

ALEXANDRE BARROS CARNEIRO  
ANDERSON JUNQUEIRA COSTA CUNHA  
FÁBIO JOSÉ MUNERATTI ORTEGA  
LUCAS SEGISMUNDO MORENO LAGO

3PI EXPERIMENT:  
DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE USABILIDADE  
DE UMA INTERFACE IMERSIVA EM TERCEIRA  
PESSOA COM REALIDADE AUMENTADA

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do diploma de conclusão de curso.

São Paulo  
2009

ALEXANDRE BARROS CARNEIRO  
ANDERSON JUNQUEIRA COSTA CUNHA  
FÁBIO JOSÉ MUNERATTI ORTEGA  
LUCAS SEGISMUNDO MORENO LAGO

3PI EXPERIMENT:  
DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE USABILIDADE  
DE UMA INTERFACE IMERSIVA EM TERCEIRA  
PESSOA COM REALIDADE AUMENTADA

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do diploma de conclusão de curso.

Área de concentração:  
Engenharia da Computação

Orientador:  
Prof. Dr. Romero Tori

Co-orientador:  
Prof. Dr. Ricardo Nakamura

São Paulo  
2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

3PI EXPERIMENT: DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE USABILIDADE DE UMA INTERFACE IMERSIVA EM TERCEIRA PESSOA COM REALIDADE AUMENTADA / A. B. Carneiro, A. J. C. Cunha, F. J. M. Ortega, L. S. M. Lago. – São Paulo, 2009. 104 p.

Monografia (Conclusão de curso) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

I. Carneiro, Alexandre B. II. Cunha, Anderson J. C. III. Ortega, Fábio J. M. IV. Lago, Lucas S. M. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. II. t.

# Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, aos nossos pais que nos deram todo o apoio necessário, às respectivas namoradas pela paciência nos dias ausentes, aos amigos e aos colegas que foram sempre presentes, nos apoiaram e incentivaram durante todo o curso.

Agradecemos aos nossos mestres e professores que nos ensinaram muito do que sabemos, e sempre nos deram força para a realização de nossos projetos.

Agradecemos nossos Orientadores Romero Tori e Ricardo Nakamura que se dispuseram a orientar nossa equipe neste trabalho, assim como o apoio do Interlab, que nos forneceu grande parte do material necessário para a implementação do protótipo.

Agradecemos em especial a professora Lúcia Filgueiras por todo auxílio fornecido para a produção da documentação necessária para a realização dos testes.

Agradecemos muito a todas as pessoas que participaram dos testes dando apoio ao nosso experimento. Sem elas seria impossível mensurar a viabilidade deste novo conceito de imersão apresentado.

Agradecemos também a empresa Absolut Technologies que nos forneceu o Head Mounted Display que foi uma parte essencial na construção do nosso protótipo.

E agradecemos especialmente a nossa querida Escola Politécnica que nos permitiu adquirir os conhecimentos essenciais de engenharia e transformar um sonho em um grande projeto que aqui se concretiza.

## Resumo

Com o objetivo de investigar um novo paradigma no ambiente de Interfaces Homem-Computador, o 3PI Experiment criou protótipos com uma característica única não conhecida até o momento em interfaces imersivas, essa característica é o uso de um ponto de vista em terceira pessoa. A avaliação dos protótipos foram feitas usando técnicas comuns, como questionários, acompanhando a experiência do usuário em tempo real, e o *cognitive walkthrough*. Os sujeitos estão espalhados em um grande espectro de perfis, o que enriquece os resultados finais. Existe uma convergência dos resultados tanto nos usuários casuais quanto nos proficientes na avaliação subjetiva da interface, e no tempo entre os movimentos do usuário em cada rodada do jogo. Essas convergências revelam um belo futuro para as interfaces imersivas em terceira pessoa em realidade aumentada, e indica novos caminhos pelo qual essa tecnologia pode trilhar.

**Palavras-Chave:** Realidade Aumentada, Usabilidade, Interface Homem-Computador

## Abstract

With the purpose of investigating a new paradigm in the realm of Human-Computer Interfaces, the 3PI Experiment creates a prototype with a unique feature unknown hitherto in augmented reality interfaces, that features is the use of a point of view in third person. The evaluation of the prototypes were made using common techniques, like questionnaires, tracking of real time user experience and cognitive walkthrough. The subjects are spread in a wide range of profiles, which enriches the final results. There is a visible convergence of the results of both casual and proficient users in the subjective evaluation of the interface, and in the delay that the users had in acting on each round of the game. These convergences unveil a bright future for immersive interfaces in third person in augmented reality, and points towards a path in which this technology may trail.

