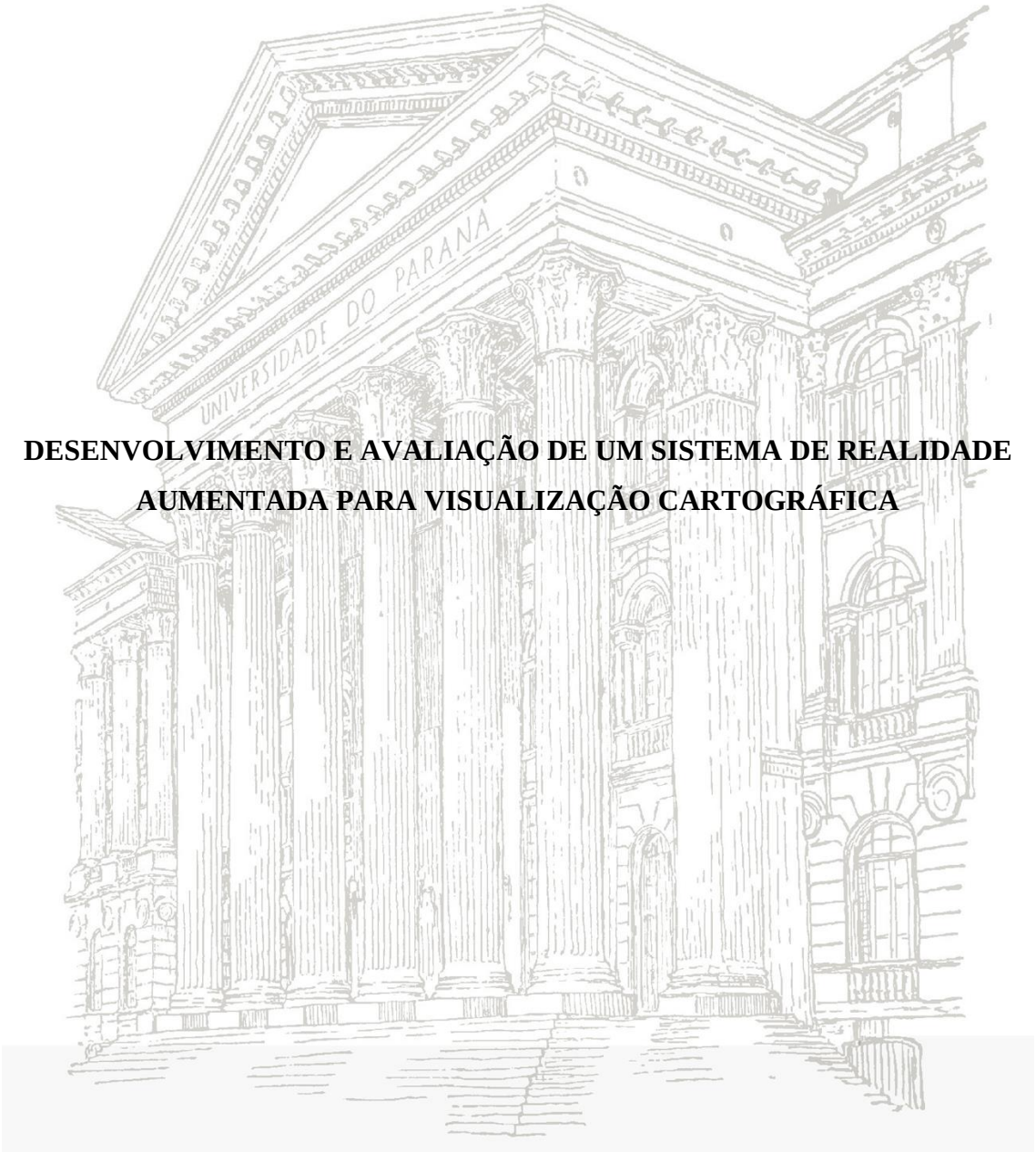
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL HENRIQUE DE ALMEIDA PEREIRA

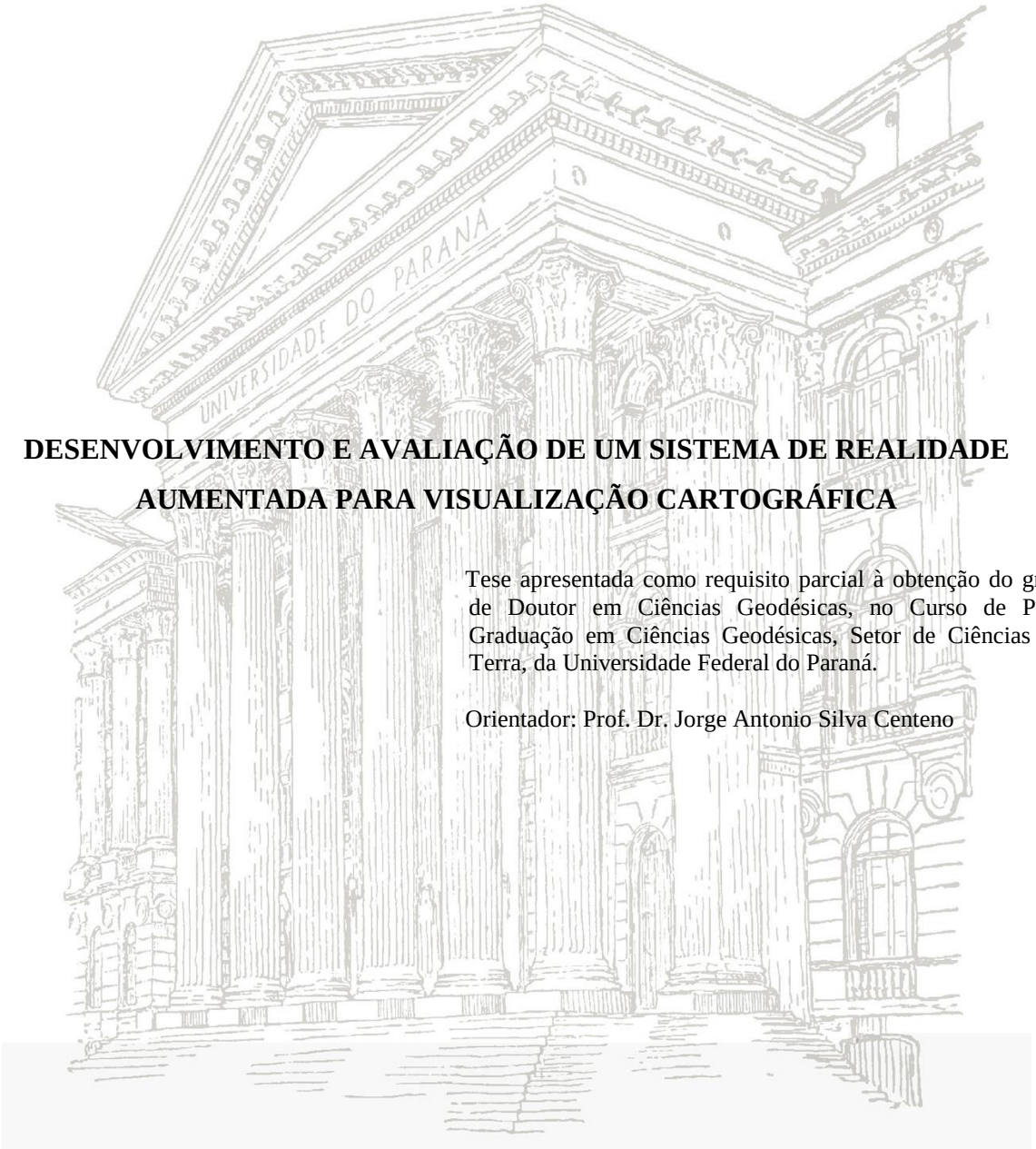



# DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA VISUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

CURITIBA

2017

GABRIEL HENRIQUE DE ALMEIDA PEREIRA




# DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA VISUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Geodésicas, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno

CURITIBA

2017

P436d

Pereira, Gabriel Henrique de Almeida
Desenvolvimento e avaliação de um sistema de realidade aumentada para visualização cartográfica / Gabriel Henrique de Almeida Pereira. – Curitiba, 2017.
204 f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2017.

Orientador: Jorge Antonio Silva Centeno .
Bibliografia: p. 174-195.

1. Cartografia. 2. Realidade aumentada. 3. Percepção espacial. 4. Percepção geografica. I. Universidade Federal do Paraná. II.Centeno, Jorge Antonio Silva. III. Título.

CDD: 526

**TERMO DE APROVAÇÃO**

GABRIEL HENRIQUE DE ALMEIDA PEREIRA

"DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA VISUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA"

Tese nº 101 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno
Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt
Universidade Federal de Uberlândia, UFU

Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos
Departamento de Geografia, UFPR

Profª. Drª. Luciene Stamato Delazari
Departamento de Geomática, UFPR

Profª. Drª. Silvana Philippi Camboim
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 16 de fevereiro de 2017

Dedico este trabalho aos meus pais,

Lourdes e José Adolpho

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, incialmente, aos meus pais, Lourdes e José Adolpho. Sem eles, seus esforços, incentivos e carinho, nada seria possível!

Agradeço também à Thalita, família que escolhi, que me acompanha nesta jornada, acadêmica, profissional e, principalmente, da vida!

Agradeço aos amigos, sempre dispostos à uma boa conversa, um bom programa, uma cervejinha e que compreenderam os momentos de ausência devido às obrigações acadêmicas.

Aos professores e orientadores que tive a oportunidade de aprender durante minha vida e que, com certeza, fazem parte do meu desenvolvimento, esteja diretamente relacionados a esta tese ou não, mas que fizeram e fazem parte da minha formação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno, pelos momentos de conversa e orientação, com o qual aprendi muito, já desde a época de mestrado.

Ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, assim como aos professores do programa, onde, e com os quais, aprendi conceitos e valores que levarei como exemplo acadêmico, profissional e pessoal.

N
W
E
S
N

## RESUMO

Nas últimas décadas é notável o aparecimento de sistemas computacionais que favorecem os usuários a executar suas tarefas. Dentre os sistemas que prometem auxiliar os usuários a executar suas tarefas - inclusive as tarefas de leitura de mapa - os baseados em Realidade Aumentada (RA) mostram-se bastante promissores. Estas interfaces computacionais mais naturais podem possibilitar novas formas de interação com a informação e com o ambiente ao redor do usuário. Entretanto, pouco deste tema tem sido explorado, principalmente, no Brasil. Por esse motivo, elaborou-se a presente pesquisa com a intenção de desenvolver e analisar alguns protótipos de Realidade Aumentada para a Cartografia, para interação com mapas e dados geográficos. Neste trabalho abordou-se e utilizou-se de diferentes metodologias para RA, como com e sem marcadores fiduciais especiais, em versão desktop ou para dispositivos móveis. Foram utilizados dados geoespaciais referentes à características físicas, políticas, sociais e demográficas, econômicas e ambientais, integradas sobre diferentes tipos de mapas impressos, de temáticos a topográficos. Explorou-se também a utilização vários formatos de dados, de vetorial a *raster*, 2D, 3D, animações, etc. É possível destacar que os sistemas de Realidade Aumentada desenvolvidos trazem novas possibilidades de manipulação de dados geográficos, trazendo novas oportunidades de interação com o mapa impresso ou dados geoespaciais digitais. Porém, destaca-se que o desenvolvimento para dispositivos móveis e sem a utilização de marcadores fiduciais externos apresenta-se altamente atrativo, uma vez que este sistema de RA pode ser considerado como uma "lente mágica" ou uma "janela" para o mundo virtual, onde o usuário pode ter acesso a outras informações geoespaciais digitais sobrepostas ao ambiente real através destes dispositivos móveis. Ainda, com a execução de testes com usuários verificou-se que os sistemas de RA desenvolvidos trouxeram significativas melhorias para seus usuários na execução das tarefas, assim como ganhos em quesitos como motivação, confiança, diminuição de demandas físicas e mentais, etc. Com relação à preferencia dos usuários, a grande maioria dos usuários entrevistados preferiu trabalhar com estes sistemas de RA desenvolvidos do que apenas com os mapas impressos. Estudos também sobre se o conhecimento prévio do usuário poderia influenciar na execução das tarefas indicaram que, por mais que os sistemas de RA tenham auxiliado a grande maioria dos usuários, os sistemas de RA possuíram maior aceite e trouxeram maiores contribuições aos usuários não especialistas. Também, verificou-se que, por várias vezes, os usuários tendiam a "brincar" mais com o sistema de RA do que com o mapa impresso, passando mais tempo analisando determinada área ou fenômeno geográfico, demonstrando assim maior interação com os dados e espaço geográfico. Em todos os testes executados foi possível verificar que os usuários se mostravam mais interessados em executar suas tarefas quando apoiados pelos sistemas de RA, por vezes executando as tarefas sorrindo ou fazendo exclamações e comentários positivos sobre o sistema de RA. Desta forma, aplicações de Realidade Aumentada, como a descrita neste trabalho, se tornam importantes ferramentas no auxílio às questões profissionais como planejamento e gestão do espaço geográfico, ou até à área da educação, ensino e aprendizagem, uma vez que a integração dos dados em um ambiente mais interativo pode auxiliar na melhoria do processo de entendimento e compreensão do espaço geográfico por parte dos seus usuários.



