam a cargo da ôferramentaô selecionar e mover descrita anteriormente.

A execução dessa estratégia requer o uso dessas duas ôferramentasô em conjunto. Enquanto uma seleciona e movimenta o objeto, a outra provoca mudanças na rotação e escala do objeto virtual. No caso de o usuário usar uma única câmera e querer executar as três ações simultaneamente (mover, rodar e escalar), a situação poderia ser inviabilizada, pois os dois marcadores devem ser apresentados ao mesmo tempo para a mesma câmera e uma boa parte do ambiente mostrado seria obstruído. Mas, se três câmeras forem usadas, a situação poderia ser resolvida: a câmera principal apresentaria somente o ambiente, o marcador ôSelecionar Moverô seria apresentado a uma câmera extra e a ôferramentaô ôRotação Escalaô estaria sob uma terceira câmera. Essa situação foi testada com sucesso usando-se três câmeras.

A utilização do marcador que executa a ação de rotação e escala ocorre da seguinte forma: o marcador é apresentado a uma câmera extra e o sistema envia uma mensagem ao servidor (câmera principal), avisando que o marcador foi encontrado e qual a sua posição no espaço. O servidor analisa se existe um objeto marcado como selecionado. Se existir uma seleção, o servidor aguarda as próximas mensagens e calcula o deslocamento relativo do marcador. Se o deslocamento acontecer no eixo X positivo, é executada a ação de rotação no eixo Z no sentido anti-horário; se o deslocamento foi no eixo X negativo, a ação será de rotação no eixo Z no sentido horário. Se o deslocamento do marcador ocorrer no sentido do eixo Z positivo, o objeto será aumentado; se o deslocamento for no eixo Z negativo, o objeto diminuirá. O mesmo acontece com o deslocamento no eixo Y, provocando rotação no eixo X. Essas configurações podem ser programadas de acordo com a necessidade ou novos marcadores podem ser criados para executarem rotações em diferentes eixos e com diferentes variações de ângulos.

Para que o usuário possa criar novos objetos virtuais no ambiente de Realidade Aumentada, foi desenvolvida a estratégia de Menus Flutuantes. Nesse tipo de interação um marcador com seis ômarcasö (matriz 2x3) é apresentado à câmera e um modelo 3D na forma de um *menu* com opções em barra é apresentado. O usuário navega por esse *menu* usando o conceito de ôbotõesö discutido anteriormente. Pressionando o ôbotãoö navegar o item seguinte no *menu* é selecionado e ao pressionar o ôbotãoö confirmar o próximo nível do *menu* é apresentado ou o objeto selecionado é criado. A navegação no *menu* é visualizada na janela da câmera à qual o marcador foi apresentado, mas o objeto escolhido no *menu* é criado somente no ambiente mostrado pela câmera principal. Os marcadores usados para esse tipo de interação são apresentados na Figura 34.

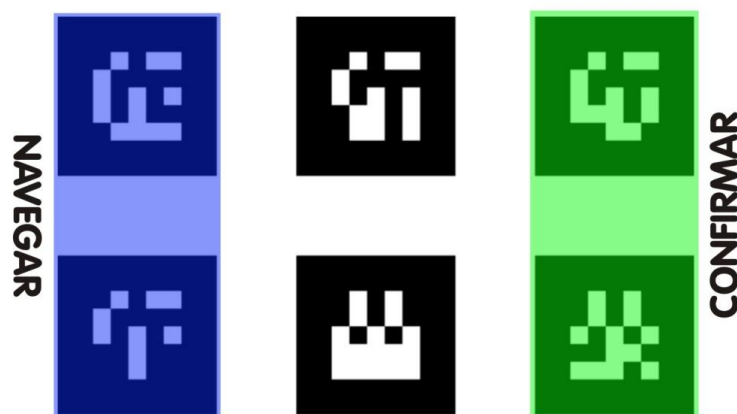


Figura 34 - Marcador usado para navegar no *menu* flutuante.

A razão de se apresentar o modelo 3D do *menu* na janela da câmera em que ele foi requisitado é o fato de a cena na câmera principal ficar sobrecarregada, quando esse é apresentado juntamente com todo o ambiente em Realidade Aumentada. Sobrecarregada no sentido visual, ou seja, o modelo 3D usado como *menu* é apresentado juntamente com todo o ambiente, tornando a cena confusa e dificultando a navegação no *menu*. O uso de múltiplas câmeras no sistema é uma boa opção para esse tipo de interação, pois, além de evitar uma possível obstrução de marcadores, ela mantém a cena limpa de elementos que não fazem parte da composição do ambiente.

Após um elemento novo ser criado ele poderá ser posicionado, girado e seu tamanho modificado usando-se as técnicas de interações já discutidas neste capítulo.

Este capítulo apresentou as técnicas de interações (usuário, objetos virtuais) desenvolvidas para avaliação da viabilidade do uso de múltiplas câmeras em um sistema de Realidade Aumentada. Ficou claro, com os testes, que, além de ser possível a criação de sistemas usando a estratégia proposta, os sistemas criados, muitas vezes, mostraram-se mais eficientes do que os sistemas de câmera única, no que se refere a higienização da cena e problemas com oclusão de marcadores.

Uma técnica de interação possível de ser implementada, mas que não foi abordada, é a interação por gestos. Esse tipo de interação poderá ser facilitado pelo uso de câmeras extras, pois o ambiente em que os gestos serão apresentados poderá ser controlado por possuir uma câmera dedicada somente com esse propósito. Essa pesquisa fará parte de trabalhos futuros.

## *Estudo de Caso: Resultados e limitações*

### 6.1. Introdução

Por meio do estudo de caso apresentado neste capítulo será possível analisar a viabilidade e limitações do uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada de Visão Indireta. O modelo de arquitetura usado no desenvolvimento do protótipo foi descrito no capítulo quarto e as técnicas de interação no capítulo quinto. Para o desenvolvimento do protótipo foi usada a plataforma Goblin XNA, baseada no *Framework* XNA com a linguagem de programação C# e a biblioteca ALVAR.

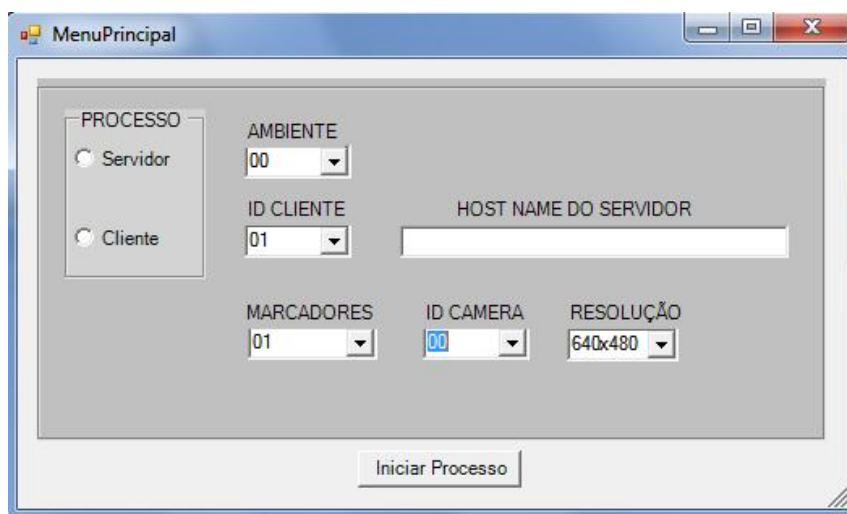
Primeiramente, será feita uma descrição do protótipo, apresentando a sua funcionalidade e discutindo o objetivo de sua criação. Em seguida, serão apresentados alguns pontos técnicos importantes para o desenvolvimento de aplicativos utilizando-se a plataforma *Goblin XNA* e, por fim, será feita uma análise dos experimentos realizados bem como os seus resultados e limitações.

### 6.2. Casa de Bonecos

O protótipo intitulado Casa de Bonecos foi desenvolvido com o objetivo de aplicar as técnicas de interação desenvolvidas para o uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada e analisar a utilização da estratégia proposta. Utilizando as ferramentas disponíveis para a interação, o usuário será capaz de escolher uma maquete na qual poderá organizar peças de mobília como cadeiras, mesas, sofás e camas, bem como distribuir personagens (bonecos) de forma a simular os ambientes de uma residência.

Ao iniciar o sistema um *menu* é apresentado e solicita-se ao usuário a definição de alguns parâmetros. A Figura 35 mostra esse *menu* no qual é possível escolher entre dois processos: o primeiro é do tipo Servidor, o processo responsável pela apresentação do ambiente em Realidade Aumentada que receberá e processará as informações geradas pelas câmeras extras. O segundo processo é do tipo Cliente e é por meio dele que o usuário terá acesso às câmeras extras. Para cada cliente, deverá ser definida uma identificação única (atualmente é possível definir até dez clientes). Para o Servidor, é atribuído automaticamente

verá escolher o conjunto de marcadores de interação, a maquete que será apresentada, a identificação da câmera a que o processo estará ligado e a resolução de vídeo que será usada. O conjunto de marcadores define como o usuário poderá interagir com os objetos virtuais no sistema. Para cada processo, pode ser definido um conjunto de marcadores diferente, permitindo assim que se atribua a cada câmera uma funcionalidade distinta de interação. Atualmente, o aplicativo conta com três opções de conjunto de marcadores.



**Figura 35 - Menu Principal do aplicativo Casa de Bonecos.**

No parâmetro ambiente, o usuário escolhe qual modelo de maquete será utilizado pelo sistema. Esse modelo será vinculado a um marcador e se tornará o centro de toda interação realizada. A Figura 36 mostra o ambiente cujo o ID é 02. Atualmente o sistema conta com quatro ambientes diferentes.