**Keywords:** Augmented Reality, Usability, Human-Computer Interface

## Lista de Figuras

2.1	Definição do sistema por suas entradas e saídas . . . . .	22
2.2	Reconhecimento do marcador e ação correspondente (desenho do personagem). . . . .	25
4.1	Definição do sistema por suas entradas e saídas . . . . .	32
4.2	Representação do ambiente utilizando o ARToolkit para localização do jogador. O sistema não reconhece os marcadores em verde, ocultos pelo usuário. . . . .	33
4.3	Exemplo de marcador gerado para a implementação proposta com o ARToolkit. . . . .	34
4.4	Estrutura e dimensões mínimas consideradas para a grade de localização do jogador com o ARToolkit. . . . .	36
4.5	Representação da interpretação do limiar de tolerância na remoção de fundo por subtração vetorial . . . . .	37
4.6	Modelo de sobreposição de camadas adotado na renderização dos protótipos em realidade aumentada. . . . .	40
4.7	Etapas do processo de segmentação do jogador. . . . .	42
4.8	Etapas do processo de segmentação do jogador. . . . .	44
6.1	Gráfico da Distribuição de Jogadores por Intervalo de Notas . . . . .	56
6.2	Distribuição das notas por jogadores . . . . .	57
6.3	Dificuldade dos Jogadores Casuais . . . . .	58
6.4	Dificuldade dos Jogadores Proficientes . . . . .	59
6.5	Avaliação da experiência dos jogadores . . . . .	60
6.6	Nível de Dificuldade dos Jogadores Casuais . . . . .	61

6.7	Nível de Dificuldade dos Jogadores Proficientes . . . . .	62
6.8	Tempo de Resposta dos Jogadores na Rodada 1 . . . . .	62
6.9	Tempo de Resposta dos Jogadores na Rodada 2 . . . . .	63
6.10	Tempo de Resposta dos Jogadores na Rodada 3 . . . . .	63
6.11	Tempo de Resposta dos Jogadores na Rodada 4 . . . . .	64
6.12	Tempo de Resposta dos Jogadores na Rodada 5 . . . . .	64
A.1	Interface gráfica do jogo em andamento . . . . .	68
A.2	Jogo em andamento - jogador prestes a chegar ao objetivo . . . . .	69
A.3	Tabuleiro encerrado - Mina atingida. . . . .	69
A.4	Fundo da sala sobre o qual o tabuleiro é renderizado . . . . .	70
A.5	Tabuleiro renderizado com imagem da sala de fundo sem a presença do jogador . . . . .	70
A.6	Jogo em andamento com jogador próximo de atingir seu objetivo . . . . .	71
A.7	Tabuleiro finalizado pelo jogador com objetivo atingido . . . . .	71
A.8	Visão superior do jogador capturada pela câmera . . . . .	72
A.9	HMD - Head Mounted Display . . . . .	72
A.10	Tripé com WebCam para captura de imagens de região superior . . . . .	73

## Lista de Tabelas

3.1	Terminologia usada no Cognitive Walkthrough . . . . .	31
6.1	Resultados: Alexandre Carneiro . . . . .	52
6.2	Resultados: Anderson Cunha . . . . .	53
6.3	Resultados: Fábio Ortega . . . . .	53
6.4	Resultados: Lucas Lago . . . . .	54
6.5	Resultados Totais . . . . .	55

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivos . . . . .	16
1.2	Motivação . . . . .	16
1.3	Proposta do Projeto . . . . .	17
1.3.1	Campo Minado com Realidade Aumentada . . . . .	17
1.3.2	Trajeto em Realidade Aumentada . . . . .	18
1.4	Organização do Texto . . . . .	19
<b>2</b>	<b>Conceitos e Técnicas de Realidade Aumentada</b>	<b>21</b>
2.1	Realidade Virtual . . . . .	21
2.2	Realidade Misturada . . . . .	22
2.3	Realidade Aumentada . . . . .	23
2.4	Open GL . . . . .	24
2.5	ARToolKit . . . . .	24
2.6	Remoção de Fundo . . . . .	25
2.6.1	Redução de ruídos (Erosão) . . . . .	25
2.6.2	Redução dos cortes na Imagem (Dilatação) . . . . .	26
2.7	Considerações Finais . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Técnicas de Avaliação de Usabilidade</b>	<b>27</b>