**Palavras-chave**: Realidade Aumentada, dados geoespaciais, interatividade, teste com usuários.

## ABSTRACT

In the last decades it is notable the increase of computational systems that help users to perform their tasks. Among the systems that promise to help users to perform their tasks - including map-reading tasks - those based on Augmented Reality (AR) are quite promising. These natural computational interfaces may allow new forms of interaction with the information and the real world around the users. However, just a little has been explored about it in the world - and especially in Brazil. For this reason, we elaborated this research to development and analyze some prototypes of Augmented Reality for Cartography, for interaction with maps and geographic data, addressing and using different methodologies, such as with or without special fiducial markers, for desktop computers or mobile devices. We have used geospatial data referring to physical, political, social, demographic, economic and environmental characteristics, integrated over different types of printed maps, from thematic to topographic maps. It is possible to highlight that the Augmented Reality systems developed in this work brought new opportunities of interaction with printed maps or digital geospatial data. Moreover, the AR systems brought the possibility of exploration of several formats, as vectors and rasters, 2D, 3D, animations, etc. It was verified that - independently of the methodologies used - with AR systems it was possible to interact with a printed physical map and virtual geographic data simultaneously. However, it is possible to affirm that the AR system developed for mobile devices and using the markerless approach is highly attractive. With this approach the AR system can be considered as a "magic lens" or a "window" to the virtual world, where users could access digital geospatial information superimposed on the real environment through these mobile AR systems. Also, with users' tests, it was verified that the AR systems developed have brought significant improvements to the execution of the tasks, such as gains in motivation, confidence, decrease of physical and mental demands, etc. About the user's preference, a large majority of users interviewed preferred to work with these AR systems than just the printed maps. Also, it has been found that sometimes users tended to "play" more with the AR system than with the printed maps, spending more time analyzing a particular area or geographic phenomenon, demonstrating more interaction with geographic data. Also, it has been verified that users were more interested in performing their tasks when supported by the AR systems - performing their tasks smiling or making exclamations and positive comments about the AR system. By this way, applications of Augmented Reality as a described in this work become an important tool for assistance to professional questions like geographic space planning and management, or to the educational area, since the integration of the geospatial data in an interactive environment can help to improve the process of understanding and comprehension of the geographical space by its users.



**Keywords:** Augmented Reality, geospatial data, interactivity, users' tests.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – *Continuum* entre Realidade – Virtualidade. Fonte: Milgram et al. (1994). ..... 28
Figura 3.1 – Sequência metodológica adotada. ..... 72
Figura 3.2 – Sistemas de Coordenadas utilizados no processamento com ARToolKit. ..... 73
Figura 3.3– Ambiente de aplicação dos testes com os usuários. ..... 75
Figura 3.4 – Camadas de Informação Apresentadas na Etapa 1 pelo sistema de Realidade Aumentada. (a) Mapa físico original do Brasil, e (b) Mapa Aumentado com adição da informação digital do contorno do Brasil e do Estado do Paraná. ..... 78
Figura 3.5 – Camadas de Informação Apresentadas na Etapa 2 pelo sistema de Realidade Aumentada. (a) Mapa físico original do Paraná; e (b) Mapa Aumentado com adição da informação digital do contorno do Estado do Paraná, (c) com adição da informação SRTM, (d) com adição da informação da hidrografia e (e) com adição da animação indicando o sentido do fluxo dos rios. ..... 80
Figura 3.6 – Comparação entre os mapas resultantes das Etapas 2 e 3, propostas na metodologia. (a) Especialista e; (b) Não Especialista. ..... 87
Figura 4.1 – Exemplo de Realidade Aumentada com o sistema de Realidade Aumentada utilizando marcadores fiduciais e biblioteca ARToolKit. (a) Mapa impresso original, e (b) Mapa Aumentado com adição da informação digital do contorno do Brasil e do Estado do Paraná. ..... 93
Figura 4.2 – Sistema de RA utilizando marcadores fiduciais e biblioteca ARToolKit para o Estado do Paraná. (a) Mapa impresso original com o contorno do Estado do Paraná; (b) apresentação virtual do contorno do Estado; (c) adição da informação altimétrica (SRTM), (d) adição da informação da hidrografia. ..... 94
Figura 4.3 – Sistema de Realidade Aumentada, sem marcadores fiduciais e para dispositivos. (a)Mapa do Estado do Paraná sendo filmado pelo sistema; (b) Apresentação da camada dos limites dos municípios do Estado do Paraná; (c) apresentação da camada com hidrografia principal do Estado do Paraná; (d) A apresentação do relevo em 3D. ..... 96
Figura 5.1 - Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná produzido e disponibilizado pelo Governo do Estado do Paraná. ..... 101
Figura 5.2 - Dados e Mapas digitais utilizados. (a) Regiões Geográficas; (b) Grau de Urbanização; (c) Taxa de Crescimento da População; (d) Densidade Demográfica; (e) Índice de Desenvolvimento Humano; (f) Produto Interno Bruto per Capita; (g) Cobertura Vegetal

Nativa; (h) Remanescente de Cobertura Vegetal Nativa; (i) Uso da Terra; (j) Degradação do solo; (k) Solos; (l) Geomorfologia. ..... 103
Figura 5.3 - Variáveis das condições do tempo do dia 11/11/2016. (a) Precipitação; (b) Temperatura Mínima; (c) Temperatura Máxima. Fonte: SIMEPAR. ..... 104
Figura 5.4 - Imagens do satélite EUMETSAT do tempo do dia 11/11/2016. 06-12h. Fonte: SIMEPAR..... 104
Figura 5.5 – Sistema de Realidade Aumentada desenvolvido. (a) Sistema ligado, mas sem camada digital ativada; (b) Camada digital referente ao Grau de Urbanização ativada e sobreposta ao mapa impresso. ..... 105
Figura 5.6– Sistema de Realidade Aumentada. (a) Nenhuma camada digital ativada; (b) Regiões Geográficas; (c) Grau de Urbanização; (d) Taxa de Crescimento da População; (e) Densidade Demográfica; (f) Índice de Desenvolvimento Humano; (g) Produto Interno Bruto per Capita; (h) Cobertura Vegetal Nativa; (i) Remanescente de Cobertura Vegetal Nativa; (j) Uso da Terra; (k) Aptidão do solo, (l) Degradação do solo; (m) Solos; (n) Geomorfologia; (o) Precipitação; (p) Temperatura Mínima; (q) Temperatura Máxima; (r) Pluviômetros; (s) Pluviômetros; (t) Condição do tempo; (u) Condição do tempo; (v) Condição do tempo. ..... 106
Figura 6.1 – Mapa Topográfico oficial - Colônia Pereira, escala 1:25.000. Fonte: IBGE..... 110
Figura 6.2 – Dados da área de estudo. (a) Imagem R4G3B2 Landsat 8, sensor OLI. (b) Dados de altimetria SRTM. ..... 111
Figura 6.3 – Imagens do sistema de Realidade Aumentada. (a) Nenhuma camada sendo apresentada. (b)–(f) Modelo Digital do Terreno em 3D sendo apresentado sobre o mapa em diversas posições e ângulos. ..... 113
Figura 6.4 – Imagens do sistema de RA. (a)-(b) Imagem do satélite Landsat 8, apresentada sobre o mapa impresso. (c)-(d) Imagem Landsat 8 sobre o Modelo Digital do Terreno em 3D sobre o mapa impresso. ..... 114
Figura 7.1 – Horseshoe Bend, no Rio Colorado, Estado do Arizona –Estados Unidos da América (Fotografia de Brian Klimowski - http://horseshoebend.com). ..... 115
Figura 7.2 – O mapa topográfico oficial Ferry Swale Quadrangle, Arizona-EUA, série 7.5-Minutos. Fonte: USGS. ..... 116
Figura 7.3 – O sistema de Realidade Aumentada.. (a) O sistema de RA e o mapa impresso. (b) Detalhe da interface do sistema de RA. ..... 118

Figura 7.4 – As camadas digitais apresentadas pelo sistema de RA. (a) Nenhuma camada sendo apresentada; (b) Transportes; (c) Hidrografia; (d) Imagem de satélite; (e) Curvas de nível; (f) Curvas de nível em outra coloração; (g) Relevo sombreado. ..... 119
Figura 7.5 – A possibilidade de sobrepor camadas digitais. (a) Camada da imagem de satélite e camada das curvas de nível; (b) Camada da imagem de satélite e camada curvas de nível em outra coloração. ..... 121
Figura 7.6 –O protótipo de Realidade Aumentada apresentando o Modelo Digital do Terreno em 3D. ..... 122
Figura 7.7 – A imagem oblíqua do Horseshoe Bend sendo apresentada pelo sistema de RA.123
Figura 8.1 – Mapa de Localização da Bacia do Jacareí. ..... 125
Figura 8.2 – Mapas impressos a serem utilizados com referência. (a) Contorno da Bacia hidrográfica do Jacareí; (b) Altimetria da Bacia hidrográfica do Jacareí..... 126
Figura 8.3 – Sistema de Realidade Aumentada com a apresentação de uma camada digital (camadas de Recursos Hídricos) sobre o mapa impresso. (a) sem nenhuma camada sendo apresentada. (b-d) vários ângulos entre *tablet* e mapa impresso. ..... 128
Figura 8.4 – Sistema de Realidade Aumentada – Camadas de informação digitais implementadas. ..... 129
Figura 8.5 – Sistema de Realidade Aumentada - Sobreposição de camadas de informação digitais. ..... 130
Figura 8.6– Camadas em 3D do sistema de Realidade Aumentada. ..... 131
Figura 9.1 – Mapas impressos da Nova Zelândia utilizados. (a) Apenas o contorno (linha de costa); (b) Altimetria (dados SRTM); (c) Número de habitantes – censo 2013. ..... 134
Figura 9.2 – Camadas Virtuais a serem apresentadas pelo sistema de RA. (a) Modelo Digital do Terreno em 3D; (b) Número de habitantes - Censo 2013 em 2D; (c) Número de habitantes sobre o Modelo Digital do Terreno em 3D. ..... 134
Figura 9.3 – Execução da tarefa em função de cada cenário. (a) Cenário 01 – apenas os mapas impressos; (b) Cenário 02 – apenas o mapa impresso do contorno e o sistema de RA; (c) Cenário 03 – todos os mapas impressos e o sistema de RA. ..... 137
Figura 9.4 – Tempo mínimo, médio e máximo para responder a questão para cada cenário, pelos usuários com experiência em SIG. ..... 139
Figura 9.5 – Tempo mínimo, médio e máximo para responder a questão para cada cenário para os usuários sem experiência em SIG. ..... 142

Figura 10.1 – Resultados do IMMS-ARCS. ..... 159
Figura 10.2 – Resultados do questionário NASA – TLX. ..... 162
Figura 10.3 – Acurácia dos usuários em responder as 7 questões propostas para o teste..... 165

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Trabalhos apresentados nesta pesquisa. ..... 44
Tabela 2.2 – Número de publicações de Realidade Aumentada com experimentos com usuários entre 1995 e 2004. ..... 54
Tabela 2.3 - Tarefas de Leitura de Mapas. ..... 65
Tabela 2.4 – Tarefas de uso de mapas com relação à questões geográficas ..... 66
Tabela 3.1 – Definição das classes de usuários entrevistados. ..... 76
Tabela 3.2 – Identificação e Formação Acadêmica dos usuários entrevistados. ..... 77
Tabela 3.3 – Perguntas apresentadas na etapa 1 ..... 78
Tabela 3.4 – Perguntas apresentadas na etapa 2 ..... 79
Tabela 3.5 – Perguntas apresentadas na etapa 3 ..... 81
Tabela 5.1 – Dados e Mapas digitais utilizados. ..... 102
Tabela 7.1 – Camadas de informação digital apresentados pelo sistema de Realidade Aumentada sobre o mapa topográfico. ..... 117
Tabela 9.1 – Número de participantes em cada cenário. ..... 138
Tabela 9.2 – Preferência de usuários com experiência em SIG. ..... 140
Tabela 9.3 – Preferência dos usuários sem experiência em SIG. ..... 143
Tabela 9.4 – Tempo mínimo, médio e máximo (minutos e segundos) para responder as perguntas por cada cenário de teste. ..... 144
Tabela 9.5 – Preferência de todos os usuários. ..... 145
Tabela 10.1 – Distribuição dos usuários nos Grupos conforme a experiência. ..... 150
Tabela 10.2 – Resultados referentes ao parâmetro Confiança do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico. ..... 155
Tabela 10.3 – Resultados referentes ao parâmetro Atenção do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico. ..... 156
Tabela 10.4 – Resultados referentes ao parâmetro Satisfação do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico. ..... 157

Tabela 10.5 – Resultados referentes ao parâmetro Relevância do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico. ..... 158
Tabela 10.6 – Resultados do IMMS-ARCS ..... 159
Tabela 10.7 – Resultados do questionário NASA – TLX. ..... 162
Tabela 10.8 – Acurácia dos usuários da Pós-Graduação ..... 164
Tabela 10.9 – Acurácia dos usuários da Graduação..... 164