Na opção *Host Name do Servidor* o usuário poderá informar a qual endereço do servidor o cliente vai ser conectado. Se essa opção for deixada em branco o sistema assumirá que o cliente se encontra na mesma máquina do servidor. Quando a opção Processo for do tipo Servidor, esse parâmetro não é utilizado.

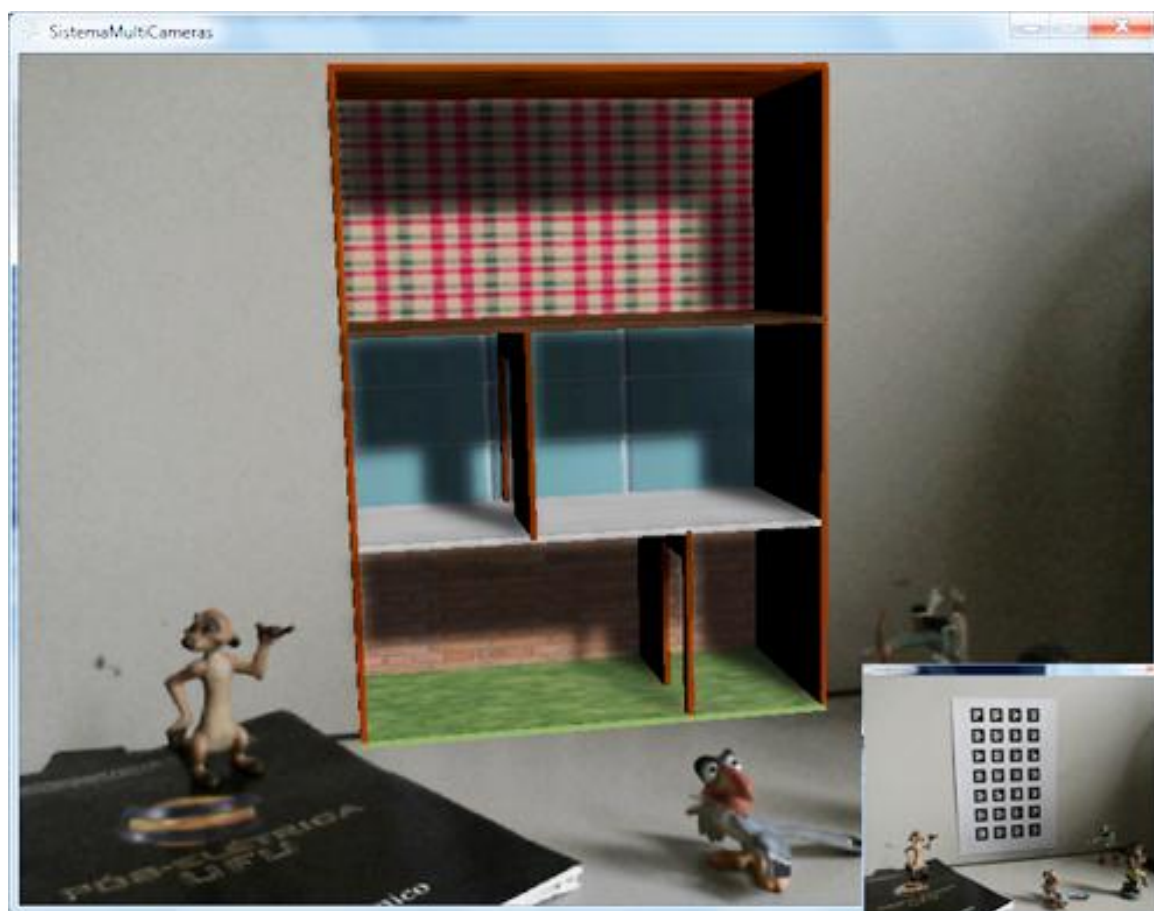
O parâmetro *identificação da câmera* permite ao usuário escolher qual câmera ligada ao computador deverá ser usada para aquele processo. O número correspondente a cada câmera é atribuído pelo sistema operacional.

A movimentação da câmera principal cuja imagem é utilizada para compor a cena apresentada na Figura 36 permite a aproximação da maquete e sua observação por outros ângulos. Podemos observar no canto inferior direito da imagem mostrada, a cena antes da





02). Esse marcador é composto de 28 ômarcasö (matriz 7x4) e foi escolhido para permitir que a câmara se aproxime o suficiente da maquete para que os detalhes dos objetos virtuais possam ser observados sem que ocorra obstrução total do marcador. Lembrando que basta uma ômarcaö para que o sistema possa fazer o rastreamento do marcador e posicionamento da maquete.

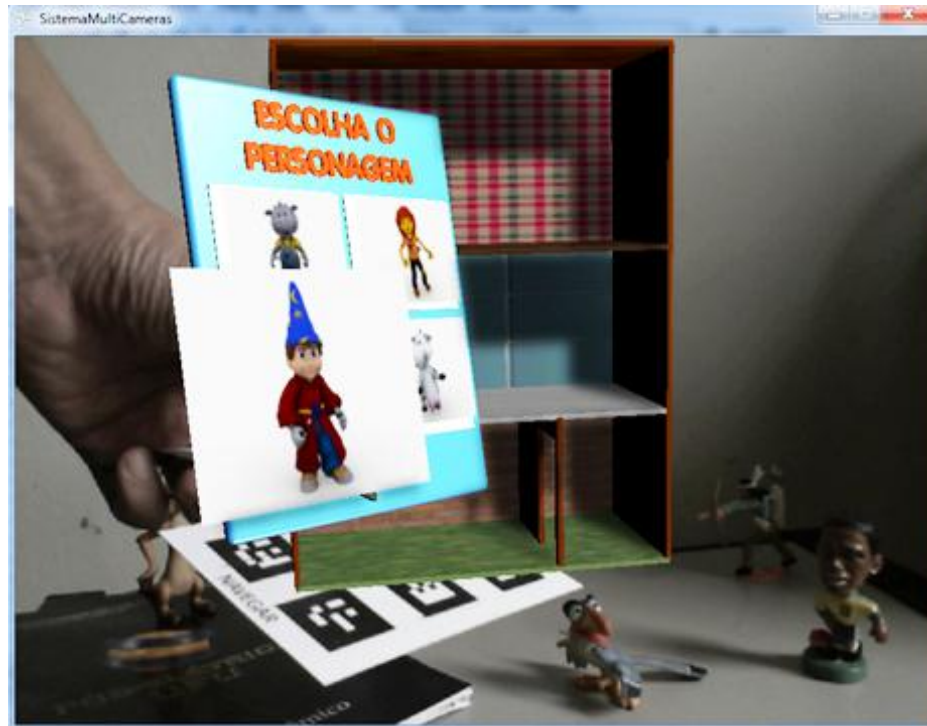


**Figura 36 - Ambiente 2 sendo apresentado em RA.**

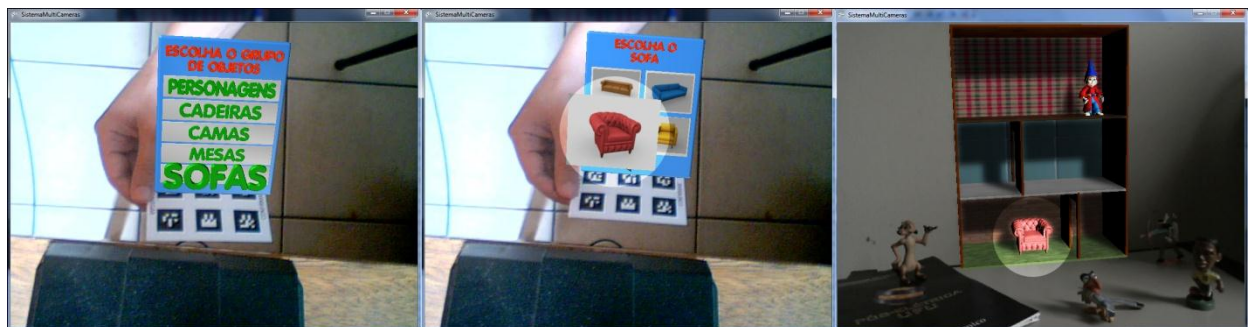
Ao pressionar o botão ãIniciar Processoö no *Menu* Principal o usuário poderá criar novos objetos na cena e interagir com os mesmos. Para isso, ele pode usar o marcador que dá acesso ao *Menu* Flutuante. Esse *menu* será visualizado na janela referente à câmara ao qual o marcador foi apresentado. A Figura 37 mostra o *menu* sendo usado na câmara principal para criar um personagem e a Figura 38 mostra o usuário utilizado o *Menu* Flutuante em uma câmara extra e selecionando a criação de um sofá.

É possível observar que no momento da apresentação do marcador do *Menu* Flutuante para a câmara principal a cena se tornou confusa e a interação com o sistema foi prejudicada.

or do Menu Flutuante para uma câmera extra o cenário se manteve inalterado no momento da interação.