3.1	Avaliação de IHC's . . . . .	27
3.1.1	Técnicas comuns de avaliação de Interface Homem-Computador . . . . .	27
3.1.2	Técnicas de avaliação específicas para Interfaces Imersivas . . . . .	29
3.2	Avaliação de Usabilidade de Jogos . . . . .	29
3.2.1	Particularidades dos jogos quanto a Usabilidade . . . . .	29
3.2.2	Técnicas de avaliação focadas em jogos . . . . .	30
3.3	Considerações Finais . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento dos Protótipos de Interface</b>	<b>32</b>
4.1	Avaliação de Tecnologias . . . . .	32
4.1.1	ARToolkit . . . . .	32
4.1.2	Remoção de Fundo . . . . .	36
4.2	Detalhamento da Implementação dos Protótipos . . . . .	38
4.2.1	Configurações de Tabuleiro . . . . .	38
4.2.2	Modelamento 3D . . . . .	39
4.2.3	Localização do Jogador . . . . .	40
4.2.4	Instrumentação . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Ferramentas e Métodos de Avaliação</b>	<b>45</b>
5.1	Definição das Provas de Conceito como Ferramenta de Avaliação . . . . .	45
5.2	Descrição do Procedimento de Teste . . . . .	45
5.2.1	Descrição do Cognitive Walkthrough . . . . .	45
5.2.2	Descrição dos Testes Formais . . . . .	46
5.3	Metodologia da Análise dos Dados . . . . .	47

5.3.1	Situação e Amostra . . . . .	47
5.3.2	Hipóteses e Variáveis de Estudo . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>50</b>
6.1	Implementação dos Protótipos . . . . .	50
6.2	Avaliação de Usabilidade . . . . .	52
6.2.1	Resultados dos Testes Cognitivos . . . . .	52
6.2.2	Resultados dos Testes Formais . . . . .	55
6.2.3	Conclusão da Avaliação . . . . .	59
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>65</b>
7.1	Estado da Arte das Interfaces Imersivas . . . . .	65
7.2	Trabalhos Futuros . . . . .	65
7.3	Considerações Finais . . . . .	66
	<b>Referências</b>	<b>67</b>
	<b>Anexo A – Figuras</b>	<b>68</b>
	<b>Anexo B – Questionário de Avaliação de Perfil</b>	<b>74</b>
	<b>Anexo C – Análise do Jogo</b>	<b>77</b>
	De uma nota para cada um dos quesitos abaixo entre 1 (baixo) e 5 (alto): .	77
	Liste algumas outras dúvidas que você teve durante os testes: . . . . .	79
	Escreva sobre a sua experiência durante o jogo: . . . . .	79
	<b>Anexo D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido</b>	<b>82</b>

Informações Sobre a Pesquisa . . . . .	82
Referências . . . . .	85
Consentimento da Participação da Pessoa como Sujeito . . . . .	86
<b>Anexo E – Protocolo de Pesquisa</b>	<b>87</b>
Título do Projeto: . . . . .	87
Dados do Projeto: . . . . .	87
Pesquisador Responsável: . . . . .	87
Titulação: . . . . .	87
Alunos Responsáveis: . . . . .	87
Curso: . . . . .	87
Orientadores: . . . . .	88
Início da Pesquisa: . . . . .	88
Término da Pesquisa: . . . . .	88
Local da Realização da Pesquisa: . . . . .	88
Enquadramento Institucional da Pesquisa: . . . . .	88
Introdução: . . . . .	89
Resumo: . . . . .	90
Antecedentes Científicos: . . . . .	91
Propósitos e Hipóteses: . . . . .	92
E.1 Descrição do projeto: . . . . .	94
E.1.1 Características da População . . . . .	94
Material e Métodos: . . . . .	97
Instalações: . . . . .	97

Procedimentos: . . . . .	97
Resultados Esperados: . . . . .	98
Orçamento Financeiro: . . . . .	99
Análise de Riscos aos Sujeitos da Pesquisa: . . . . .	99
Desconforto Físico . . . . .	100
Constrangimento pelo confronto das habilidades . . . . .	100
Constrangimento pela violação do anonimato . . . . .	100
Constrangimento pela exposição da imagem . . . . .	100
Constrangimento por enfrentamento de situação inesperada . . . . .	101
Sentimento de obrigação de Participar . . . . .	101
Medidas de higiene . . . . .	101
Termo de Consentimento: . . . . .	101
Explicitação de Responsabilidades: . . . . .	102
Pesquisadores . . . . .	102
Instituição . . . . .	103
Outras Considerações: . . . . .	103
Fontes do Material de Pesquisa . . . . .	103
Propriedade das Informações Geradas . . . . .	104
Referências Bibliográficas: . . . . .	104

# 1 Introdução

## 1.1 Objetivos

O 3PI Experiment tem por foco propor um novo paradigma de interação com sistemas computacionais baseado em uma interface imersiva diferenciada das formas convencionais utilizando realidade aumentada. O objetivo principal consiste em propor e validar uma interface imersiva com um ponto de vista em terceira pessoa, ou seja, uma interface em que sua visão seja extra-corpórea, baseada em imagens capturadas por uma câmera fixa.