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| 2D | - 2 Dimensões |
| 3D | - 3 Dimensões |
| 6DOF | - *6 degrees of freedom* (6 graus de liberdade) |
| ANCOVA | - Análise da Covariância |
| ANOVA | - Análise de Variância |
| API | - *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicativos) |
| ARCS | - *Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction* (Atenção, Relevância, Confiança, Satisfação) |
| BYOD | - *Bring Your Own Device* (Traga Seu Próprio Dispositivo) |
| CONCAR | - Conselho Nacional de Cartografia |
| EMATER | - Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural |
| EMBRAPA | - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; |
| EUMETSAT | - *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos) |
| FJP | - Fundação João Pinheiro |
| fps | - *frames per second* (quadros por segundo) |
| GeoVEs | - *Geo Virtual Environments* (Ambientes Virtuais Geoespaciais) |
| GNSS | - *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite) |
| GPS | - *Global Position System* (Sistema de Posicionamento Global) |
| GUI | - *Graphical User Interface* (Interface Gráfica do Usuário) |
| HMD | - *Head Mounted Display* (dispositivo de vídeo a ser usado/vestido na cabeça) |
| IBGE | - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IHC | - Interfaces Homem-Computador |
| IMMS | - *Instructional Materials Motivation Survey* (Pesquisa de Materiais de Instrução em Motivação) |
| IMU | - *Inertial Measurement Unit* (Unidade de Medida Inercial) |
| IPARDES | - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social |
| IPEA | - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| IR | - *Infrared* (Infravermelho) |

| | |
|---|---|
| ITCG | - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências |
| Landsat | - Programa de satélites de observação da Terra |
| LBS | - *Location-Based Service* (Serviços Baseados em Localização) |
| LED | - *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz) |
| MDE | - Modelo Digital de Elevação |
| MDT | - Modelo Digital de Terreno |
| NASA | - *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) |
| NASA-TLX | - NASA *Task Load Index* (Índice de Carga de Trabalho da NASA) |
| OLI | - *Operational Land Imager* (Imageador Operacional da Terra) |
| PDA | - *Personal Digital Assistant* (Assistente Pessoal Digital) |
| PNUD | - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento |
| POI | - *Points of Interest* (Pontos de Interesse) |
| QR | - *Quick Response* (Resposta rápida) |
| RA | - Realidade Aumentada |
| RM | - Realidade Mista |
| RV | - Realidade Virtual |
| SDK | - *Software Development Kit* (Kit de Desenvolvimento de Software) |
| SEMA | - Secretaria de Estado do Paraná do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| SIG | - Sistema de Informação Geográfica |
| SIMEPAR | - Sistema Meteorológico do Paraná |
| SLAM | - *Simultaneous localization and mapping* (Localização e mapeamento simultâneos) |
| SRTM | - *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão Topográfica Radar Shuttle) |
| TIRS | - *Termal Infra Red Sensor* (Sensor de infravermelho térmico). |
| TUI | - *Tangible User Interface* (Interface tangível para o usuário) |
| UCD | - *User Centered Design* (Design centrado no usuário) |
| UI | - *User Interface* (Inferface do usuário) |
| UMPC | - *Ultra Mobile Personal computer* (Computadores pessoais últra-móveis) |
| USGS | - *United States Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos) |
| UWB | - *Ultra Wide Band* (Banda Ultra Larga) |

VRML - *Virtual Reality Modeling Language* (Linguagem de Modelagem de Realidade Virtual)

**SUMÁRIO**

**CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO ..... 20**
1 INTRODUÇÃO ..... 21
1.1 JUSTIFICATIVA ..... 25
1.2 OBJETIVOS ..... 25
1.2.1 Objetivo Geral ..... 25
1.2.2 Objetivos Específicos ..... 26

**CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 27**
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 28
2.1 A REALIDADE AUMENTADA ..... 28
2.1.1 Diversidade de áreas de aplicação de Realidade Aumentada ..... 29
2.1.2 Características pedagógicas ..... 31
2.2 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DE EQUIPAMENTOS PARA SUPORTE DE REALIDADE AUMENTADA ..... 33
2.3 MÉTODOS E BIBLIOTECAS PARA SUPORTE DE REALIDADE AUMENTADA ..... 35
2.3.1 A biblioteca Qualcomm Vuforia ..... 37
2.4 A REALIDADE AUMENTADA E PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ..... 42
2.5 TESTES COM USUÁRIOS ..... 48
2.5.1 NASA-TLX ..... 59
2.5.2 Modelo ARCS ..... 62
2.6 AS TAREFAS DE LEITURA DE MAPAS ..... 64

**CAPÍTULO 3 - ESTUDOS PRELIMINARES ..... 69**
3 AVALIAÇÃO DO USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA CARTOGRAFIA COM USUÁRIOS, UM PROTÓTIPO INICIAL ..... 70
3.1 METODOLOGIA DESTE ESTUDO PRELIMINAR ..... 72
3.1.1 Desenvolvimento do Sistema de Realidade Aumentada ..... 72
3.1.2 Ambiente de Aplicação dos Testes com os Usuários ..... 74
3.1.3 Definição dos Grupos de Usuários e Características de Interesse ..... 75

3.1.4 Grupo de Usuários Entrevistados ..... 76
3.1.5 Criação dos Cenários de Estudo e Aplicação dos Testes ..... 77
3.2 RESULTADOS DESTES TESTES PRELIMINARES ..... 81
3.2.1 O Sistema de Realidade Aumentada ..... 82
3.2.2 Análise dos Resultados dos Testes com Usuários ..... 83
3.2.3 ..... Avaliações e potencialidades do sistema de realidade aumentada segundo os usuários entrevistados ..... 88
3.3 Análise geral dos resultados preliminares ..... 89
4 COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE REALIDADE AUMENTADA EM AMBIENTE DESKTOP E DISPOSITIVOS MÓVEIS, COM E SEM MARCADORES FIDUCIAIS ..... 90
4.1 METODOLOGIA ..... 90
4.2 RESULTADOS ..... 92

**CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS E FUNCIONALIDADES PARA REALIDADE AUMENTADA PARA CARTOGRAFIA ..... 99**
5 UTILIZAÇÃO DO MAPA POLÍTICO RODOVIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DO PARANÁ E DADOS GEOGRÁFICOS OFICIAIS DO ESTADO ..... 100
5.1 METODOLOGIA ..... 101
5.2 RESULTADOS ..... 104
6 UTILIZAÇÃO DO MAPA TOPOGRÁFICO IBGE-BRASIL ..... 108
6.1 METODOLOGIA ..... 108
6.2 RESULTADOS ..... 112
7 UTILIZAÇÃO DO MAPA TOPOGRÁFICO USGS-USA ..... 115
7.1 METODOLOGIA ..... 115
7.2 RESULTADOS ..... 118
8 UTILIZAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS ..... 124
8.1 METODOLOGIA ..... 125
8.2 RESULTADOS ..... 127

**CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÕES DO USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA INTERAÇÕES COM MAPAS E DADOS GEOGRÁFICOS ..... 132**
9 AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA INTERAÇÃO COM MAPAS TEMÁTICOS ..... 133
9.1 METODOLOGIA ..... 133
9.1.1 O sistema de Realidade Aumentada ..... 133
9.1.2 Os usuários ..... 135
9.1.3 As entrevistas ..... 135
9.2 RESULTADOS ..... 138
9.2.1 Usuários com experiência em SIG ..... 139
9.2.2 Usuários sem experiência em SIG ..... 142
9.2.3 Análise geral ..... 144
10 AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA INTERAÇÃO COM MAPAS TOPOGRÁFICOS ..... 148
10.1 METODOLOGIA DOS TESTES ..... 149
10.1.1 Metodologia IMMS – ARCS ..... 151
10.1.2 Metodologia NASA-TLX ..... 152
10.2 RESULTADOS ..... 153
10.2.1 IMMS-ARCS ..... 154
10.2.2 NASA-TLX ..... 162
10.2.3 Acurácia ..... 164
10.2.4 Análise dos experimentos, usuários e seus comportamentos ..... 167

**CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO GERAL ..... 169**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 174**

**ANEXOS ..... 196**
**Anexo 1 – Teste IMMS-ARCS utilizado para usuários do mapa topográfico** ..... 197
**Anexo 2 – Teste IMMS-ARCS utilizado para usuários do sistema de Realidade Aumentada e mapa topográfico** ..... 200
**Anexo 3 – NASA TLX** ..... 203

# Capítulo 1 - Introdução

# 1 INTRODUÇÃO

Interfaces cada vez mais naturais reduzem as barreiras da informática e, simultaneamente, aumentam o poder do usuário, levando estas interfaces a nichos de uso ainda não imagináveis (WIGDOR e WIXON, 2011). A Realidade Aumentada (RA) é uma das tecnologias que têm se desenvolvido em função da evolução tecnológica, com o intuito de facilitar o cotidiano da sociedade moderna.

De acordo com Olsson et al. (2012), considerada uma tecnologia interativa emergente, a Realidade Aumentada tem ganhado cada vez mais interesse nos últimos anos, tornando a informação contextualmente relevante, facilmente disponível e permitindo novas possibilidades de interação com a informação. Ou seja, Realidade Aumentada é uma forma emergente de experiência em que o mundo real pode ser reforçado com conteúdo gerado por computador, podendo este conteúdo estar ligado a locais específicos e/ou atividades (YUEN, YAOYUNEYONG e JOHNSON, 2011). Com isso, conforme Olsson et al. (2012), com as possibilidades que Realidade Aumentada traz "o mundo se torna a interface do usuário".

Como relatado em matéria publicada no *The Wall Street Journal*, Realidade Aumentada pode ser uma "virada no jogo" na questão de dados e análises, uma vez que RA é muito mais imersiva, onde usuário vivencia muito mais do que acha que está analisando. Também, nesta matéria é relatado que, atualmente, a aquisição de novos dados não é tão difícil quanto fazer com que esses dados façam sentido para as pessoas que precisam tomar alguma decisão. (WINKENBACH e GULICK, 2016).

A RA permite que o conteúdo digital possa ser sobreposto e misturado na percepção do mundo real. Além de objetos 2D e 3D, animações, arquivos de áudio e vídeo, informação textual, informações olfativas ou tácteis podem ser incorporadas na percepção do mundo real. Consequentemente, com a adição de informações e tais recursos, o objetivo da RA é ajudar e melhorar a compreensão do que está acontecendo em torno do usuário (YUEN, YAOYUNEYONG e JOHNSON, 2011).

Azuma (1997) já havia declarado que, devido aos inúmeros desafios e caminhos inexplorados nesta área já naquela época, existiam vários desafios que ainda estavam abertos. O desenvolvimento de muitas opções de novos dispositivos capazes de suportar a RA a tornava uma área de pesquisa vibrante e que continuaria a ser uma interessante área de pesquisa por muitos anos. E sua declaração ainda é válida atualmente, uma vez que há um

desenvolvimento contínuo de novas ferramentas, algoritmos, bibliotecas, *softwares* e *hardwares* que permitem melhorias no campo RA.

Sobretudo, de forma a aumentar ainda mais o alcance da Realidade Aumentada, tem-se o forte e constante desenvolvimento de novos recursos tecnológicos, suportando maiores e mais pesados processamentos, em dispositivos cada vez menores. O desenvolvimento de novos dispositivos, como óculos capazes de suportar RA (como o *Google Glass* ou *Oculus Rift*) ou dispositivos pessoais móveis (como *smartphones* e *tablets*), bem como o aumento do poder de processamento e sensores, novas possibilidade de desenvolvimento e aplicações de RA são cada vez mais robustos e atrativos. Huynh et al. (2009) afirmam que, ao longo dos últimos anos, os avanços nas capacidades de gráficos em 3D, processamento e tecnologias de visualização em telefones móveis tornaram estes dispositivos plataformas atraentes para Realidade Aumentada móvel. Olsson e Salo (2011) complementam dizendo que, como os *smartphones* estão se tornando uma mercadoria popular e com preços razoáveis, se espera que o número de potenciais utilizadores de aplicações de RA aumente significativamente dentro de alguns anos.

De acordo com Yuen, Yaoyuneyong e Johnson (2011), embora os aplicativos de RA sejam possíveis em muitos campos, talvez o mais interessante seja as possibilidades inerentes ao campo da educação. De acordo com Ternier et al. (2012), a combinação de recursos de Realidade Aumentada móvel e situações educacionais oferece uma oportunidade única para a ligação de experiências e contextos de aplicação no mundo real. Arvanitis et al. (2009) relatam que os esforços atuais de aprendizagem assistida por tecnologias, como empregados em vários campos da ciência, aprimoram a realidade com informações adicionais e, assim, melhoraram a perspectiva de entendimento de conceitos pelos usuários. Ou seja, com a capacidade de infundir informação digital no mundo real, a tecnologia RA poderia ajudar ainda mais na educação científica (CHENG e TSAI, 2013).

Ainda, segundo Andrew Kucheriavy, para a revista Forbes, RA tem o potencial enorme para a educação. Usando RA, os alunos podem ter a manipulação direta dos dados e experiências realistas sobre o que estão aprendendo, enriquecendo ainda mais o material do curso. Dependendo da aplicação, isso pode economizar enormes quantias de dinheiro em materiais físicos e incluem simulações da vida real que não estavam disponíveis antes (KUCHERIAVY, 2016).

Com isso, a proliferação de tecnologias de Realidade Aumentada cria oportunidades para o desenvolvimento de novos cenários de aprendizagem (IORDACHE e PRIBEANU, 2009). Esta aprendizagem, aqui se entende como qualquer forma de absorção de conhecimento, seja em ambiente escolar, educação técnica ou científica, ou mesmo na compreensão do espaço geográfico.

Wu et al. (2013) também afirmaram que pesquisas indicaram que os sistemas de RA poderiam ajudar seus usuários a desenvolver habilidades e conhecimentos que podem ser aprendidas em outros ambientes de aprendizagem assistidos por tecnologias, mas de uma forma mais eficaz. Os usuários que utilizam o RA poderiam virtualmente manipular uma variedade de objetos de aprendizagem e lidar com a informação de uma maneira nova e interativa.

Em geral, Azuma (1997); Arvanitis et al. (2009) ; Huynh et al. (2009); Yuen, Yaoyuneyong e Johnson (2011); Olsson e Salo (2011); Ternier et al. (2012); Wu et al. (2013); Cheng e Tsai (2013), entre outros, argumentam que a Realidade Aumentada contribui positivamente para o desempenho do usuário ao lidar com situações e tarefas reais. Desta forma, é possível estender a utilização de técnicas de Realidade Mista, mais especificamente de Realidade Aumentada, para áreas como a Cartografia e Geografia - áreas fortemente relacionadas à educação e aprendizagem, principalmente sobre a compreensão do espaço geográfico e seus fenômenos associados.

De acordo com Paelke e Sester (2010), aplicações de RA relacionadas à leitura de mapas são promissoras. Por extensão, a aplicação do RA para mapas pode aumentar a interatividade de visualização geográfica, uma vez que a ferramenta é capaz de proporcionar um ambiente de aprendizagem em que o utilizador percebe informações sobrepostas às áreas geográficas de forma eficiente. A combinação de um mapa impresso e computação gráfica cria uma ferramenta para um ambiente de aprendizado interativo, onde o usuário vê a informação geográfica misturada com o mapa real (ASAI et al., 2008).