**Figura 37 - Menu apresentado na câmera principal.**



**Figura 38 - Menu sendo apresentado à câmera extra.**

Depois dos objetos criados, é possível interagir com os mesmos apresentando as ferramentas de interação tanto para a câmera principal como para as câmeras extras. A Figura 39 mostra a ferramenta Seleccionar e Mover sendo apresentada a uma câmera extra. Não há risco de obstrução de marcadores, pois apenas o apontador, um objeto virtual, surge sobre a cena no momento da interação. No caso, o apontador é representado pelo modelo de uma mão na cor azul e no primeiro quadro da Figura 39 aparece a meio caminho da posição do personagem na parte superior da maquete. No segundo quadro da Figura 39, o apontador

a mão fechada com o personagem em seu interior sendo carregado para a parte inferior da maquete e no último quadro o personagem já aparece posicionado em outro local. Toda a movimentação do apontador foi realizada por meio do rastreamento do marcador apresentado a uma câmera extra. Lembrando que a movimentação é feita por meio da posição relativa do marcador e não da sua posição absoluta. Explicando melhor, quando o marcador de movimentação é apresentado a uma câmera extra o apontador correspondente ao cliente é incluído na cena principal. A posição inicial desse apontador é calculada a partir do rastreamento do mesmo marcador usado para posicionar a maquete. Isso faz com que o apontador apareça em uma área visível da cena, facilitando o seu uso. A partir desse momento a movimentação do apontador é feita por meio do rastreamento do marcador usado na câmera extra. Como o sistema permite que mais de um cliente interaja ao mesmo tempo com os objetos virtuais apresentados na cena, para cada cliente um apontador de cor diferente é apresentado, permitindo que cada usuário identifique facilmente o seu apontador.



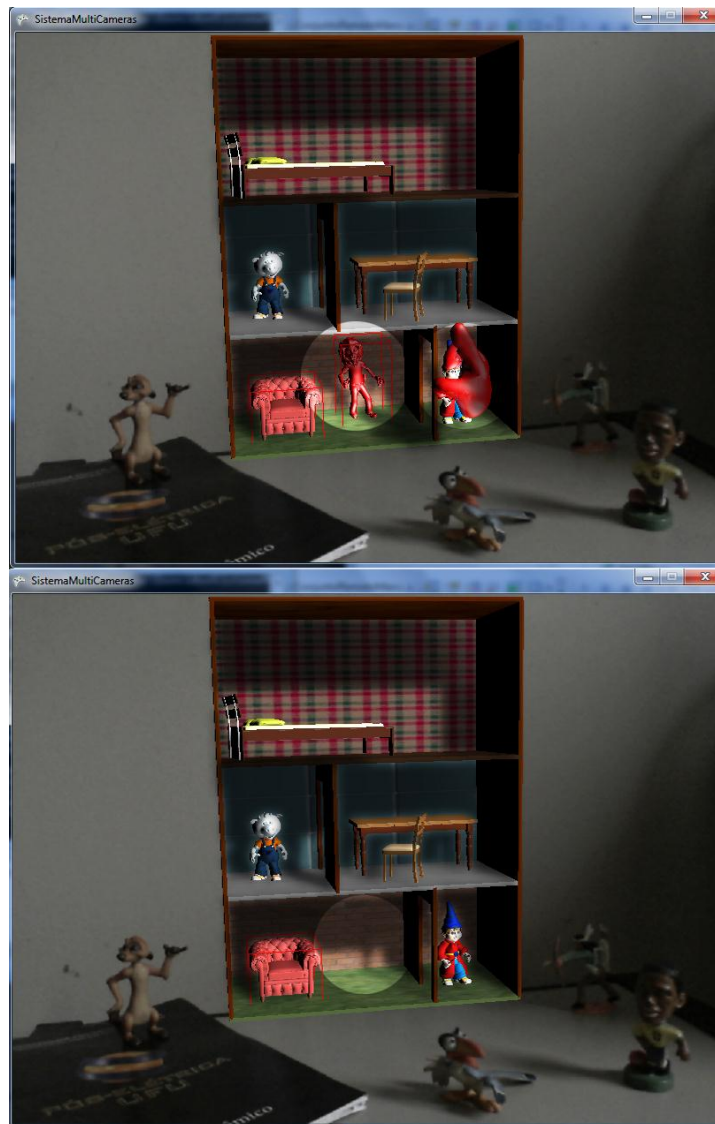
**Figura 39 - Objeto virtual sendo movimentado com o uso da câmera extra.**

A Figura 40 mostra o uso da técnica de interação que permite retirar objetos virtuais da cena. Um marcador ôferramentaö é apresentado à câmera extra e, com o uso dos seus





retirar um objeto. O quadro na parte superior da ilustração mostra o apontador vermelho (cor exclusiva para o uso de deletar) logo após selecionar o personagem que irá ser deletado. Após a sua seleção esse personagem aparece também na cor vermelha. O quadro abaixo mostra a mesma cena após a execução da interação de deleção.

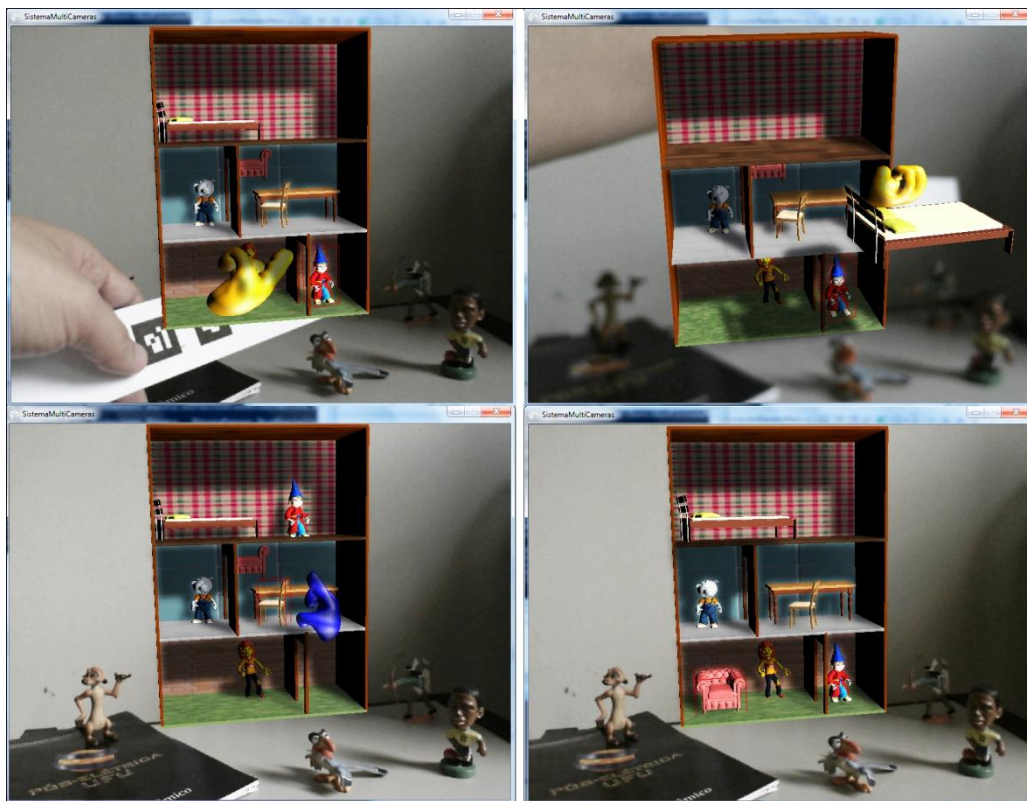


**Figura 40 - Personagem virtual sendo retirado da cena usando-se a câmera extra.**

A Figura 41 faz uma comparação entre o uso dos marcadores quando apresentados à câmera principal (imagens superiores) e quando apresentados a uma câmera extra (imagens inferiores). É possível perceber que quando a mão do usuário, juntamente com o marcador, entra na cena principal o marcador relacionado à maquete é obstruído tornando instável o posicionamento da mesma e apresentando uma cena confusa e fora de foco. Na opção em que

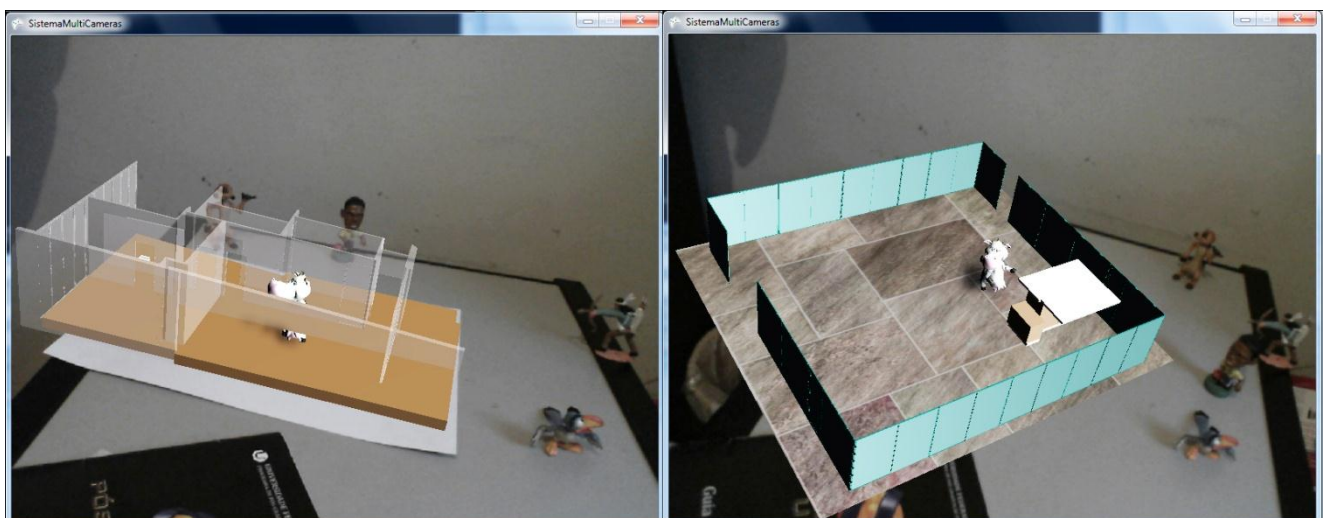
problemas.

eração ocorre sem interferências e a operação é feita sem



**Figura 41 - Comparação entre o uso do marcador na câmera principal e na câmera extra.**

A Figura 42 mostra outras opções de escolha para os ambientes a serem apresentados no cenário em Realidade Aumentada.