O paradigma é conceituado através de protótipos de software interativo em forma de jogo que exercitam os conceitos abordados. Este trabalho detalha os seus desenvolvimentos bem como os procedimentos e principais resultados da análise de usabilidade realizada sobre os mesmos com o propósito de avaliar a capacidade que este sistema tem de imergir o usuário no mundo virtual.

## 1.2 Motivação

O 3PI Experiment tem como principal motivação inserir uma nova forma de interação no mundo das interfaces imersivas na qual o ponto de vista do usuário seja alterado de forma que ele veja a si mesmo durante a execução de tarefas em oposição a ter sua visão convencional, dita em “primeira pessoa”, como no mundo real.

Para alcançar o efeito desejado, o usuário utilizará um dispositivo de visualização semelhante a um par de óculos denominado *head-mounted display* (HMD). Enxergando através deste dispositivo, ele será capaz de ver apenas as imagens provenientes de uma câmera de vídeo situada numa posição elevada no local, acrescidas de elementos virtuais

inseridos às imagens por meio de computação gráfica. Com isso, o usuário verá a si mesmo por um ponto de vista externo, e deverá caminhar de uma região a outra do local do teste como indicado no seu visor.

A visão extra-corpórea pode ser utilizada em diversas aplicações, pois permite ao usuário uma visão do contexto da cena, e não o limita a visão que ele teria apenas com os seus olhos. O uso de diferentes perspectivas e técnicas em sistemas de câmeras virtuais para o desenvolvimento de jogos e animações já encontra-se bastante desenvolvido e consolidado no corpo de conhecimento da área. Porém, no desenvolvimento de sistemas imersivos, observa-se uma ausência da exploração do paradigma de visão em terceira pessoa, sob o argumento de que a sua contraparte em primeira pessoa oferece maior sensação de imersão e naturalidade aos usuários, deixando inexploradas as capacidades de observação de contexto, visão cinematográfica e antecipação de eventos proporcionadas pela visão em terceira pessoa.

Essa ideia de trazer a visão extra-corpórea para o mundo das interfaces imersivas foi o principal motor da criação do 3PI Experiment.

## 1.3 Proposta do Projeto

### 1.3.1 Campo Minado com Realidade Aumentada

O conhecido jogo de campo minado é uma evolução do jogo “Mined-Out” da empresa Quicksilver Ltda. do Reino Unido para a plataforma ZX-Spectrum. Na versão original, o jogador deveria atravessar um campo com diversas minas espalhadas contando somente com a informação de quantas minas haviam adjacentes ao espaço sobre o qual ele se localizava. O objetivo simples, era dificultado por barreiras, passagens por pontos obrigatórios e criaturas que colocavam novas minas pelo campo. O jogo evoluiu e hoje o campo minado possui diversos formatos e diversas variações nas regras. O sucesso do jogo está relacionado com a complexidade desafiadora do problema em questão. A solução genérica do problema de encontrar todas as minas em um campo minado faz parte da classe de problemas NP-completos (KAYE, 2007). Sendo conhecido como o mais popular dos jogos de computador de raciocínio lógico, a escolha do jogo parecia óbvia para a nossa interface, pois assim

poderemos avaliar a influência da imersão nas decisões lógicas dos sujeitos.

#### **1.3.1.1 Descrição do Jogo:**

O jogador precisa atravessar um campo minado de uma posição inicial no canto superior esquerdo do mapa para uma segunda posição indicada no mapa e que varia de jogo para jogo. Em cada ponto dessa travessia ele tem a informação da quantidade de minas nos espaços ao redor do espaço que ele se encontra.

#### **1.3.1.2 O campo do Jogo:**

O campo do jogo implementado consiste em 36 espaços (6x6) que podem ser ocupados pelo jogador, sendo que dois destes espaços são “zonas seguras”, onde um destes é o ponto de partida e outro é o ponto de chegada, que são regiões livres e identificadas desde o início do jogo.

#### **1.3.1.3 Regras do Jogo:**

- O jogador pode se encontrar somente em um espaço a cada momento do jogo;
- O jogador pode somente se mover na horizontal ou vertical, não existem movimentos diagonais;
- O Jogador só tem as informações correspondentes ao espaço que ele se encontra;
- Não existem bombas localizadas nas “zonas seguras”;
- O jogador ganha o jogo ao chegar na segunda “zona segura”;
- O jogador perde o jogo ao pisar em um espaço minado;

### **1.3.2 Trajeto em Realidade Aumentada**

Como forma de melhor avaliar a adaptação dos usuários ao ambiente imersivo, optou-se por fornecer uma situação de jogo onde não houvesse necessidade de tomada de decisões