Para planejadores ambientais, ecologistas, administradores de terras, legisladores, geógrafos e engenheiros, entre tantos outros, a integração do espaço geográfico, paisagem, dados e mapas é extremamente importante para um melhor planejamento e tomada de decisão. Desta forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento de sistemas de Realidade Aumentada que possam apresentar dados geográficos para ajudar os usuários a desenvolver a leitura do mapa e compreensão de dados espaciais. Ainda, os protótipos de RA concebidos

tendem a incentivar os usuários a interagir e experimentar as possibilidades de geovisualização de diversas camadas de informação sobre mapas, até mesmo sobre mapas oficiais.

Realidade Aumentada foi utilizada neste trabalho para aumentar a interatividade com os dados geográficos e experimentação individual. As informações geográficas, tais como relevo, características de solo, cobertura vegetal, população, ou mesmo dados de monitoramento ambiental podem ser, simultaneamente, apresentadas sobre o mapa impressos tradicionais de maneira a possibilitar a integração de vários dados para auxílio no processo de gestão, planejamento ou ordenamento territorial, ou, ainda mais elementarmente, no entendimento e aprendizado do espaço geográfico.

Como relatado por diversos autores, como Cheng e Tsai (2013), com a capacidade de infundir informação digital no mundo real, a RA pode ser muito útil para o ensino de ciências. Mas, também, como indicado por Wu et al. (2013), enquanto RA oferece novas oportunidades de aprendizagem, RA também cria novos desafios para os educadores. Assim, este trabalho trata também de avaliar algumas formas de como a Realidade Aumentada pode ajudar os usuários com a interação de dados geográficos e nas tarefas de mapa de leitura. Afinal, conforme Azuma et al. (2001), o desafio de um sistema de RA é a aceitação social e, até aquele momento (e é possível afirmar que atualmente também), pouca atenção tem sido colocada sobre estas questões fundamentais. Sendo assim, estes temas devem ser desbravados para que a RA se torne amplamente aceita.

No entanto, existem poucos estudos na literatura que observam e analisam a interação entre os sistemas de Realidade Aumentada e usuários, especialmente no campo da Cartografia. Com isso, desenvolveu-se a presente pesquisa a fim de se desenvolver protótipos utilizando-se de diferentes metodologias e contribuir para a pesquisa da Realidade Aumentada para Cartografia, sobretudo no Brasil.

Neste trabalho apresentam-se discussões a respeito de uma forma específica de Realidade Aumentada usada para a visualização de modelos e informações virtuais superpostos a mapas impressos, assim como desenvolvimento protótipos de RA e estudos com usuários para análises como motivação, atenção, esforços, eficiência, acurácias, preferências, etc. Desta forma, este trabalho aborda a questão se uma aplicação de Realidade Aumentada pode ajudar seus usuários no processo de leitura e aprendizagem de mapas, de dados e do espaço geográfico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica, primeiramente, pelas potencialidades (relatada por diversos autores e a ser estudada ao longo deste trabalho) de interação e imersão que sistemas de Realidade Aumentada podem oferecer aos seus usuários, sobretudo, com mapas e dados geográficos, assim como assessorar na melhor compreensão dos dados e espaço geográfico. Ainda, devido à evolução constante de dispositivos capazes de suportar RA, abrem-se novas possibilidades de desenvolvimento e implementação a serem exploradas, como a utilização de dispositivos móveis como *smartphone* e *tablets*, capazes de suportar RA com dados em formato vetorial, *raster*, 2D, 3D, animações, etc.

Somado a isto, tem-se a escassa literatura a respeito de testes com usuários de Realidade Aumentada, ainda mais quando se direciona para Cartografia e dados geográficos, o que faz com que este trabalho ser de grande contribuição para estas ciências. Ainda, muito pouco deste tema de Realidade Aumentada, mapas impressos e dados geográficos foi abordado, especialmente no Brasil.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a utilização de Realidade Aumentada no campo específico da Cartografia, com enfoque na sobreposição de dados geográficos virtuais aos mapas impressos tradicionais. Pretende-se, assim, avaliar como estes sistemas de Realidade Aumentada podem contribuir no entendimento e leitura de dados espaciais. Também, atenta-se ao estudo de como as vantagens da RA – como a maior imersividade e interatividade – podem trazer melhores ganhos de conhecimento em relação à utilização apenas dos tradicionais mapas impressos para entendimento do espaço geográfico.

A hipótese que se levanta é a seguinte: Se Realidade Aumentada tem elementos suficientes para resultar em um processo de geovisualização mais eficaz, então, o usuário seria capaz de resolver tarefas de leitura de mapas com maior facilidade, com maior interatividade e motivação. Também, outra questão relacionada é se a experiência anterior do

usuário com manipulação de dados geográficos alteraria a interação e contribuições que os sistemas de Realidade Aumentada poderiam oferecer aos mesmos, uma vez que usuários mais experientes tenderiam a já estar mais familiarizados com ferramentas tradicionais, como a utilização do próprio mapa impresso.

Desta forma, este estudo descreve a construção e avaliação de protótipos de sistema de Realidade Aumentada para tarefas de leitura de mapas e interação com dados geográficos, assim como determinar se os sistemas de RA fornecem melhoria real para seus os usuários ajudando-os a resolver problemas relacionados às tarefas de leitura de mapa e entendimento do espaço geográfico.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Com isso, os objetivos específicos do trabalho são:

a) Desenvolver protótipos para ambientes fixos (como *Desktop*) e dispositivos móveis (como *tablets* e *smartphones*), com metodologias de rastreio com e sem a utilização de elementos externos aos mapas, como marcadores fiduciais;

b) Desenvolver aplicações para diversos tipos de mapas impressos, como mapas oficiais, topográficos ou temáticos;

c) Desenvolver diferentes funcionalidades para os protótipos de RA, como: apresentação de dados em 2D e 3D, sobreposição de camadas digitais, funções como transparência, animação, *timelapse*, imagens obliquas e vistas perspectivas, etc.;

d) Analisar protótipos com execução de testes com usuários, em especial associados às tarefas de leitura de mapas;

e) Avaliar a influência de conhecimento prévio e experiência dos usuários sobre a interação com sistemas de Realidade Aumentada;

f) Avaliar questões como motivação, atenção, esforço, eficiência, acuraria, tempo de resposta e preferência por parte dos usuários ao trabalharem com sistemas de Realidade Aumentada em relação à utilização de mapas impressos tradicionais.

# Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 A REALIDADE AUMENTADA

Na década de 1990, o termo Realidade Aumentada (RA) foi originado por Caudell e Mizell, em 1992, que estavam desenvolvendo um sistema que misturava gráficos virtuais em um ambiente real para ajudar eletricistas de aeronaves da Boeing com conjuntos de cabos. Entretanto, os primeiros protótipos de RA apareceram na década de 1960, criados por Ivan Sutherland e seus alunos na Universidade de Harvard e na Universidade de Utah para apresentar gráficos em 3D (AZUMA, 1997).

A Realidade Aumentada pode ser definida como a mistura de percepção sensorial do ambiente real e objetos virtuais, sendo possível imergir e interagir de forma natural tanto com o ambiente real como os objetos virtuais, a fim de melhorar os sentidos e habilidades de seus usuários (AZUMA, 1997; BOBRICH e OTTO, 2002; KÁN E KAUFMANN, 2012). De acordo com Amin e Govilkar (2015), a Realidade Aumentada é capaz de aumentar a percepção dos usuários do mundo real, enriquecendo o que veem, sentem ou ouvem no ambiente real. Sendo que, de acordo com Nilsson e Johansson (2008), a característica principal de interfaces de RA é a "fusão de mundos", acrescentando informação virtual ao mundo real. E, com esta "fusão dos mundos" que RA pode proporcionar, o usuário pode interagir naturalmente com ambos - o ambiente real e os objetos virtuais.

A coexistência de objetos virtuais e do ambiente real constitui uma Realidade Mista (RM), onde os usuários podem interagir com o ambiente e informações virtuais a partir de sistemas apropriados e em tempo real (ARVANITIS et al., 2009). De forma a melhor situar o espaço entre o ambiente real e virtual, Milgram et al. (1994) definiram um *continuum* de ambientes (real para virtual), em que a Realidade Aumentada (RA) é uma parte da Realidade Mista (RM). A Figura 2.1 traz uma representação deste *continuum*.

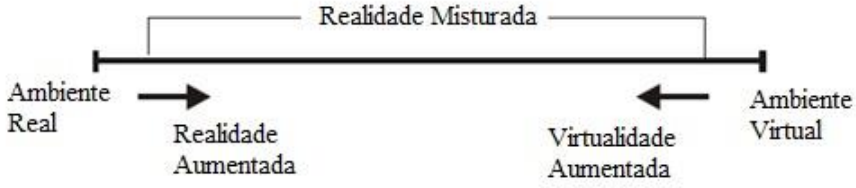



Figura 2.1 – *Continuum* entre Realidade – Virtualidade. Fonte: Milgram et al. (1994).

Tecnologias de Realidade Virtual (RV) completamente inserem os usuários em um ambiente totalmente virtual e sintético onde os usuários, quando imersos, não podem ver o mundo real ao seu redor. Por outro lado, RA permite aos usuários ver o ambiente real reforçado (ou "aumentado") com objetos virtuais. Assim, um sistema de RA fornece o cenário do mundo real com objetos virtuais inseridos, produzindo uma cena onde mundo real e objetos virtuais são combinados (AZUMA, 2001). E, além disso, de acordo com Bobrich (2003) e Bobrich e Otto (2002), para alcançar uma impressão realística, a combinação de cenas reais e virtuais deve ser feita em tempo real, para que os seus usuários possam interagir com o real e objeto virtual simultaneamente.

Embora definida no início da década de 1990 (Caudell e Mizell, 1992), a exploração da pesquisa e do desenvolvimento precoces foi dificultada pela falta de capacidade de processamento. No entanto, desde 2007, impulsionada em grande parte pelo crescimento do mercado de *smartphones*, a Realidade Aumentada começou a alcançar seu potencial (PAPAGIANNAKIS et al., 2008). Além de displays de alta resolução, *smartphones* e outros dispositivos móveis agora têm o poder de processamento necessário para detectar objetos e eventos no mundo real e sobrepor informações adicionais para o usuário (WOOD e MCCRINDLE, 2012).

Além disso, estes novos desenvolvimentos permitem novas experiências de usuário e novas formas de interação com objetos reais e virtuais. Áreas como medicina, indústria, visualização científica, aplicações militares, entretenimento e outros campos têm usado Realidade Aumentada, a fim de facilitar a vários conjuntos de tarefas (AZUMA, 1997; BOBRICH, 2003).

### 2.1.1 Diversidade de áreas de aplicação de Realidade Aumentada

O uso potencial da tecnologia de Realidade Aumentada tem sido associado com quase todos os setores da vida, como o trabalho e negócios, aprendizado e educação, lazer e entretenimento (OLSSON e SALO, 2011). Por exemplo, como relatado por Azuma (1997), a RA pode ser útil para tarefas gerais de visualização médica na sala cirúrgica. Os cirurgiões podem detectar algumas características a olho nu, que eles não podem ver em exames, e vice-versa. A RA neste caso poderia dar acesso a ambos os tipos de dados simultaneamente. RA também pode ser útil para fins de treinamento, onde as instruções virtuais poderiam lembrar

um médico em treinamento dos passos necessários, sem a necessidade de olhar para longe de um paciente para consultar um manual.

No campo militar, aviões e helicópteros militares têm usado a RA para sobrepor gráficos vetoriais sobre a visão do piloto do mundo real. Além de fornecer informações básicas de navegação e voo, estes gráficos são, por vezes, registrados com alvos no ambiente real, proporcionando uma maneira de apontar armas da aeronave. Ainda, diversas aplicações têm surgido em carros, onde as informações como velocidade, ou mesmo trajetórias de navegação, são apresentadas diretamente no para-brisa do carro, sem a necessidade do motorista desviar sua atenção da pista.

Van Krevelen e Poelman (2010) trazem alguns exemplos de aplicação de RA, citando como exemplo Rekimoto (1996), que apresentou NaviCam para uso interno, utilizando uma câmera de mão e marcadores fiduciais para rastreamento da posição do usuário em relação aos marcadores. Starner et al. (1997) consideraram aplicações e limitações da RA para computadores portáteis, incluindo reconhecimento facial. Narzt et al. (2003 e 2006) discutem paradigmas de navegação para pedestres e carros que sobrepõem rotas, saídas de estrada, perigos, preços dos combustíveis, etc.. Tönnis et al. (2005) investigaram RA para gerar advertências de perigo para motoristas de carro. Kim e Dey (2009) descrevem um serviço de orientação a viajantes usando dados de SIG para navegação em RA. Hollerer et al. (1999) utilizaram RA para criar documentários sobre acontecimentos históricos, enquanto Vlahakis et al. (2001) apresenta o projeto ArcheoGuide que reconstrói um patrimônio cultural em Olímpia, na Grécia, onde os visitantes podem ver e aprender sobre arquitetura antiga e costumes. Bartie e Mackaness (2006) introduziram um sistema de turismo para explorar pontos de referência na paisagem urbana de Edimburgo, que trabalha com reconhecimento de voz.

A Realidade Aumentada também pode ser aplicada na indústria do entretenimento para criar jogos, mas também para aumentar a visibilidade de aspectos importantes em transmissões esportivas. Nestes casos, onde um grande público é atingido, RA também pode servir aos anunciantes para exibir anúncios virtuais e colocação de produto. Piscinas, campos de futebol, pistas de corrida e outros ambientes esportivos são bem conhecidos e facilmente preparados para suportar RA. Um exemplo é o sistema de Fox-Trax (CAVALLARO, 1997), usado para destacar a localização de um disco de hóquei que se move rapidamente através do gelo. RA também foi aplicada para sinalizar carros de corrida, trajetórias da bola de *snooker*,

performances de nadadores, etc. Graças a ambientes previsíveis, as anotações podem ser exibidas no campo e não nos jogadores (VAN KREVELEN e POELMAN 2010).