**Figura 42 - Outros ambientes disponíveis no sistema.**

## Goblin XNA

A plataforma *Goblin XNA* é discutida no segundo capítulo e a sua última versão pode ser encontrada em [GOBLINXNA, 2010].

A versão usada nesse trabalho foi a 3.4 e o texto a seguir refere-se a sua instalação.

- **Passo 1:** Instalar o Visual C# 2008 Express Edition e o Visual C++ 2008 Express Edition, encontrados em [Microsoft Express, 2010]. O C# será usado para o desenvolvimento dos aplicativos e o C++ para a compilação da biblioteca ALVAR.
- **Passo 2:** Instalação do *XNA Game Studio* 3.1 encontrado em [Microsoft XNA, 2010].
- **Passo 3:** Os seguintes pacotes devem ser instalados para que o *Goblin XNA* seja compilado:
  - *Newton Game Dynamics* SDK 1.53 For Win32 em [Newton, 2010].
  - A biblioteca ALVAR em [ALVAR, 2010].
  - A biblioteca OpenCV 1.0 em [OpenCV, 2010].
- **Passo 4:** Copiar o arquivo *Newton.dll* do diretório *NewtonSDK/sdk/DLL* (o diretório em que foi instalado o *NewtonSDK*) para o diretório *GoblinXNA/bin*.
- **Passo 5:** Copiar o arquivo *alvar130.dll* e o *alvarplatform130.dll* do diretório *Alvar1.3.0/bin/msvc90* para o diretório *GoblinXNA/bin*.
- **Passo 6:** Copiar os arquivos *cv100.dll*, *cvaux100.dll*, *cvcam100.dll*, *cxcore100.dll*, e *highgui100.dll* do diretório *OpenCV/bin* para o diretório *GoblinXNA/bin*.
- **Passo 7:** Abrir e compilar o projeto *ALVARWrapper1.3.sln* que está no diretório *GoblinXNA/wrappers/ALVARWrapper1.3*, não esquecer de configurar o caminho para se achar os diretórios dos includes e bibliotecas (libs) do ALVAR e OpenCV. Isso pode ser feito acessando o *menu* Tools ó Options ó Projects and Solutions ó VC++ Directories no Visual C# 2008.
- **Passo 8:** Depois de compilado copiar o arquivo *ALVARWrapper.dll* do diretório *GoblinXNA/wrappers/ALVARWrapper1.3/Release* para o diretório *GoblinXNA/bin*.
- **Passo 9:** Por fim abra e compile o projeto *GoblinXNA.sln* do diretório *src*.

Se tudo foi feito corretamente o arquivo *GoblinXNA.dll* deverá ter sido gerado no diretório *GoblinXNA/bin*.

O melhor caminho para se começar a utilizar o *GoblinXNA* é ler o manual que se encontra no diretório *doc*, abrir o projeto *Tutorials.sln* do diretório *Tutorials* e estudar os exemplos apresentados.



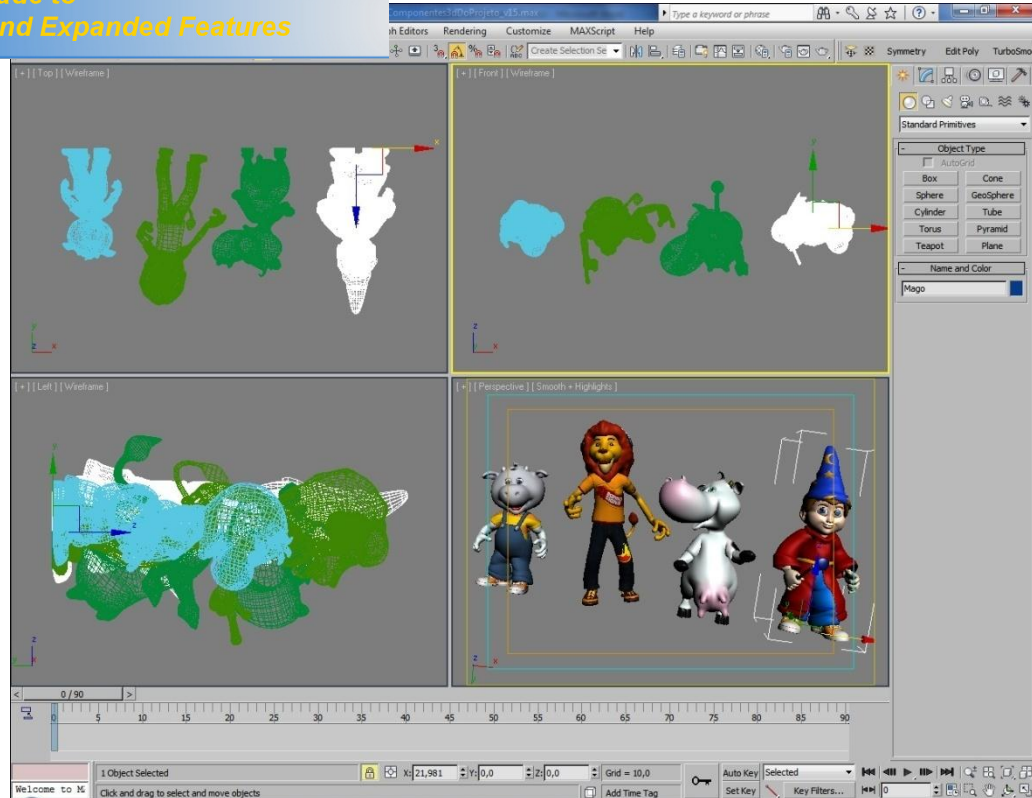
Para a modelagem e texturização dos modelos usados no protótipo Casa de Bonecos foi utilizado o programa 3ds Max 2011 [AUTODESK, 2010].

Para a exportação dos modelos, optou-se pelo formato de arquivo FBX, que foi criado originalmente para trabalhar com dados de sistemas de captura de movimentos usados em estações de trabalho com modelos 3D. Atualmente, esse formato pertence à empresa Autodesk. A outra opção seria o formato de arquivo X que faz parte do *DirectX*, conjunto de APIs (Interface de Programação de Aplicações) da *Microsoft*.

Como o intuito desta pesquisa é mostrar a viabilidade e vantagens de se utilizar múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada, procurou-se colocar no protótipo modelos mais complexos e com texturas com maior resolução, porque o sistema seria mais exigido e situações críticas poderiam ser analisadas. Modelo mais complexo implica maior quantidade de faces e maior custo de processamento.

No 3ds Max, alguns cuidados com os modelos devem ser tomados antes da sua exportação. Em todos os modelos devem ser aplicados o utilitário *Reset XForm* e as suas malhas convertidas para *Editable Mesh*; isso mostrará se alguma face do modelo está com sua normal invertida e retirará qualquer mudança de escala e rotação que tenha sido feita anteriormente no modelo. O sistema de coordenadas do 3ds Max não é o mesmo do XNA e a melhor forma de se exportar os modelos é colocá-los no 3ds Max com a rotação e a escala que serão usados no aplicativo em desenvolvimento. Para diminuir a probabilidade de erros de programação do posicionamento dos modelos é recomendável que todos os modelos sejam exportados na posição  $X=0$ ,  $Y=0$  e  $Z=0$  e o seu pivô já colocado na localização que será usado na aplicação.

A Figura 43 mostra uma tela do 3ds Max sendo usado para exportar os modelos dos personagens que farão parte do protótipo. Pode-se observar que a quantidade de polígonos dos modelos é bastante alta.



**Figura 43 - Tela do programa 3ds Max.**

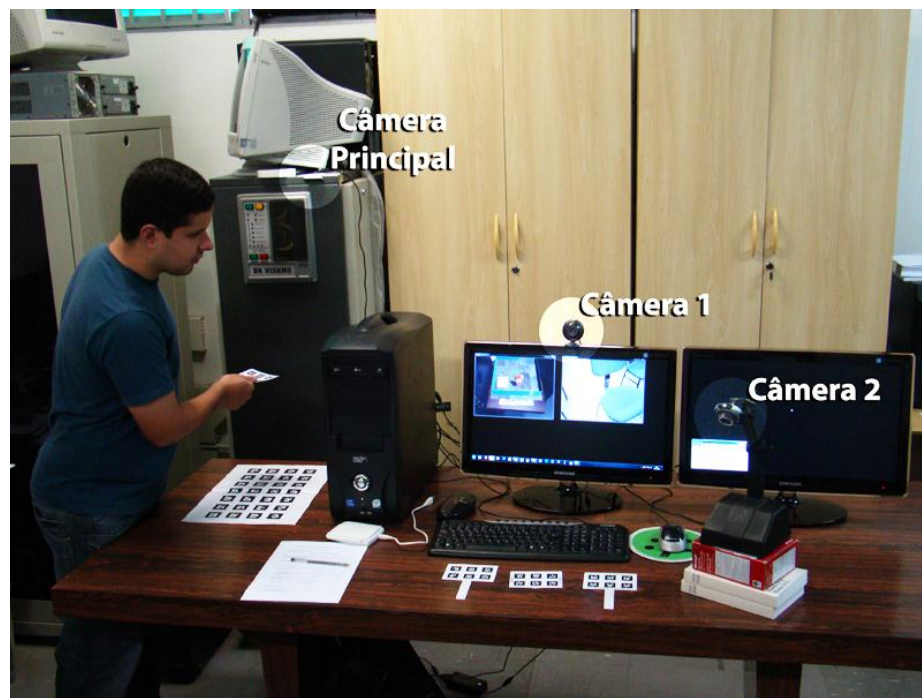
## 6.5. Análise do estudo

### 6.5.1. Experimentos realizados

Para a avaliação da estratégia proposta nesta pesquisa, foram realizados ensaios de interação com o protótipo criado. Para esse fim, foi elaborado um questionário, baseado na ISONORM. Esse questionário determina o nível de escolaridade dos participantes e o seu grau de conhecimento no uso de computadores e de sistemas em Realidade Aumentada. Além disso, são propostas tarefas a serem executadas durante o experimento. Para cada tarefa é pedido ao usuário que a realize, utilizando primeiro uma única câmera e em seguida usando também as câmeras extras. Ao término de cada tarefa uma avaliação, em termos de dificuldade de realização, é feita pelo participante para os dois meios usados para realização das interações. Para isso, o usuário pontua em uma escala de Likert [1932] de cinco pontos (de 1-Muito Fácil a 5-Impossível).