Van Krevelen e Poelman (2010) também afirmam que ambientes colaborativos permitem integração de RA com ferramentas e práticas existentes, de forma a melhorar estas práticas em si. Benford et al. (1998) cita quatro exemplos em que a partilha de espaços podem ser aplicadas: nos diagnósticos médicos; para engenheiros que discutem planos e o progresso de dados; planejadores ambientais que discutem dados geográficos e de desenvolvimento urbano; e salas de controle, tais como controle de tráfego aéreo que operam através de uma visualização comum.

Para maiores informações a respeito, Wang, et al. (2013) pode ser considerado uma boa referência, uma vez que este trabalho fornece uma revisão do estado da arte dos estudos sobre RA realizados entre 2005 e 2011, representando 120 artigos.

Porém, como relatado por Yuen, Yaoyuneyong e Johnson (2011), aplicativos de RA são possíveis em muitos campos, mas, talvez, as possibilidades inerentes no campo da educação podem ser consideradas as mais interessantes. De acordo com Ternier et al. (2012), a combinação de recursos de Realidade Aumentada móveis e situações educativas oferece oportunidades únicas para relacionar conjuntos de dados espaciais abstratos. Ainda, para Arvanitis et al. (2009) e Cheng e Tsai (2013), tecnologias de aprendizagem em vários campos da ciência têm demostrado melhorias na compreensão conceitual pelos seus utilizadores.

Como os *smartphones* continuam a se tornar mais onipresente e com preços razoáveis, o número de potenciais utilizadores de aplicações RA aumenta significativamente (OLSSON e SALO, 2011). A ampla disponibilidade destes dispositivos também reduz significativamente os custos de investimento associados à educação com aplicações tecnológicas para a sala de aula.

### 2.1.2 Características pedagógicas

Com já relatado anteriormente, a Realidade Aumentada possibilita uma interação entre o ambiente real e virtual. Também, é capaz de tornar o processo de execução de uma tarefa ou aprendizado mais interativo ou motivador. Com isso, seja tratando apenas da Realidade Aumenta ou mesmo, da Realidade Aumentada associada a mapas e dados geográficos, existe um grande apelo pedagógico de tal ferramenta.

De acordo com Kesim e Ozarslan (2012), embora o mundo físico seja tridimensional, usam-se tradicionalmente meios bidimensionais na educação. A combinação da tecnologia RA com o conteúdo educacional cria um novo tipo de aplicações e atua para aumentar a eficácia e atratividade do ensino e da aprendizagem para os alunos em cenários da vida real. RA oferece recursos exclusivos, combinando mundos físicos e virtuais, com controle contínuo e implícito do usuário do ponto de vista e interatividade. Estes autores fornecem uma introdução à tecnologia da RA e suas possibilidades de educação, as principais tecnologias e métodos também são discutidos no trabalho para o contexto da educação.

Cheng e Tsai (2013) afirmam que várias aplicações de RA foram concebidas para a aprendizagem de ciências. Para o ensino de química inorgânica, a configuração RA baseada em imagem em uma sala de aula multimídia poderia apoiar os alunos no desenvolvimento da intuição espacial em relação ao arranjo 3D de estruturas cristalinas (NÚÑES et al., 2008). Martín-Gutiérrez et al. (2010) que projetaram um livro que utiliza marcadores fiduciais e processamento de imagens e exibe na tela objetos virtuais 3D para ajudar os alunos a manipular e visualizar gráficos de engenharia e melhorar ainda mais a sua capacidade espacial. Kerawalla et al. (2006) desenvolveram um sistema de RA baseado em processamento de imagens aplicada ao ensino de Geociências em sala de aula, possibilitando aos alunos manipular as relações espaciais entre objetos 3D da Terra, Sol, e a Lua. Da mesma forma, no campo da astronomia, Shelton e Stevens (2004) que também usaram um sistema de RA baseado em imagens para fornecer uma maneira de entender o conceito de espaço e de relações Terra-Sol.

Não obstante, diversos autores também relatam que RA pode ter caráter motivacional no aprendizado, uma vez que pode estimular e empolgar seus usuários. Di Serio, Ibáñez e Kloos (2013) afirmam que, na área educacional, pode-se definir a motivação como o desejo do aluno de se envolver em um ambiente de aprendizagem. Em seu estudo, estes autores afirmam que estas características especiais da tecnologia de RA tiveram um impacto positivo sobre a motivação dos alunos. Segundo eles, foi notada uma clara melhoria na atenção, satisfação e motivação para o ambiente de aprendizagem baseado na tecnologia de Realidade Aumentada em comparação com um ambiente de aprendizagem mais tradicional. Estes resultados foram confirmados por um estudo qualitativo, onde os alunos afirmaram que um ambiente de aprendizagem RA era mais atraente e fácil de entender do que o tradicional. Estes autores também relatam fatores relevantes como aumento da concentração e

memorização. Os autores observaram que os alunos foram capazes de descrever e analisar o conteúdo com um maior nível de detalhe. Os autores creditam esta melhora aos recursos imersivos de RA, que ajudaram a manter níveis mais elevados de atenção e interesse sobre o conteúdo de aprendizagem.

## 2.2 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DE EQUIPAMENTOS PARA SUPORTE DE REALIDADE AUMENTADA

De acordo com Milgram, et al. (1994), a Realidade Aumentada pode ser classificada em 4 grupos principais segundo o tipo de unidade de visualização utilizada:

- Sistemas ópticos transparentes (*Optical See-Trough*): Este tipo de unidade de visualização é composto por óculos transparentes, sobre os quais imagens são projetadas com ajuda de feixes laser. A vantagem de seu uso reside na viabilidade de projetar o ambiente virtual diretamente sobre a cena do mundo real percebida pelo olho.
- Sistemas ópticos opacos (*Video See-Trough*): Neste caso, uma imagem do mundo real é obtida com ajuda de uma câmara de vídeo. Esta imagem é projetada na tela de um dispositivo que tem forma de óculos, mas não é transparente, é fechado, junto com as imagens virtuais.
- Monitores convencionais (*Monitor Based*): Estes sistemas se caracterizam por utilizar monitores convencionais de computador, geralmente computadores portáteis (Laptops ou PDAs). São mais baratos e fáceis de montar, mas pouco portáteis e têm menor grau de interatividade com os movimentos da cabeça do observador.
- Projetores (*Projector Based*): Neste caso, imagens virtuais são projetadas na superfície de objetos reais.

De acordo com Schall et al. (2011), os mais utilizados são o displays de vídeos (*video-see-through*), o display óptico (*optical-see-through*), e a através de projeções (*projection*). Para se realizar estes diferentes métodos, vários componentes de *hardware* podem ser usados.

Os sistemas de RA baseado em projetores projetam a informação virtual sobre o objeto ou ambiente real, sendo o usuário capaz de visualizar a informação digital diretamente sobre o ambiente real. Ou seja, quando baseado em projeção, o sistema usa os objetos do mundo real como a superfície de projeção para os ambientes virtuais. As superfícies comuns têm reflectância, cor e geometria variáveis. Limitações de dispositivos móveis, como baixa resolução e pequeno campo de visão, restrições de foco e questões ergonômicas podem ser superadas em muitos casos pela utilização da tecnologia de projeção. Como exemplo destes tipos de sistemas, pode-se citar aplicações como os Sandbox, que consistem de caixas de areia onde o usuário pode interagir com a areia, criando montanhas, vales, etc. e o sistema projeta curvas de nível, cores hipsométricas, rios, etc.

Os monitores montados na cabeça (HMD - *Head mounted display*) são usualmente usados pelo usuário em sua cabeça e fornecem dois dispositivos de geração de imagem, um para cada olho. Estes dispositivos ainda podem ser de característica óptica (*Optical see-through* HMD) que usa um HMD transparente para misturar conteúdo virtual e real. Sistemas transparentes ópticos permitem ao usuário ver através do display o mundo real inseridas informações digitais. Um exemplo deste tipo de sistema seria o *Google Glass*. Também, estes dispositivos HMD podem ser através de vídeo (*video-see-through* HMD), que usam um HMD opaco para exibir um vídeo capturado a partir de câmeras mesclado com ambiente virtual no HMD (SCHALL et al., 2011). Um exemplo deste tipo de display seria o *Óculus Rift*.

Com os sistemas de vídeos, os usuários podem visualizar a informação através dos mesmos, mas necessitam que a cena real seja registrada por uma câmera e, então, a informação virtual é fusionada à cena e apresentada no display, como a tela de um computador ou *smartphones* e *tablets*. Com o advento de dispositivos portáteis com câmeras, a metáfora *video-see-through* foi amplamente adotada para sistemas RA proporcionando visões aumentadas ou "visão de raios-X" para o usuário. Consequentemente, os displays portáteis de RA também usam a abordagem de *video-see-through*.

Arth et al., (2015) resumem os principais marcos da Realidade Aumentada móvel entre 1968 e 2014. Segundo os autores, a Realidade Aumentada Móvel evoluiu largamente ao longo da última década, bem como a própria interpretação do que é a Realidade Aumentada Móvel. A primeira instância de RA móvel pode certamente ser associada com o desenvolvimento de RA portátil, num sentido de experimentar RA durante a locomoção. Com a transformação e miniaturização de dispositivos físicos e displays, o conceito de RA móvel

evoluiu para a noção de "dispositivo móvel", também conhecido como RA em um dispositivo móvel.

## 2.3 MÉTODOS E BIBLIOTECAS PARA SUPORTE DE REALIDADE AUMENTADA

Nos últimos anos, o campo de RA mudou radicalmente à medida que a tecnologia se tornou mais acessível aos consumidores e as empresas começaram a colocar mais recursos no desenvolvimento de produtos RA comerciais. No entanto, RA ainda é um campo muito jovem e não existem ainda padrões definidos de processos de desenvolvimento, uma vez que a tecnologia está mudando rapidamente as possibilidades e removendo ainda mais as limitações da tecnologia, como também já havia sido relatado por Ortman e Swedlund (2012).

Schall et al. (2011) argumentam que dispositivos de rastreamento são necessários para entregar todos os Seis Graus de Liberdade (6DOF - *Six Degrees Of Freedom*) com precisão para determinar a localização e a orientação de um usuário para que se possa adicionar as informações virtuais. Existe, porém, uma ampla gama de tecnologias de rastreamento.

Uma técnica amplamente adotada para RA é o rastreamento óptico, que usa câmeras de vídeo e software avançado de visão computacional para detectar alvos, ou marcadores, na imagem da câmera e calcula sua posição e orientação. Além disso, as estratégias de rastreamento sem marcadores dependem da detecção de recursos naturais no ambiente e não precisam de nenhuma infraestrutura física. O rastreamento óptico pode ser aplicado em ambientes internos e externos.

Para aplicações externas, o Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*), ou atualmente o GNSS (*Global Navigation Satellite System*), é o sistema de rastreamento predominante para estimativas de posição. Normalmente, os receptores GPS e GNSS são combinados com sistemas inerciais e bússolas magnéticas também fornecendo a orientação do usuário.

Além disso, para ambientes internos também podem ser utilizados sensores infravermelhos (IR - *infrared*) ou *Ultra Wide Band* (UWB) e outros sensores tais como rastreadores eletromagnéticos ou por radio frequência (RFID – *Radio Frequency Identification*) para monitorar a posição e atitude do usuário (SCHALL et al., 2011).

Para que os sistemas de Realidade Aumentada sejam capazes de transmitir esta inserção de objetos virtuais no ambiente real, é importante que os elementos virtuais sejam renderizados e alinhados na cena de uma maneira precisa e visualmente aceitável. A solução desse problema pode estar relacionada a uma estimativa de pose ou atitude do usuários ou, de forma equivalente, a um processo de localização de câmera. Marchand, Uchiyama e Spindler (2016) tiveram como objetivo apresentar uma breve introdução às abordagens mais importantes dedicadas à localização da câmera baseada em visão computacional, juntamente com um levantamento de várias extensões propostas nos últimos anos. Segundo os autores, o objetivo ao desenvolver aquela pesquisa foi produzir um guia para pesquisadores, profissionais e estudantes envolvidos no desenvolvimento de aplicações de RA.

Embora o registro baseado em visão computacional ainda seja um problema difícil, soluções bem estruturadas podem agora ser propostas aos usuários finais e aplicações reais ou industriais. Enquanto isso, muitas bibliotecas de software de código aberto (como: OpenCV, ViSP, Vuforia, ...) e SDK (*Software Development Kit - kits de desenvolvimento de software*) comercial (como: Metaio, Wikitude, AugmentedPro, Diotasoft, ...) foram produzidos oferecendo aos desenvolvedores interfaces mais acessíveis e processos de registro eficientes. Desta forma, com a utilização de tais bibliotecas ou SDK, permite-se assim a prototipagem rápida de sistemas RA (MARCHAND, UCHIYAMA e SPINDLER, 2016).

Segundo Mota et al., (2016), existem diferentes bibliotecas para trabalhar com capacidades de RA. Exemplos de tais ferramentas são ARToolKit, ArUco, DroidAR, Wikitude SDK ou Vuforia. Estas ferramentas permitem o desenvolvimento de aplicações poderosas e personalizadas, mas exigem um conhecimento de linguagens de programação como Java, C #, C ++ ou JavaScript. Por outro lado, há uma série de ferramentas de criação gráfica de nível superior disponíveis na Internet. Essas ferramentas permitem que usuários não programadores criem cenas de RA modificando parâmetros dos objetos virtuais, como posição, tamanho, rotação ou marca. Exemplos desse tipo de ferramentas são Layar, Aurasma, Augment e Aumentaty. Além destas ferramentas acima, existem outras ferramentas para qualquer tipo de aplicações RA destinadas a usuários não-programadores, como o DART, ComposAR, AMIRE e MARS.

Marneanu, Ebner e Roessler (2014) avaliaram alguns frameworks para suporte ao desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada. Os frameworks avaliados são *opensource* ou foram adquiridos sob Licença Acadêmica. Segundo os autores, a pergunta que

conduziu a esta pesquisa foi "Qual é atualmente o melhor framework aberto para o desenvolvimento de um aplicativo móvel de Realidade Aumentada?" Para esse objetivo, avaliaram *frameworks* abertos de RA para desenvolvimento móvel Android. Com base no hardware e capacidades técnicas do dispositivo de teste, três principais técnicas de rastreamento são definidas: rastreamento baseado em marcador, rastreamento sem marcação e rastreamento GPS. Os autores focaram principalmente em frameworks RA usando métodos de rastreamento visual, especificamente rastreamento sem marcadores.

Segundo Marneanu, Ebner e Roessler (2014), o rastreamento baseado em marcadores também é um método ótico, mas tornou-se obsoleto. O rastreamento sem marcadores está ganhando terreno cada vez mais contra o rastreamento baseado em marcadores, pois não requer a geração de marcadores invasivos.

Ainda, Amin e Govilkar (2015) podem ser citados com uma boa referência para consulta sobre o tema, pois apresentam um estudo comparativo de vários kits de desenvolvimento de software (*Software Development Kit* - SDK) de Realidade Aumentada disponíveis para criar aplicativos de realidade aumentada.

### 2.3.1 A biblioteca Qualcomm Vuforia

Vuforia é uma estrutura de monitoramento que permite a criação de aplicações móveis RA usando a exibição do dispositivo móvel como uma "lente mágica" em um mundo aumentado (MOSSEL et al., 2013).

Vuforia, anteriormente conhecida como QCAR, é um SDK para desenvolvimento de aplicações RA em dispositivos móveis e é compatível com Android e iOS. Vuforia dá aos desenvolvedores a possibilidade de usar marcadores 2D e 3D, que serve como pontos de referência no mundo físico real. Esses marcadores são seguidos pelo método de rastreamento interno, o que facilita a aplicação de animações ou outros gráficos gerados por computador que respondem aos marcadores (GRAVDAL, 2012).

Vuforia é um framework desenvolvido pela Qualcomm. Ele usa o dispositivo móvel como uma "lente mágica" onde a realidade e a virtualidade parecem coexistir. Objetos virtuais 3D ou 2D são colocados sobre a pré-visualização da câmara ao vivo e parecem estar estreitamente ligados ao mundo real. O suporte de reconhecimento de imagem fornecido pela estrutura Vuforia pode ser usado para alcançar uma melhor precisão de localização. Com base

na imagem da câmera, diferentes algoritmos são aplicados para detectar alvos e, após a detecção, as visualizações de Realidade Aumentada são renderizadas. O framework Vuforia é inicializado pelo controlador da câmera. Este controlador é responsável pela gestão da imagem, colocando as imagens reconhecíveis nos suportes de imagem adequados. Os modelos são processados usando funções OpenGL (BÁLINT et al., 2012).

Como o rastreamento é baseado em imagens naturais ao invés de um fiducial especialmente projetado, como com o ARToolkit, qualquer imagem que atenda a certos critérios pode, teoricamente, ser rastreada. No entanto, a imagem deve ter detalhes suficientes para que sejam detectados cantos suficientes para serem rastreados. O Vuforia rastreia cantos robustos extraídos com uma versão modificada do detector de ângulo FAST (características do teste de segmento acelerado). De acordo com Höllerer e Feiner (2004), o algoritmo de rastreamento funciona da seguinte maneira:

- A imagem desejada deve ser analisada com o detector de canto e os pontos detectados armazenados em um banco de dados. Este é o dado de referência e é usado para a detecção e rastreamento fiduciais. Isso deve ser feito antes do rastreamento começar.
- A alimentação de vídeo do dispositivo é analisada em tempo real e os pontos de correspondência entre os pontos detectados na alimentação de vídeo e nos dados de referência pré-calculados são encontrados com base na comparação dos pixels ao redor de cada canto.
- Uma vez encontrado um número suficiente de pontos correspondentes, a homografia (uma matriz de transformação projetiva) que mapeia o conjunto de pontos na imagem de referência para seus pares na alimentação de vídeo é estimada usando métodos de minimização de erros.
- A partir da homografia, a pose da câmera é estimada usando um modelo de câmera apropriado e os gráficos virtuais a serem sobrepostos sobre o vídeo recebendo as transformações, rotações, translações e perspectiva apropriadas.

Com relação aos componentes utilizados, segundo Juanes et al. (2014)**,** o SDK da Vuforia é baseado nos seguintes componentes:

- Câmera - O componente da câmera garante que cada imagem é capturada eficientemente e enviada ao rastreador que o identifica. O aplicativo só precisa iniciar a câmera para iniciar e parar o reconhecimento de imagem.
- Conversor de Imagem - O conversor de formato de pixel transforma o formato da câmera em um formato adequado para OpenGL ES e para o acompanhamento interno. Esta conversão também inclui redução de resolução, de modo que a imagem da câmera, dada resoluções diferentes, se adapta ao sistema.
- Rastreador - O componente rastreador tem os algoritmos de visão computacional que identificam e rastreiam objetos do mundo real no vídeo da câmera. Com base na imagem da câmera, diferentes algoritmos são responsáveis pela identificação de imagens ou novos marcadores. O rastreador pode carregar vários conjuntos de dados ao mesmo tempo e ativá-los.
- Banco de dados do dispositivo - As imagens ativas são carregadas em um banco de dados dentro do dispositivo móvel que possui um arquivo de configuração XML permitindo que o desenvolvedor configure certas características rastreáveis e um arquivo binário que tenha o banco de dados de imagens. Esses arquivos são montados pelo desenvolvedor de aplicativos no pacote de instalação e no aplicativo de tempo de execução usado pelo SDK Vuforia.
- Banco de dados em nuvem - O banco de dados em nuvem pode ser criado usando o serviço no site da Vuforia. O aplicativo usa a função de reconhecimento na nuvem e faz uma busca visual das imagens enviadas da câmera.
- Reconhecimento de imagem - Ao contrário dos marcadores tradicionais, códigos de matriz de dados e códigos QR, as imagens utilizadas não necessitam de áreas especiais em preto ou branco ou códigos para serem reconhecidas. O SDK da Vuforia utiliza algoritmos para identificar e rastrear as características naturais encontradas na própria imagem. Vuforia reconhece a imagem comparando essas características naturais com os registros da base de dados criada. Uma vez que a imagem de destino é identificada, o sistema fará um acompanhamento de imagem, desde que esteja pelo menos parcialmente dentro do campo de visão da câmera.

Ou seja, a biblioteca Vuforia processa, inicialmente, o fluxo de vídeo ao vivo da câmera do tablet. Para fornecer a funcionalidade "see-through" da interface, Vuforia processa

o fluxo de vídeo não modificado como o plano de fundo para a subsequente renderização das informações virtuais. A detecção de recurso é então realizada no vídeo usando um algoritmo SIFT modificado e processada com o objeto virtual. Os resultados de rastreamento são transmitidos ao processador gráfico como um cálculo de pose. Este cálculo de pose consiste em uma matriz de transformação que especifica a pose da câmera em relação aos objetos ou imagens no mundo real (VANONI et al., 2012).

De acordo com Shatte, Holdsworth e Lee (2014), embora existam vários frameworks RA disponíveis para programação móvel, o protótipo desenvolvido por eles utiliza Vuforia devido à sua natureza sem licença, o que permite um desenvolvimento simples. Os resultados indicaram que a RA móvel baseada é uma ferramenta promissora para o gerenciamento de bibliotecas sensíveis ao contexto.

Newton et al. (2012) apresentam o uso de uma realidade aumentada móvel para navegação e visualização do cemitério de Bukit Brown (BBC). Rastreamento de recurso natural é usado para reconhecer cada lápide para eliminar a necessidade de modificações físicas para cada túmulo. As técnicas de agrupamento de terreno baseadas em GPS assim como reconhecimento e rastreamento por vídeo. O sistema foi implementado na plataforma Android. As características naturais dos túmulos e o conteúdo cultural que os acompanha são armazenados apresentados. O Vuforia SDK da Qualcomm foi utilizado para acompanhamento de recurso natural. De acordo com os autores, o sistema será usado para visualizar o valor patrimonial do cemitério e preservar informações importantes sobre cada lápide na BBC.

Zarzuela et al. (2013) desenvolveram um novo Jogo Sério com Realidade Aumentada para crianças e pessoas com deficiência. Uma plataforma baseada em um zoológico foi criada. Com esta aplicação, os usuários podem aumentar seus conhecimentos sobre um tema específico, neste caso, os animais. Foram criados vários elementos 3D de acordo com o tema. O sistema utiliza-se do Vuforia SDK para suporte à RA.

Höllerer e Feiner (2004) desenvolveram um sistema de música baseado em RA. A implementação em si foi realizada usando uma série de pacotes de software, dentre eles a biblioteca Qualcomm Vuforia.

Wei et al., (2015) relatam que a criatividade dos estudantes está atraindo uma atenção considerável. Segundo eles, um número crescente de escolas secundárias na China está tentando melhorar a motivação e criatividade dos alunos, bem como a eficiência de ensino, introduzindo a Realidade Aumentada. Para abordar estes problemas, apresentaram um

esquema geral de ensino de design criativo técnico que inclui RA. Esta abordagem é baseada no modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação) de design motivacional, psicologia social e um modelo computacional de criatividade. Utilizam-se também do Vuforia para suporte à RA. Os resultados do estudo piloto mostram que o esquema de ensino proposto melhora significativamente a motivação da aprendizagem, a criatividade dos alunos e o ensino do design criativo.

Imbert et al. (2013) utilizaram Vuforia para desenvolvimento da RA, e usando 8 marcadores, criaram 8 peças de quebra-cabeça virtuais 3D. Segundo eles, esta experiência de montagem virtual usando RA é apenas um exemplo que pode ser modificado para muitas aplicações, como em educação, indústria, entretenimento e etc. O conceito pode ser implementado para experiências que são perigosas ou dispendiosas de configurar. Os experimentos relacionados à interação entre objetos, como experiências física e química, engenharia e formação médica são os principais alvos para a utilização deste tipo de tecnologia.

Alguns outros exemplos de trabalhos que utilizaram-se do Vuforia para suporte à RA são listados a seguir. Vanoni et al. (2012) apresentaram a implementação e aplicação do ARtifact, um sistema de Realidade Aumentada que permite a análise visual de artefatos antigos. Para realizar o rastreamento de recursos naturais, foi utilizada a biblioteca Vuforia para analisar uma foto do artefato. Juanes et al. (2014) apresentaram uma ferramenta que, a partir de um atlas de anatomia é possível visualizar modelos tridimensionais e dinâmicos para ajuda no processo de aprendizagem do aluno. Nguyen et al., (2016) apresentaram BeamViewer, um sistema de Realidade Aumentada para ajudar a visualizar e capturar os padrões de radiação de antenas em tempo real. Daiber, Kosmalla e Krüger (2013) abordaram a questão de como a tecnologia móvel pode ser usada para treinamento colaborativo em escalada. O sistema foi implementado para a plataforma Android utilizando-se do Qualcomm Vuforia SDK. Também, Kim e Kim (2014) implementaram um sistema de RA que destina-se a transmitir modelos tridimensionais ou vídeos para os consumidores através de outdoors ou flyers.

## 2.4 A REALIDADE AUMENTADA E PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Os mapas de papel foram usados durante séculos, e continuam sendo utilizados atualmente, são relativamente sem restrições de tamanho ou peso, baratos de produzir e fáceis de manipular, dobrar e armazenar (REILLY et al., 2006). Mapas tradicionais impressos podem ser utilizados para visualizar características do terreno e/ou outras informações geográficas. Além disso, a interação é intuitiva devido à manipulação direta. Eles oferecem alta resolução, informações em larga escala e sem consumo de energia. Mapas impressos exibem informações de alta densidade, possibilitando tanto a visão geral como uma visão mais detalhada sobre uma área. (ASAI et al., 2008).

Entretanto, estes mapas tradicionais são concebidos para visualizar fenômenos espaço-temporal de uma forma plana, bidimensional, e são estáticos, não reagindo dinamicamente sobre o comportamento do usuário (BOBRICH, 2003) ou de forma a coincidir com interesses em evolução do usuário (ASAI et al., 2008). Os mapas de papel são úteis para muitas tarefas, mas não têm as propriedades dinâmicas e interativas como os mapas digitais.

Os mapas digitais, por outro lado, apresentam um elevado potencial para a apresentação, atualização e representação de conteúdo dinâmico, podendo ser mais facilmente adaptado para determinado usuário. Os mapas digitias podem oferecer suporte à determinação de rotas, cálculos e análises, fornecer dinamicamente animações e representações mais detalhadas, até mesmo atualização em tempo real (PAELKE e SESTER, 2010).

Contudo, existe a possibilidade de “aumentar” um mapa impresso tradicional para mais do que suas duas dimensões, utilizando a Realidade Aumentada (BOBRICH e OTTO,2002; BOBRICH, 2003). De acordo com Paelke e Sester (2010), esta integração de mapas em papel e dispositivos eletrônicos combina os respectivos benefícios, tanto dos mapas tradicionais impressos como dos mapas e informações digitais, e, portanto, apresentam-se altamente atraentes. Neste tipo de integração (Realidade Aumentada, mapas impressos e dados geográficos virtuais), o objetivo é, portanto, a concepção de um sistema que explora os benefícios de dispositivos eletrônicos, adicionando camadas de informação virtual sobre os mapas em papel.

Se por um lado, o usuário pode interagir diretamente com um mapa em papel de uma forma natural e familiar, como todos os outros objetos físicos presentes no ambiente real, por outro lado, há a possibilidade de aumentar as dimensões, como com a inserção de paisagens tridimensionais, ou ainda com a inserção de animações, demais camadas e objetos virtuais. A

representação dinâmica do terreno em 3D, localização de objetos virtuais, animações e interatividade são características do mundo digital que podem ser sobrepostas a um mapa impresso (ADITHYA et al., 2010). Ou seja, técnicas de RA podem ser usadas para "aumentar" um mapa em papel digitalmente.