Ao término de todas as tarefas, é solicitado ao usuário avaliar o procedimento como um todo e responder se houve diferença na dificuldade de uso entre as duas maneiras de emprego do sistema. O questionário usado é apresentado no Anexo.

individualmente em dois locais diferentes e na presença de um instrutor. A montagem do sistema de Realidade Aumentada de Visão Indireta foi feita usando-se três câmeras (*Microsoft VX-500*, *VX-1000* e *VX-3000*). O uso de diferentes modelos de câmeras não causou alteração nos resultados. A disposição das câmeras pode ser observada na Figura 44.



**Figura 44 - Disposição das câmeras nos ensaios realizados.**

Antes de iniciar as tarefas foi explicado a cada participante o conceito sobre Realidade Aumentada e a forma de utilização dos marcadores de interação. O instrutor ao início de cada sessão demonstra na prática como as interações são realizadas e pede ao usuário que comece as tarefas. Na Figura 45 é possível observar uma avaliadora utilizando o sistema. A imagem esquerda mostra a interação sendo feita por meio da apresentação de marcadores para a câmera principal e a imagem do lado direito a mesma tarefa sendo feita por meio de uma câmera extra. É possível observar no canto inferior esquerdo das imagens o marcador que fornece o posicionamento da maquete escolhida e como ele é afetado pela mão do usuário ao apresentar o marcador de interação.



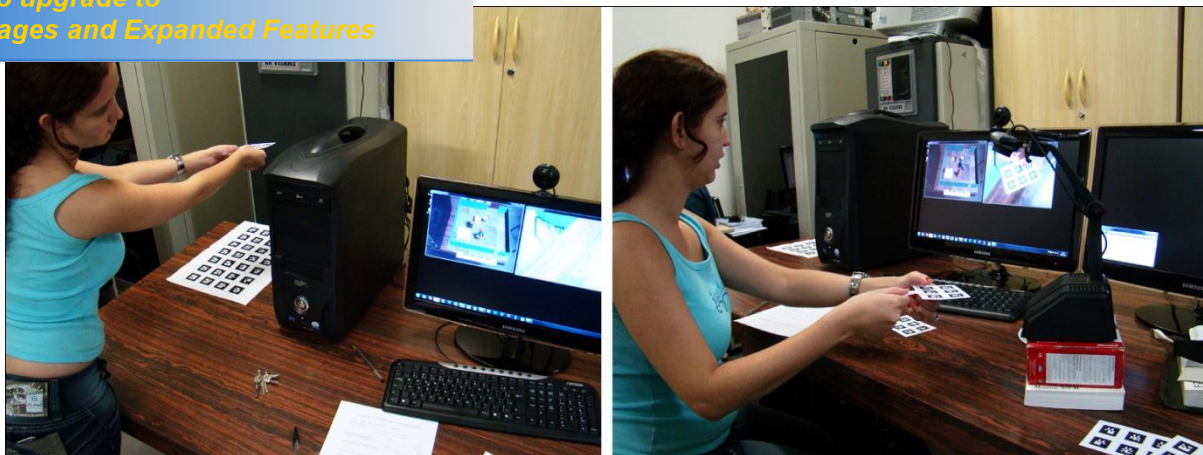


Figura 45 - Utilização do sistema usado nos ensaios de interação.

Os marcadores usados foram:

- *Menu Flutuante* – Por meio desses marcadores, o usuário é capaz de criar objetos virtuais na cena apresentada pela câmera principal.
- *Selecionar Mover* – Esses marcadores permitem que o avaliador selecione um objeto virtual e aplique transformações de posição sobre o mesmo.
- *Selecionar Deletar* – Conjunto de marcadores usado para selecionar e retirar objetos virtuais da cena.
- *Rotacionar Escalar* – Marcadores utilizados para rodar e mudar as dimensões de um objeto virtual.

As formas de utilização dos conjuntos de marcadores e todas as técnicas de interação presentes nos ensaios foram analisadas no capítulo 5.

A Figura 46 ilustra o uso do conjunto de marcadores *Menu Flutuante* por meio da câmera principal (lado esquerdo) e câmera extra (lado direito).

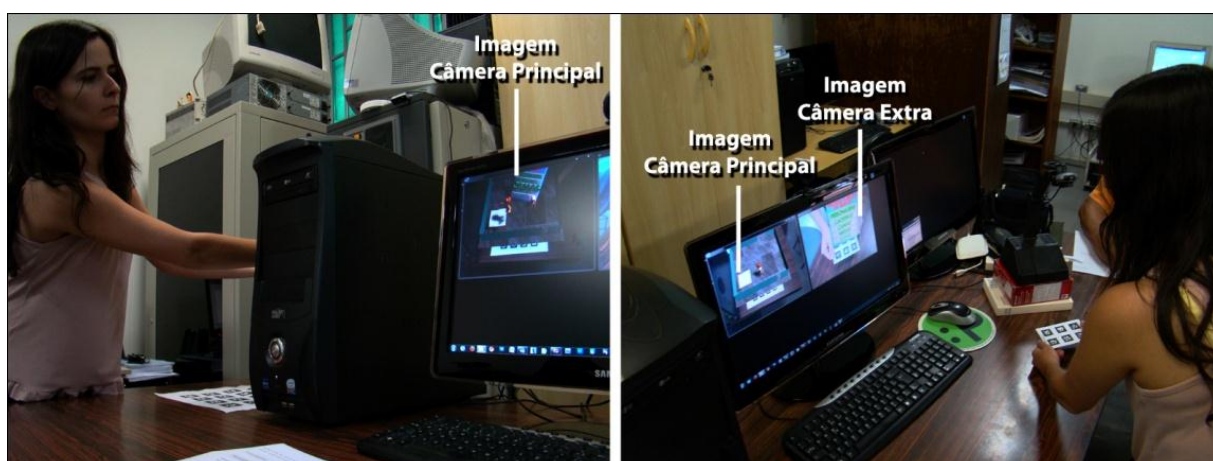


Figura 46 - Marcadores "Menu Flutuante" sendo usados.

que reportasse oralmente todas as ações realizadas e os problemas encontrados durante o experimento.

Participaram desse ensaio dezesseis pessoas com grau de escolaridade que variou entre Ensino Fundamental e pós-graduando. O nível de conhecimento em informática e sobre Realidade Aumentada foi medido numa escala de 1 (Pouco) a 5 (Muito) pontos.

### 6.5.2. Resultados e limitações

A seguir serão apresentadas as análises feitas dos dados coletados nos ensaios realizados.

A Figura 47 apresenta o nível de escolaridade dos participantes dos experimentos.

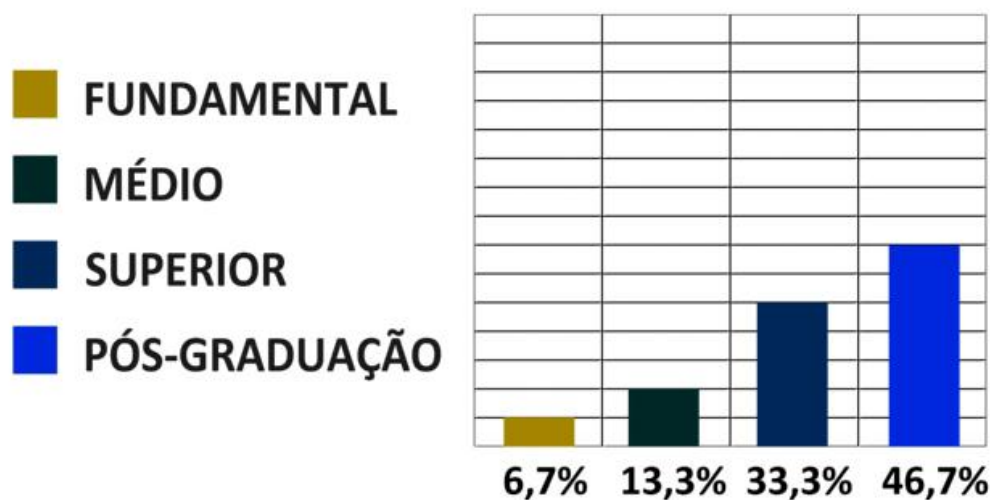


Figura 47 - Nível de escolaridade dos participantes.

A maioria dos participantes (46,7%) possuía ou estava cursando pós-graduação, apesar disso, indivíduos com outros níveis de escolaridade tiveram representação nos ensaios.

Na Figura 48, é possível perceber que 60% dos usuários possuíam um alto conhecimento no uso de computadores. Apesar de o experimento não exigir um conhecimento avançado em informática, o domínio nessa área permitiu ao usuário um melhor entendimento do funcionamento do protótipo e a comunicação com o instrutor.