Como a informação transmitida pelos objetos virtuais pode ajudar o usuário a executar tarefas do mundo real, a Realidade Aumentada aplicada à Cartografia pode aumentar a interatividade na visualização geográfica. Isto porque esta ferramenta tem capacidade de proporcionar um ambiente de aprendizagem onde o usuário visualiza informações de forma eficiente sobre superfícies geográficas, também melhorando a eficácia de apresentações multimídia (ASAI et al., 2008).

Como Reilly et al. (2006) afirmaram, o "melhoramento" dos mapas em papel através da sua combinação com dados virtuais é atraente porque os mapas por si só já são artefatos do mundo real que são uma fonte de informação. Paelke e Sester (2010) enfatizaram que a Realidade Aumentada e mapas mostram características em uma visualização interativa, e abrem possibilidades interessantes que precisam ser mais exploradas.

Segundo Edsall (2007), mapas que incorporam elementos de interatividade permitem evadir as limitações dos mapas tradicionais, assim como permitem que sejam feitas importantes conexões entre diferentes variáveis e diferentes formas de representação. Ou seja, a adição de certas funcionalidades relativas à interatividade ao mapa pode conferir maior efetividade e utilidade ao mesmo. Robertson (1994) complementa este raciocínio, sugerindo ainda que a interatividade não apenas ativa o conhecimento pré-existente, mas que também pode ser usada para construção de novos conceitos e informações.

Com a Realidade Aumentada, pode-se também incluir informações históricas ou simulações e previsões de cenários futuros sobre o mapa impresso (como fronteiras históricas ou informações de previsão do tempo), ou informações que, por alguma razão, são invisíveis para o usuário. E, além disto, como afirmado em Bobrich e Otto (2002), cada usuário pode interagir com o mapa em seu próprio jeito e, por exemplo, ativando novas camadas ou obter informações adicionais.

Além disso, segundo Schall et al. (2011), o uso da RA tem um grande potencial para aplicações geoespaciais, sendo importante a possibilidade de RA fornecer mecanismos mais intuitivos para a interação com os dados espaciais, fornecendo mais subsídios para a interpretação entre o ambiente real e representações abstratas de mapa. Também, Schöning,

Krüger e Müller (2006) afirmam que estas possibilidades que a Realidade Aumentada pode trazer amplia a interatividade e descrevem que estes sistemas podem ser caracterizados como uma "lente mágica" que exibe informação virtual georeferenciada sobre o mapa físico impresso.

De forma a apresentar o estado da arte no que diz respeito aos trabalhos que se utilizaram de Realidade Aumentada para fins de manipulação, interação e visualização de dados geográficos e mapas (ou sistemas semelhantes a esta abordagem) é apresentada a seguir uma descrição geral dos trabalhos publicados sobre esta temática. Ainda, estes trabalhos são apresentados em ordem cronológica para análise da evolução dos trabalhos e sistemas de RA desenvolvidos. Desta forma, é possível ter um levantamento do estado da arte assim como se deu o desenvolvimento e evolução deste campo do conhecimento.

A fim de resumir os 49 trabalhos publicados, a Tabela 2.1 é apresentada. Nesta tabela é possível encontrar os autores e ano das publicações, os objetos reais que foram utilizados para o rastreio pelos sistemas de Realidade Aumentada desenvolvidos, bem como a metodologia de rastreio aplicada e display em que a RA foi apresentada. Ainda, é apresentado se o trabalho apresenta algum teste dos sistemas de RA propostos com usuários.

Tabela 2.1– Trabalhos apresentados nesta pesquisa.

| **Autor** | **Objeto** | **Rastreamento** | **Display** | **Teste com usuários** |
|---|---|---|---|---|
| **Ishii e Ullmer (1997)** | Mapa | Objetos | Computador Desktop | Não |
| **Ullmer e Ishii (1997)** | Mapa | Objetos | Computador Desktop | Não |
| **Verbree et al. (1999)** | Mapa | Objetos | Computador Desktop, HMD | Não |
| **McGee, Cohen e Wu (2000)** | Mapa | Linguagem multimodal (escrita e falada) | Computador Desktop | Não |
| **Billinghurst, Kato e Poupyrev (2001)** | Mapa | ARToolKit | HMD | Não |
| **McGee e Cohen (2001)** | Mapa | Linguagem multimodal (escrita e falada) | Computador Desktop | Não |
| **McGee et al. (2002)** | Mapa | Linguagem multimodal (escrita e falada) | Computador Desktop | Sim |
| **Ishii et al. (2002)** | Mapa | ARToolKit | Projetor | Sim |
| **Hedley et al. (2002)** | Mapa | ARToolKit | Computador Desktop, HMD | Não |
| **Bobrich e Otto (2002)** | Mapa | ARToolKit | HMD | Não |
| **Bobrich (2003)** | Mapa | ARToolKit | HMD | Não |
| **Hedley (2003)** | Mapa | ARToolKit | HMD | Sim |
| **Henrysson e Ollila (2004)** | Mapa | ARToolKit | Smartphones | Não |
| **Liarokapis et al. (2005)** | Mapa | ARToolKit | Computador Laptop | Sim |

| Autor | Objeto | Rastreamento | Display | Teste com usuários |
|---|---|---|---|---|
| **Norrie e Signer (2005)** | Mapa | Reconhecimento de pontos por infravermelho | PDA | Sim |
| **Reitmayr, Eade e Drummond (2005)** | Mapa | Imagem e objetos | Projetor | Não |
| **Reilly et al. (2006)** | Mapa | RFID | PDA | Sim |
| **Schöning, Krüger e Müller (2006)** | Mapa | ARToolKit | PDA | Não |
| **Olwal (2006)** | Mapa | Rastreamento de LED | Telefone celular | Não |
| **Rohs et al. (2007)** | Mapa | Padrão de pontos pretos impressos no mapa | Telefone celular | Não |
| **Rohs et al. (2007b)** | Mapa | Padrão de pontos pretos impressos no mapa | Telefone celular | Sim |
| **Hecht et al. (2007)** | Mapa | Padrão de pontos pretos impressos no mapa | Telefone celular | Não |
| **Schöning et al. (2007)** | Mapa | Padrão de pontos pretos impressos no mapa | Telefone celular | Não |
| **Hagbi et al. (2008)** | Mapa | Padrão de pontos pretos impressos no mapa | Telefone celular | Não |
| **Asai et al. (2008)** | Mapa | Rastreamento de símbolos específicos | Computador Desktop | Sim |
| **Uchiyama et al. (2008)** | Mapa | Intersecções | Computador Laptop | Não |
| **Schöning et al. (2009)** | Mapa | Padrão de pontos pretos impressos no mapa | Projetor | Sim |
| **Zoellner et al. (2009)** | Mapa | Rastreamento de símbolos específicos | Smartphones | Sim |
| **Harviainen, Korkalo e Woodward (2009)** | Mapa | Rastreamento de símbolos específicos | Telefone celular | Não |
| **Morrison et al. (2009)** | Mapa | Rastreamento de recortes específicos do mapa | Telefone celular | Sim |
| **Adithya et al. (2010)** | Mapa | ARToolKit | HMD | Não |
| **Paelke e Sester (2010)** | Mapa | ARToolKit | PDA | Sim |
| **Sareika e Schmalstieg (2010)** | Mapa | Objetos/imagens | Hardware específico | Sim |
| **Bergig et al. (2011)** | Mapa | ARToolKit | Smartphones | Sim |
| **Haydar et al. (2011)** | Mapa | ARToolKit | HMD | Sim |
| **Grammenos et al. (2011)** | Mapa | Objetos | Projetor | Sim |
| **Uchiyama et al. (2011)** | Mapa | Intersecções | Computador Desktop | Não |
| **Morrison et al. (2011)** | Mapa | Rastreamento de recortes específicos do mapa | Telefone celular | Sim |
| **Čopič Pucihar, Coulton e Alexander (2013)** | Mapa | Rastreamento de imagem e ambiente | Smartphone | Sim |
| **Low e Lee (2014)** | Mapa | Vuforia | Smartphone | Sim |

| Autor | Objeto | Rastreamento | Display | Teste com usuários |
|---|---|---|---|---|
| **Höllerer et al. (1999)** | Ambiente | IMU | HMD | Não |
| **Lehikoinen e Suomela (2002)** | Ambiente | GPS | HMD | Sim |
| **Gordon et al. (2002)** | Marcadores fiduciais | ARToolKit | HMD | Não |
| **Buchmann et al. (2004)** | Marcadores fiduciais | ARToolKit | HMD | Não |
| **Looser, Billinghurst e Cockburn (2004)** | Marcadores fiduciais | ARToolKit | HMD | Sim |
| **Moore e Regenbrecht (2005)** | Marcadores fiduciais | ARToolKit | HMD | Não |
| **Schmalstieg e Wagner (2007)** | Marcadores fiduciais | ARToolKit | Telefone celular | Sim |
| **Mulloni, Seichter e Schmalstieg (2011)** | Imagem | Rastreamento de símbolos específicos | Telefone celular | Sim |
| **Kincade (2014)** | Imagem | Vuforia | Tablet | Não |

A partir desta Tabela 2.1, é possível identificar algumas características do que foi predominante utilizado pelos autores e desenvolvedores como objetos a serem "aumentados", os métodos de exibição e rastreamento, e quantas vezes foram realizados testes com usuários.

Como a intenção desta seção do trabalho foi rever os artigos que tratam do tema de Realidade Aumentada, dados geográficos e mapas, o tipo predominante de objeto utilizado para rastreio e sobreposição da informação foi o mapa (40 obras de 49 apresentadas). Algumas outras obras também foram citadas nesta revisão que se mostraram semelhantes, mas não necessariamente sobrepuseram informação virtual sobre um mapa.

Por exemplo, é possível identificar algumas semelhanças entre os trabalhos que utilizaram apenas os marcadores fiduciais para rastreio, como Buchmann et al. (2004); e trabalhos que utilizaram-se do mapa impresso, mas como marcadores fiduciais nos cantos do mapa, como Bobrich (2001). Estes trabalhos apresentam o mesmo princípio, onde os marcadores eram rastreados pela sistema de RA e a informação digital era apresentada. Contudo, os trabalhar que utilizaram o mapa com os marcadores ainda tem a vantagem de que os usuários poderiam consultar o próprio mapa impresso, uma vez que este já é uma fonte de informação, como afirmou Reilly et al. (2006).

Para as metodologias de rastreio, existem alguns métodos e abordagens diferentes utilizadas pelos trabalhos e autores. O mais método mais utilizado é o de técnicas de processamento de imagens e visão computacional, se comparado com outros métodos como RFID. Neste tipo de rastreamento através de técnicas de processamento de imagens e visão

computacional, a biblioteca ARToolKit foi a mais utilizada (18 obras de 49 apresentadas). Além disso, há outros de processamento de imagem, como a identificação de pontos de absorção de luz infravermelha impressos nos mapas, assim como matrizes e grelhas de pontos pretos impressos nos mapas, entre outros.

Com relação às metodologias de rastreio é possível ver a evolução no sistema de Realidade Aumentada desenvolvidos. Entretanto, a evolução mais visível está nos sistemas utilizados para apresentação e visualização da Realidade Aumentada. Existem vários dispositivos que têm sido usados em sistemas de RA para exibir os dados virtuais. Estes dispositivos eram, inicial e essencialmente, computadores (desktops e laptops), HMD (*Head Mounted Display*), passando para dispositivos móveis portáteis como Assistente Pessoal Digital (PDA – *Personal Digital Assistant*), telefones celulares, *smartphones* e *tablets*.

É possível ver uma tendência na evolução de plataforma e sistemas de RA, provavelmente guiado pelo aumento da capacidade computacional que ocorrem ao longo destes anos, principalmente em dispositivos pessoais e móveis, e direcionada para os aparelhos móveis portáteis para apoiar os sistemas de RA e para exibir a informação virtual.

Em resumo, a maioria das obras utilizadas técnicas de processamento de imagens e visão computacional para rastrear os mapas. O ARToolKit foi predominante e fortemente utilizado neste tipo de técnicas de rastreamento de visão computacional. Também foi possível identificar a tendência de migração de dispositivos onde a informação virtual foi exibido, onde era mais comum no início de usar computadores, projetores e HMD; e movendo-se em direção aos dispositivos portáteis móveis, como PDA, *smartphones* e *tablets*.

Além disso, como também indicado por Rohset et al. (2007), muitas aplicações têm sido propostas que incidem sobre a combinação de mapas em papel e dispositivos móveis. A característica comum de muitas destas aplicações é a utilização de dispositivos portáteis para sobrepor informação georeferenciada sobre o mapa físico. Ainda, como também comentado por vários autores, a utilização dos dispositivos móveis portáteis, é possível alcançar uma abordagem semelhante à uma “lente mágica”, onde o conteúdo virtual é exibido através destes dispositivos portáteis e oferecendo aos usuários uma maneira mais natural de manipular e navegar sobre o mapa impresso e informação digital.

No total, 49 trabalhos de pesquisas que utilizaram-se de sistemas de Realidade Aumentada, mapas e dados geográficos foram analisados. A partir deste levantamento, é possível afirmar que apenas 23 fizeram algum tipo de teste de usuário. Em outras palavras,

46,9% das pesquisas utilizando Realidade Aumentada e mapas executaram algum tipo de teste de usuário. Ainda, caso avaliado apenas os trabalhos que utilizaram-se de mapas físicos para apoio da RA, 47,5% (19 de 40) executou alguma forma de experimentação com usuários.

Ou seja, menos da metade dos trabalhos incluíram testes de usuário. Além disso, é possível indicar não existe um protocolo específico para os testes com usuários executados. Os testes com usuário utilizados nestas obras variaram de uma análises simples até as mais complexas. Estas análises variaram desde apenas se os usuários gostou do seu sistema, até algum estudo cognitivo ou a colaboração entre grupos de usuários ao usar os sistemas de RA para resolver determinadas tarefas.