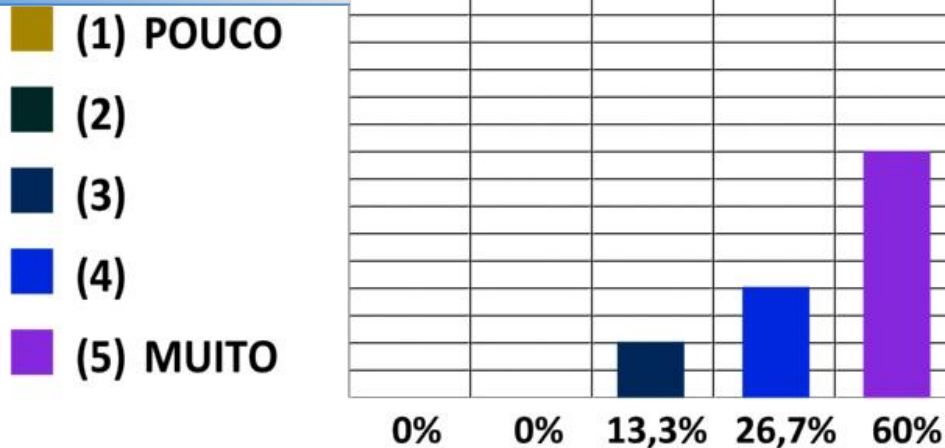


Figura 48 - Nível de conhecimento no uso de computadores.

Com relação ao conhecimento em sistemas de Realidade Aumentada, a maioria dos usuários, quase 70%, possuía um conhecimento entre pouco e médio; alguns mostraram grande surpresa ao ver o sistema funcionando, o que não impediu a sua utilização de forma adequada.

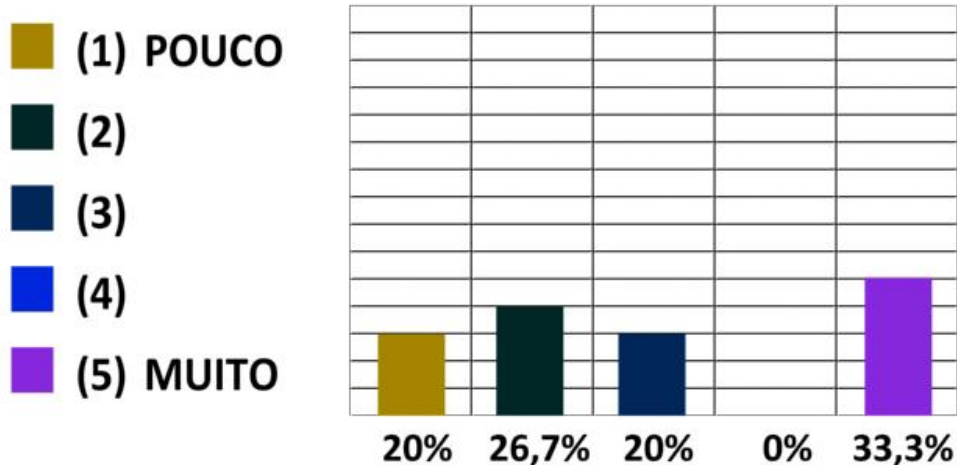


Figura 49 - Nível de conhecimento em sistemas de Realidade Aumentada.

Após as explicações iniciais os participantes realizaram as cinco tarefas propostas. A primeira tarefa consistia em criar um personagem no ambiente apresentado pela câmera principal. O personagem foi escolhido entre as quatro opções disponíveis no sistema e foi utilizado para esse fim o conjunto de marcadores *Menu Flutuante*. A Figura 50 apresenta os gráficos obtidos das análises feitas pelos participantes em relação à dificuldade de realização da tarefa quando usando uma única câmera e quando usando uma câmera extra.





**Figura 50 - Resultado da realização da tarefa número 1.**

Apesar de nenhum dos participantes conhecer a forma apresentada para o uso de marcadores na criação de objetos virtuais em sistemas de Realidade Aumentada, não tiveram dificuldades quanto ao entendimento de sua utilização. A dificuldade verificada nos gráficos foi devida às limitações no uso de uma única câmera no sistema; quando essas limitações eram superadas por meio do uso de uma câmera extra o usuário conseguia realizar a tarefa com maior facilidade.

A segunda tarefa pedia aos participantes que mudassem a posição do personagem criado na primeira tarefa, usando o conjunto de marcadores de interação *Selegonar Moverö*. Ao apresentar esse marcador a uma câmera, um modelo na forma de uma mão surgia no ambiente visualizado e por meio de sua movimentação e aproximação de um objeto virtual era feita a seleção e movimentação do mesmo. Essa tarefa apresentou um nível de dificuldade maior que a primeira devido à necessidade de uma melhor visão espacial. Os usuários deveriam movimentar o objeto virtual em um ambiente tridimensional por meio do uso de marcadores, o que não é uma tarefa comum no uso de interfaces convencionais. Essa dificuldade foi refletida na avaliação feita pelos participantes, principalmente quando usando uma única câmera, e é apresentada no gráfico da Figura 51.



**Figura 51 - Resultado da realização da tarefa número 2.**

A terceira tarefa pedia ao usuário que criasse um novo objeto virtual (um sofá) e o posicionasse no ambiente. Para isso, o participante deveria utilizar as técnicas apresentadas nas tarefas 1 e 2.



**Figura 52 - Resultado da realização da tarefa número 3.**

Mesmo os usuários apresentando uma maior dificuldade na realização dessa tarefa, eles mostram um maior domínio no manejo dos marcadores e utilização da técnica de oclusão de marcadores empregada nas interações. Os gráficos apresentados na Figura 52 mostram novamente uma maior facilidade de realização da tarefa quando usando a câmera extra.

participante que retirasse da cena um objeto virtual e para isso utilizasse o conjunto de marcadores de interação (Selecionar, Deletar). O resultado da análise da tarefa pode ser visto na Figura 53.



Figura 53 - Resultado da realização da tarefa número 4.

Nesse ponto dos ensaios, os usuários já se sentiam mais à vontade com o sistema apresentado e conseguiram realizar a tarefa em um menor tempo e com maior facilidade. O gráfico apresentado mostra a consequência desse comportamento e pode ser observado um maior grau de facilidade na realização da tarefa.

A Figura 54 mostra os gráficos dos resultados da última tarefa, que apresentava um novo conjunto de marcadores e pedia que por meio da sua utilização o usuário rodasse e mudasse as dimensões de um objeto virtual.



**Figura 54 - Resultado da realização da tarefa número 5.**

Essa última tarefa apresentou o maior índice de facilidade de realização, tanto no uso de uma única câmera como na utilização da câmera extra. Pelos comentários feitos pelos participantes concluiu-se que isso foi devido à maior facilidade de uso dos marcadores empregados nessa tarefa e pelo motivo dos usuários já terem se adaptado as formas de interações apresentadas a eles.

Como resumo dos gráficos apresentados em todas as tarefas a Figura 55 apresenta a média dos resultados apresentados pelos participantes ao realizarem as cinco tarefas. É possível observar, por meio deles, que ficou clara a maior facilidade de uso do sistema quando os usuários utilizaram as câmeras extras disponíveis. Enquanto o gráfico do uso de única câmera apresenta os maiores índices como sendo o de Parcialmente Fácil e o Difícil, no uso de múltiplas câmeras os maiores índices são os de Fácil e o Muito Fácil.



**Figura 55 - Média dos resultados da realização das 5 tarefas.**

Durante a realização das tarefas, os participantes relatavam oralmente os procedimentos em andamento, e a partir dessas observações, foi possível levantar alguns pontos em que o sistema poderia ser modificado para melhorar o seu desempenho. Em relação à maior facilidade de uso do sistema por meio das câmeras extras, a opinião foi unânime em afirmar a sua aprovação. Com relação ao uso das técnicas de interação aplicadas nos ensaios, os usuários apontaram algumas limitações ou dificuldades de uso. Algumas dessas limitações aconteceram por uma deficiência técnica na detecção de marcadores. No ambiente em que o sistema foi montado havia uma iluminação direta sobre os marcadores quando esses estavam em uso. Isso às vezes provocava um atraso na resposta do sistema pela dificuldade no rastreamento dos marcadores. Esse problema poderia ser resolvido com a diminuição da luz ambiente.

Das técnicas de interação usadas, as que mais geraram observações foram as que usavam posicionamento relativo. Técnica explicada no capítulo quinto. Enquanto o posicionamento absoluto era de fácil entendimento em relação ao seu funcionamento, o posicionamento relativo necessitava de um esclarecimento no momento da sua utilização. Um cuidado maior em relação à posição do marcador a frente da câmera causou certo desconforto na ocasião da realização das tarefas. Apesar de a adaptação à nova forma de movimentação ter sido rápida, a utilização do movimento absoluto se mostrou mais produtivo e torna-se necessária uma investigação mais acurada, no sentido de experimentar outras formas de



Aumentada.

Por outro lado, as técnicas de interação *Menu Flutuante* e *Rotação Escala*, também explicadas no capítulo quinto, tiveram a sua utilização facilmente assimilada pelos usuários e geraram observações positivas em relação ao seu emprego. O uso dessas formas de manuseio dos marcadores deve ser investigado na elaboração de outras maneiras de interação com os objetos virtuais.

A comunicação entre os processos utilizados pelas câmeras extras e o processo da câmera principal foi feito no sistema por meio de uma conexão via *Socket*, como já explicado no capítulo quinto. Ao perceberem o tempo de resposta dessa comunicação alguns participantes sugeriram uma melhoria nessa etapa. Uma velocidade baixa na comunicação entre os processos pode se mostrar uma limitação do sistema e a investigação de novas formas de implementação dessa rotina deve ser avaliado.

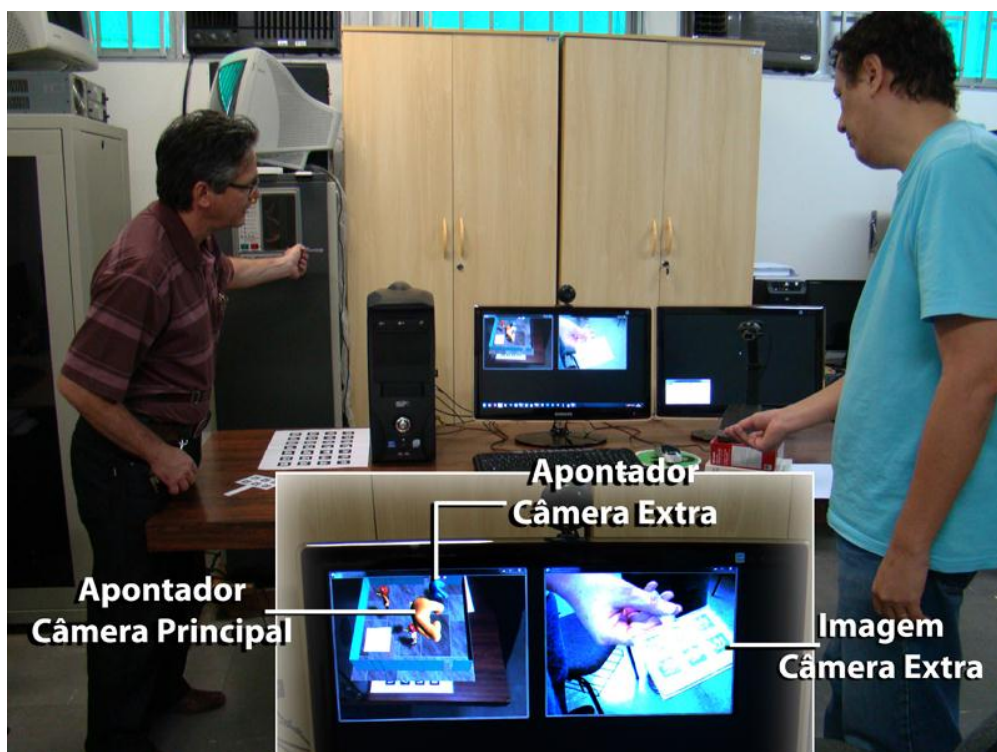


Figura 56 - Utilização de forma colaborativa do protótipo com múltiplas câmeras.

Alguns participantes manifestaram por meio de comentários e opiniões anotadas nos questionários, o potencial do emprego da estratégia de uso de múltiplas câmeras nas áreas relacionadas a jogos e ensino. Sugeriram também o seu uso em aplicações colaborativas, isto é, em que vários usuários pudessem interagir ao mesmo tempo no ambiente apresentado pelo



presentado já permite o seu uso de forma colaborativa, enquanto um usuário usando a câmera principal interage com os objetos virtuais do ambiente um segundo ou vários outros usuários poderiam interagir no mesmo ambiente ao mesmo tempo. A Figura 56 mostra dois usuários executando tarefas distintas em um mesmo ambiente.

## 6.6. Considerações Finais

Neste capítulo apresentou-se um estudo de caso que possibilitou a utilização da estratégia proposta para o uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada de Visão Indireta. Inicialmente a funcionalidade do sistema foi descrita e alguns aspectos relacionados ao uso da plataforma de desenvolvimento e as técnicas de interação entre o usuário e os objetos virtuais presentes no ambiente do sistema foram explicadas.

Ensaio de interação foram realizados por meio da aplicação de um questionário em que dezesseis participantes executaram certas tarefas. O resultado das avaliações desses experimentos foi apresentado em forma de gráficos e os pontos positivos e limitações no uso do sistema proposto foram discutidos.

O resultado da avaliação dos ensaios realizados revelou que a estratégia apresentada é viável e se mostrou preferível pelos usuários participantes dos experimentos.

## *Conclusões e Trabalhos Futuros*

---

### **7.1. Introdução**

Este capítulo apresenta os pontos abordados nesta dissertação, a contribuição que essa apresenta para área científica e relaciona os trabalhos futuros decorrente da pesquisa.

### **7.2. Conclusões**

Por meio da análise de trabalhos relacionados verificou-se que, nos sistemas de Realidade Aumentada de Visão Indireta, baseados em marcadores fiduciais, o uso de múltiplas câmeras não objetiva proporcionar um aumento no campo de interação entre o usuário e os objetos virtuais presente no ambiente. Na maioria dos casos, quando alguma câmera extra é adicionada ao sistema, ela tem como objetivo a recuperação de dados perdidos por meio da oclusão de marcadores ou auxiliar na identificação de gestos. Esses sistemas não conseguem, portanto, resolver as limitações encontradas quando usados na apresentação de grandes números de dados, na confusão visual causada pela intervenção do usuário no ambiente apresentado enquanto manipula os marcadores e na dificuldade de interação no sistema decorrente do posicionamento da câmera.

O presente trabalho propõe uma estratégia para minimizar essas limitações por meio do uso de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada. Para solver tais problemas, concebeu-se uma arquitetura para o desenvolvimento de aplicativos e por meio dela foi criado um protótipo. Com isso, foi possível adequar as técnicas de interação existentes para serem empregadas por meio das câmeras extras e o resultado foi um sistema de Realidade Aumentada com suporte melhor às interações, uma vez que há aumento da área de apresentação dos marcadores. Nessas condições, os marcadores podem ser apresentados tanto para a câmera principal, como para outras câmeras instaladas no sistema, permitindo ao usuário uma interação com o ambiente em Realidade Aumentada, de forma mais flexível e sem possibilidade da oclusão dos marcadores presentes no cenário.

Outra opção de aproveitamento da estratégia reside no desenvolvimento de aplicações colaborativas. Nessa hipótese, as câmeras extras podem ser atribuídas a outros usuários

de forma conjunta, isto é, todos podem conferir ações simultâneas no mesmo ambiente de Realidade Aumentada.

Com base nos dados fornecidos pelos participantes que realizaram os experimentos com o protótipo, concluiu-se que a utilização de múltiplas câmeras em sistemas de Realidade Aumentada facilita o seu uso e torna possíveis novas investigações nos processos de interação entre o usuário e os objetos virtuais apresentados nos ambientes criados.

### **7.3. Contribuições**

A principal contribuição da pesquisa relacionada a este trabalho foi prover condições de usos de sistemas de Realidade Aumentada, associados a múltiplas câmeras com o intuito de aumentar o campo de interações com os objetos virtuais presentes no ambiente mostrado e minimizar as limitações encontradas nos sistemas atuais de câmera única.

Contribuiu-se também com a adaptação e apresentação de técnicas de interação em sistemas de múltiplas câmeras. Essas técnicas foram implementadas e avaliadas por meio de ensaios de interação sendo comprovada a viabilidade do uso dessas na prática.

### **7.4. Trabalhos Futuros**

Durante o desenvolvimento desta pesquisa puderam-se observar vários possíveis desdobramentos decorrentes dos estudos realizados. Para que esses desdobramentos possam ser avaliados e desenvolvidos, optou-se por apresentá-los na forma de trabalhos futuros listados a seguir:

- Proposição de novas técnicas de interação no sistema apresentado: A possibilidade de receber informações em conjunto de todas as câmeras no sistema abre oportunidade de criação de novas formas de interação com o cenário apresentado.
- Aplicação da estratégia em sistemas de Realidade Aumentada de Visão Direta: Os experimentos foram realizados em um sistema de Visão Indireta e a utilização da estratégia em sistemas de Visão Direta faz-se necessária.
- Avaliação do uso de gestos com as câmeras extras para interação no sistema: O uso de câmera dedicada à utilização de gestos para interação no sistema é uma opção que facilitaria o uso dessa técnica e aumentaria a área de abrangência do sistema.

...s colaborativos em RA com múltiplas câmeras: O uso de múltiplas câmeras permite que vários usuários utilizem o sistema em conjunto o que poderia levar a sua utilização a outras áreas como, por exemplo, a educação.

- Avaliação de sistemas de RA distribuída com múltiplas câmeras: Sistemas distribuídos de RA se beneficiariam da estratégia proposta à medida que a câmera principal seria usada exclusivamente para captura do ambiente real podendo as interações realizar-se por meio de outro meio.
- Adaptação da estratégia proposta para uso via *Internet*: Como o sistema de comunicação entre os módulos da estratégia apresentada é feita via *Socket* o seu uso por meio da *Internet* seria facilitado.
- Desenvolvimento de protótipos em outras plataformas para se obterem dados comparativos: Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizada a plataforma de desenvolvimento Goblin XNA (2010), mas a arquitetura proposta pode ser implementada em outras plataformas, possibilitando uma melhor avaliação do sistema.
- Uso de outros sistemas de conexão para realizar a troca de dados entre os processos na etapa de comunicação da arquitetura apresentada: Nos ensaios realizados, foi possível observar a diminuição da *performance* do sistema no momento da transferência de dados entre os módulos, o que justifica uma melhor avaliação das técnicas de comunicação entre processos.

ALVAR em: <<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar.html>>. Acesso em: novembro 2010.

ARAUJO, Y. R. G. **Ambientes imersivos e participativos**. Revista VIS (UnB), Brasília, v. ano 4, n. 4, p. 159-171, 2005.

ARTag em: <<http://www.artag.net/>>. Acesso em: novembro 2010.

AUGMENTED CONSTRUCTION em:  
<<http://graphics.cs.columbia.edu/projects/arc/arc.html>>. Acesso em: novembro 2010.

AUTODESK em: <<http://area.autodesk.com/3dsmax2011>>. Acesso em: novembro 2010.

AZUMA, R. T., BAILLOT, T. Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S.,  
MACINTYRE, B. **Recent Advances in Augmented Reality**. IEEE Computer Graphics and Applications, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

BILLINGHURST, M. ARToolKit. disponivel em:  
<<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>>. Acesso em: novembro 2010.

BROLL, W., LINDT, I., OHLENBURG, J. HERBST, I., WITTKÄMPER, M. AND  
NOVOTNY, T. An Infrastructure for Realizing Custom-Tailored Augmented Reality User Interfaces. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 11, n. 6, p. 722-733, 2005.

CARDOSO, A., KIRNER, C., LAMOUNIER, E. **Conceitos de Realidade Virtual e Aumentada**. [S.l.]: Tecnologias para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada, 2007.

**A Practical Guide. Pragmatic Bookshelf Released.**

January, p. 328, Mark Fiala Publisher, The Pragmatic Studio P.O. Box 3695 Parker, CO 80134, 2008.

COULOURIS, G., DOLLIMORE, J., KINDBERG, T. **Distributed systems: concepts and design**. [S.l.]: Addison-Wesley Longman, 2005.

Estadão em: <<http://blogs.estadao.com.br/link/a-maior-realidade-aumentada-do-mundo/>>.  
Acesso em: novembro 2010.

FREEMAN, R., STEED, A., ZHOU, B. **RAPID Scene Modelling, Registration and Specification for Mixed Reality Systems**. In CHRYSANTHOU, Y., DARKEN, R., Symposium on Virtual Reality *Software* and Technology, Monterey, California: ACM Press, p. 147-150, 2005.

GOBLINXNA em: <<http://goblinxna.codeplex.com/>>. Acesso em: novembro 2010.

GUVEM, S., FEINER, S. **Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Reality**. In 7th International Symposium on Wearable Computers, p. 118-126, White Plains, NY: IEEE Computer Society, 2003.

INGMAR, D. B., GREGORY, B., HOLGER, R. Improving Interaction in an Augmented Reality System Using Multiple Cameras. In **Human - Computer Interaction: Theory and Practice (Part I)**, pp. 1103-1107, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 2003.

JENNETT CHARLENE, COX, A. L. Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., Walton, A. **Measuring and defining the experience of immersion in games**. International Journal of Human-Computer Studies, September, v.66 n.9, p.641-661, 2008.

KIRNER, C.; TORI, R. **Realidade Virtual: Conceitos e Tendências**. Livro do Pré Simpósio SVR, São Paulo, SP, p. 3-8, 2004.



**M. Desenvolvimento de Ambientes Virtuais. In:**

Kirner, C.; Siscoutto, R. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações, 2007.

LEDERMANN, F., SGHMALSTIEG, D. **A high-level Framework for Creating Augmented Reality Presentations.** In IEEE Virtual Reality, p. 187-194, Bonn, Germany: IEEE Computer Society, 2005.

LIKERT, R. **A Technique for the Measurement of Attitudes.** Archives of Psychology 140: 1655, 1932.

LOAIZA, M. E. **Calibração de múltiplas câmeras baseado em um padrão invariante.** Tese de doutorado, PUC, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

MACINTYRE, B., et. al. **The Designer's Augmented Reality Toolkit.** In The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, p. 329-330, Tokyo, Japan: IEEE Computer Society, 2003.

MEIGUINS, B. S., DO CARMO, R. M., ALMEIDA, L., GONÇALVES, A. S., PINHEIRO, S. C., DE BRITO GARCIA, M., GODINHO, P. I. **Multidimensional information visualization using augmented reality.** In Proceedings of the 2006 ACM international Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications, Hong Kong, China, 391-394. VRCIA '06. ACM, New York, NY, 2006.

MICROSOFT EXPRESS em: <<http://www.Microsoft.com/express/Downloads/#2008-Visual-CS>>. Acesso em: novembro 2010.

MICROSOFT XNA em:

<<http://www.Microsoft.com/downloads/details.aspx?displaylang=en&FamilyID=80782277-d584-42d2-8024-893fcd9d3e82>>. Acesso em: novembro 2010.

MIXED REALITY LAB SINGAPURA. MXRTOOLKIT. Disponível em:

<<http://mxrtoolkit.sourceforge.net/>>. Acesso em: novembro 2010.

2010.

OHANODA. GOBLIN XNA. Disponível em: < <http://goblinxna.codeplex.com/>>. Acesso em: novembro 2010.

OPENCV em: <<http://wareseeker.com/download/opencv-1.0.rar/2092a4f9e>>. Acesso em: novembro 2010.

ROBERTSON, G.G. et al. **Nonimmersive Virtual Reality**, IEEE Computer, Feb., pp. 81-83, 1993.

SADOWSKI, W., & STANNEY, K.M. **Presence in virtual environments**. In K. M. Stanney (Eds.). Handbook of virtual environments: Design, implementation and applications, pp. 791-806, Mahwah, IEA, 2002.

SCHMALSTIEG, D., et. al. **The Studierstube Augmented Reality Project**. PRESENCE ó Teleoperators and Virtual Environments, 11(1), p. 32-54, 2002.

SILVA, W. A. **Uma Arquitetura para Distribuição de Ambientes Virtuais de Realidade Aumentada**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2008.

STEVEN, H. **Opportunistic Tangible User Interfaces for Augmented Reality**, IEEE Computer, January/February, Vol. 16, No. 1, pp 04-16, 2010.

TECHNOTECTURE LABS. OSGART-ARTOOLKIT FOR OPENSCENEGRAPH. Disponível em: <<http://www.technotecture.com/osgart/>>. Acesso em: novembro 2010.

TORI R.; KIRNER C., SISCOOTTO, R. **Livro do Pré-Simpósio. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Anais do VIII Symposium on Virtual Reality. Belem, PA. 2006.

**Mão para interagir com o Computador.** Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

V.T.R.C. OF FINLAND. ALVAR. Disponível em:

<<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar.html>>. Acesso em: novembro 2010.

VICENTINI, W. V., SOARES, S.B.C., VICENTINI, P.C.B, DIMARIO, C. J. K. ; ARAUJO, E.M, SILVA, C.P. **Realidade Aumentada: Interface Computacional de Geração de Ambientes Virtuais de Aprendizagem para Portadores de Necessidades Especiais (Surdos e Mudos).** In: XIV Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias, Salvador-BA. Anais do XIV Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias, 2006.

VUZIX WRAP 920AR GLASSES em: < <http://crave.cnet.co.uk/gadgets/vuzix-wrap-920ar-glasses-next-wave-specs-49304695/>>. Acesso em: novembro 2010.

WALSH, A. E. **Understanding Scene Graphs.** In Dr. Dobb's Journal, 27:7, 17-26, 2002.

ZAUNER, J., HALLER, M., BRANDL, A. **Authoring of a Mixed Reality Assembly Instructor for Hierarchical Structures.** In The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, p. 2376246, Tokyo, Japan: IEEE Computer Society, 2003.

ZORZAL, E. R. **Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2009.



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## **ANEXO**

# **QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA MÚLTICAMERAS**

## ltiplas câmeras em Realidade Aumentada

Avaliador: \_\_\_\_\_

Data da Avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2010

Nível de Escolaridade: ( ) Ensino Fundamental ( ) Ensino Médio

( ) Ensino Superior ( ) Pós-Graduação

	Pouco				Muito
Quanto ao uso de computador em geral.					
	1	2	3	4	5

	Pouco				Muito
Quanto ao conhecimento em Realidade Aumentada.					
	1	2	3	4	5

A seguir serão apresentadas tarefas que deverão ser executadas e avaliadas.

**Tarefa 1:** Criar um personagem no ambiente selecionado usando o marcador de interação ãMenu Flutuanteö.

	Muito Fácil				Impossível
Usando câmera única.					
	1	2	3	4	5

	Muito Fácil				Impossível
Usando múltiplas câmeras.					
	1	2	3	4	5

**Tarefa 2:** Usando o marcador de interação ãSelecionar Moverö, posicionar o personagem criado na Tarefa 1 em outro local do ambiente selecionado.

	Muito Fácil				Impossível
Usando câmera única.					
	1	2	3	4	5

	Muito Fácil				Impossível
Usando múltiplas câmeras.					
	1	2	3	4	5



Flutuante e posicioná-lo próximo ao personagem criado na Tarefa 1.

	Muito Fácil				Impossível
Usando câmera única.					
	1	2	3	4	5

	Muito Fácil				Impossível
Usando múltiplas câmeras.					
	1	2	3	4	5

**Tarefa 4:** Retirar da cena o sofá criado na Tarefa 3 usando para isso o marcador de interação
   
 Selecionar Deletar.

	Muito Fácil				Impossível
Usando câmera única.					
	1	2	3	4	5

	Muito Fácil				Impossível
Usando múltiplas câmeras.					
	1	2	3	4	5

**Tarefa 5:** Usando o marcador de interação Rotacionar Escalar aumentar o tamanho e
   
 rotacionar o personagem criado na Tarefa 1.

	Muito Fácil				Impossível
Usando câmera única.					
	1	2	3	4	5

	Muito Fácil				Impossível
Usando múltiplas câmeras.					
	1	2	3	4	5

Em sua opinião, baseado nas tarefas executadas, o uso das câmeras extras facilitou ou
   
 dificultou a interação com os objetos virtuais? Justifique a sua resposta.

---



---



---



---



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Comentários e opiniões:

---

---

---

---

***Obrigado pela sua participação.***