## 2.5 TESTES COM USUÁRIOS

De acordo com Marchand, Uchiyama e Spindler (2016), na última década tem-se visto o desenvolvimento de muitas empresas envolvidas em RA. No entanto, poucos aplicativos excepcionais surgiram. Ainda assim, a maioria dos sistemas propostos são protótipos. Escalabilidade das soluções, usuários finais e aceitação do mercado são claramente áreas de melhoria potencial que devem ser consideradas por acadêmicos e indústrias.

Azuma (1997) já havia reconhecido que a Realidade Aumentada é um campo promissor para estudos psicofísicos, sendo ressaltado por ele a necessidade de experimentos psicológicos que exploram problemas de desempenho em questões sobre percepção. Porém, além de perguntas sobre percepção, experiências psicológicas que exploram problemas de desempenho também são necessários. Este autor também afirma que a percepção do usuário é o objetivo a ser alcançado por um sistema de Realidade Aumentada e que é necessário determinar se RA é uma verdadeira solução para as aplicações propostas. De acordo com o mesmo autor, embora a transferência de tecnologia não seja um assunto de trabalhos acadêmicos, este é um problema real, e que preocupações sociais e políticas não devem ser ignoradas durante as tentativas de se transferir RA para fora do laboratório de pesquisa e chegar às mãos de usuários reais.

Com isso, Realidade Aumentada deveria ser uma tecnologia centrada no ser humano, sendo extremamente importante considerar como um usuário percebe o mundo no qual ele

está interagindo. Desta forma, Ortman e Swedlund, (2012) relatam que é importante colocar o usuário em primeiro lugar ao projetar sistemas de RA.

Swan e Gabbard (2005) afirmam que, justamente por a RA ser um meio tão atraente, com muitos usos potenciais, há uma necessidade de desenvolver sistemas de RA centrados no usuário. Estes mesmos autores afirmam que ainda é necessário é extensa análise de domínio centrado no usuário para continuar a identificar os requisitos de tecnologia, interface e a interação com o usuário. Essas atividades, por sua vez, vão ajudar identificando desafios de design de interface de usuário e questões de percepção associadas ao interesse.

Azuma (2001) afirma que o verdadeiro desafio de um sistema de RA é a aceitação social e – já desde aquela época – menos atenção é dada a estas questões fundamentais. De acordo com ele, é preciso entender melhor os fatores humanos relacionados com os efeitos do uso dos sistemas de RA para que RA se torne amplamente aceita. Ou ainda, que a meta de longo prazo da pesquisa seja que RA se torne plenamente utilizáveis e amigáveis aos usuários (*user-friendly*).

De acordo com Wang et al. (2013), devido às características únicas de sistemas de RA, como a portabilidade, a mobilidade, carga de informação, congruência, carga cognitiva e assim por diante, a tecnologia atual para avaliação de sistemas de informação ainda não fornece técnicas para definir formalmente, verificar, implementar e analisar os protótipos de RA. Ainda, Bach e Scapin (2003) relatam que não existem métodos de avaliação de usabilidade propositadamente concebidos para sistemas de Realidade Aumentada.

Porém, áreas como a Cartografia, assim como a Realidade Aumentada, têm a necessidade de estudar o desempenho dos usuários quando estes utilizam de seus produtos. Desta forma, estudos de ambas as áreas podem criar um elo e assessorarem-se mutuamente no desenvolvimento de técnicas para o estudo de desempenho dos usuários.

Entretanto, Sodnik et al. (2006) argumentam que Realidade Aumentada é uma técnica cada vez mais popular para o desenvolvimento de novas interfaces homem-computador (IHC). E, com a afirmação de Swan e Gabbard (2005), complementa-se este raciocínio, uma vez que estes autores afirmam que os métodos tradicionais de IHC, como a análise de domínio, as necessidades dos usuários, análise de tarefas, bem como o desenvolvimento de casos de uso, podem ser aplicados com sucesso na RA. Porém, até o momento, isto ainda não foi profundamente pesquisado e, segundo estes autores, será somente através da aplicação de

experimentação baseada no usuário que a RA irá evoluir ao ponto onde suas aplicações serão amplamente desenvolvidas e adotadas.

Nivala, Sarjakoski e Sarjakoski (2007) afirmam que as aplicações de RA para a apresentação de informações geoespaciais é um desses sistemas cujos métodos de usabilidade poderiam ser aplicados pelos desenvolvedores, a fim de compreender as suas capacidades dentro de uma abordagem de design centrado no usuário (UCD – *User Centered Design*).

Mendonça (2009) também acrescenta relatando que as técnicas propostas pela Engenharia de Usabilidade (NIELSEN, 1993) vêm sendo amplamente utilizadas na pesquisa em interfaces para sistemas baseados em informação geográfica.

A usabilidade é uma forma de se medir a qualidade de uma interface, quantificando o quão fácil é para um usuário em usar esta interface. A Engenharia de Usabilidade, proposta por Nielsen, abrange o escopo de uma série de métodos aplicados ao projeto de interfaces para melhorar o uso das mesmas.

A norma NBR 9241-11 (1998) estabelece orientações para usabilidade, definindo a mesma como "Medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso", tendo definido:

- Eficácia: Acurácia e completude com as quais usuários alcançam objetivos específicos.
- Eficiência: Recursos gastos em relação à acurácia e abrangência com as quais usuários atingem objetivos.
- Satisfação: Ausência do desconforto e presença de atitudes positivas para com o uso de um produto.
- Contexto de uso: Usuários, tarefas, equipamento (hardware, software e materiais) e o ambiente físico e social no qual um produto é usado.

Nivala, Sarjakoski e Sarjakoski (2007) afirmaram que a necessidade de considerar as abordagens de usabilidade é uma prática amplamente aceita na academia e na indústria. Neste contexto, Koua, MacEachren e Kraak (2006) indicaram que o interesse de pesquisa em usabilidade de sistemas de geoinformação aumentou em importância nas últimas décadas, porque os estudos tradicionais não cumprem mais os requisitos de teste dessas novas ferramentas para a visualização de dados geoespaciais.

Ainda, Mendonça (2009) relata que, de acordo com o modelo proposto por Nielsen (1993), a avaliação de um sistema computacional deve prever o uso de métricas, que são fatores que influenciam no sucesso em geral do sistema, cuja unidade de medida é a aceitabilidade. Seffah et al. (2006) indicaram que as métricas em usabilidade podem ser divididas em dois grandes grupos:

- As relativas a preferência, que quantificam avaliações subjetivas, preferências em geral e o nível de satisfação dos usuários finais; e
- As métricas de desempenho, que medem o desempenho atual dos usuários quando executando uma tarefa em um determinado contexto, que incluem taxas de acertos, erros, tempo de uso e afins.

Mendonça (2013) afirma que, acerca das variáveis subjetivas, faz-se importante citar Norman (2004), que afirma que produtos atrativos fazem com que as pessoas se sintam bem, o que as leva a pensar de forma mais criativa. Isto possivelmente as leva a resultados mais consistentes e eficientes, para qualquer tipo de tarefa executada com o uso do artefato.

Tem-se como uma boa abordagem para mensuração e análise destas métricas de usabilidade a utilização de questionários. Mendonça (2013) cita que Delikostidis (2007) afirma que o uso de questionários é um método barato e que preserva a privacidade dos usuários avaliados, sendo amplamente utilizado na pesquisa em ciências de uma maneira geral. Charlton e O'Brien (2008) afirma que o uso mais apropriado para questionários é como uma forma de ter uma fonte de dados suplementar ou explanatória, não como um critério para mensuração do sucesso.

De acordo com Schneiderman (1998) a entrevista é um método que envolve a interação verbal entre o pesquisador e os participantes com intenções específicas. Esta pode ser estruturada, seguindo algum tipo de modelo para o conteúdo e as questões; ou não-estruturada, que permite ao pesquisador modificar o processo de acordo com suas necessidades. Rubin e Chisnell (2008) argumentam que entrevistas são boas alternativas aos questionários, uma vez que criam uma ideia de menor rigidez no processo, o que traz uma maior conexão com o entrevistado. Isto tem como consequência um maior comprometimento e responsabilidade do usuário com o procedimento.

Como Kumar (1999) coloca: a mera observação é considerada o mais simples de todos os métodos de usabilidade, uma vez que ele envolve apenas visualizar as tarefas dos usuários

e interferir o mínimo possível nos trabalhos que eles estiverem fazendo. A vantagem deste método é o fato do mesmo revelar exatamente aquilo que o usuário faz e não aquilo que diz fazer. Na observação simples, o pesquisador pode observar os assuntos durante a sua resolução de problemas e fazer anotações. No entanto, os resultados da pesquisa não seria verificável e, por conseguinte, é necessário fazer uso de equipamento especial para gravar as observações. Isso também faz com que seja possível analisar cuidadosamente as observações em um estágio posterior (VAN SOMEREN, BARNARD e SANDBERG, 1994).

Um problema geral com o uso de observação como um método de coleta de dados é que os indivíduos podem mudar seu comportamento quando estão cientes de que eles estão sendo observados. Isto é conhecido como o efeito de Hawthorne (KUMAR, 1999). Um problema é que não pode fornecer completo em informações detalhadas sobre os processos cognitivos que ocorrem nos indivíduos. A intenção não é apenas saber o que as pessoas estão fazendo, mas também por que elas estão fazendo isso e que eles estão pensando (VAN ELZAKKER, 2004).

Outro método também utilizável é o de pensar em voz alta, ou *Think Aloud*. Este método envolve a análise de protocolos verbais (e ações) registrados resultantes do processo de os usuários expressar seus pensamentos durante a execução de determinadas tarefas de resolução de problemas (ERICSSON e SIMON, 1993; VAN SOMEREN et al., 1994;. SUCHAN e BREWER, 2000). Porém, é um método muito demorado. Não é apenas a coleta de dados que leva tempo, mas particularmente na decodificação e análise dos protocolos verbais e de ação. Esta desvantagem pode ser uma das razões pelas quais *Think Aloud* não tem sido muito usado em pesquisa no uso mapa (VAN ELZAKKER, 2004).

Tem-se também abordagens que se utilizam dos fatores humanos é a avaliação por critérios ergonômicos, que são a carga de trabalho mental e a consciência da situação. Charlton e O'Brien (2008) definem a carga de trabalho mental como a quantidade de recursos cognitivos ou de atenção que são gastos em um dado instante. A consciência da situação pode ser definida como um conteúdo momentâneo destes recursos, um estado subjetivo que é adquirido pelo objeto dos recursos de atenção de alguém.

Porém, Young e Stanton (2001) afirmam que a carga de trabalho mental pode ser definida por meio de dois componentes: o esforço (demandas da tarefa) e o stress (o impacto resultando sobre o indivíduo). As teorias dos recursos da atenção proporcionam uma base útil

para a descrição das demandas mentais. Existem vários métodos para determinação da carga de trabalho mental, sendo um deles o *Nasa Task Load Index* (NASA-TLX).

NASA-TLX é uma ferramenta de avaliação subjetiva da carga de trabalho. NASA-TLX permite aos usuários realizar avaliações subjetivas sobre carga de trabalho com vários sistemas homem-máquina. NASA-TLX é um procedimento classificação multi-dimensional que deriva uma pontuação global da carga de trabalho com base em uma média ponderada das classificações em seis sub-escalas. Estas sub-escalas incluem demanda mental, demanda física, demanda temporal, desempenho próprio, esforço e frustração.

Ou ainda, de forma a quantificar estas situações de usabilidade e desempenho, pode-se, por exemplo, medir quanto tempo leva para um usuário para executar uma determinada tarefa de uso mapa, ou também medir quantas vezes o mesmo chegou à resposta correta. Entretanto, a análise puramente quantitativa pode acabar por descartar outras informações de interesse, que poderiam ser observados em métodos qualitativos de pesquisa (VAN ELZAKKER, 2004).

Entretanto, apesar desta vasta gama de abordagens para testes com usuários, estes testes não têm acontecido, pois, conforme Wang et al. (2013), apenas 15,5% dos trabalhos publicados têm avaliação significativa dos estudos de eficácia e/ou usabilidade de Realidade Aumentada. Segundo estes autores, a maior parte da investigação sobre a Realidade Mista e Aumentada se concentrou no desenvolvimento construtivo de vários tipos de monitores e outros dispositivos de saída, bem como algoritmos para identificação e rastreamento de objetos do mundo real.

As expectativas dos usuários, experiência do usuário, e problemas de aceitação de RA tem sido pouco estudado, e toda a abordagem de desenvolvimento centrado no usuário tem sido subutilizada em RA. Além disso, a maioria das pesquisas de usuários que existem centraram-se na avaliação de técnicas iniciais em contextos específicos, especialmente olhando para questões de percepção e cognição, desempenho da tarefa do usuário, ou outros aspectos relacionados com a usabilidade. Porém, a experiência do usuário e aceitação tem sido muitas vezes rejeitada, especialmente no tocante aos aspectos emocionais da experiência (OLSSON, et al., 2012).

Dünser e Billinghurst (2011) realizaram uma pesquisa em publicações sobre RA entre 1992 e 2007, e mencionam que apenas 10% dos artigos incluíam algum tipo de avaliação do usuário. Além disso, a maioria das pesquisas relacionadas com testes com usuários centrou-se

na avaliação de manifestantes técnicas iniciais em contextos específicos, especialmente olhando para questões de percepção e cognição, ou para o desempenho de tarefas pelo usuário.

Wang et al. (2013) também analisaram 120 trabalhos publicados e concluíram que apenas 19 artigos (15,8%) executaram alguma avaliação rigorosa, entre os quais 10 artigos (8,3%) estão relacionados com a avaliação da eficácia do desempenho de se utilizar RA para tarefas em ambiente construído. Apenas dois trabalhos (1,7%) executaram avaliação focada na usabilidade. E, com relação à avaliação comparativa com outras ferramentas de referência, o número de trabalhos é de 12 (10,0%), sendo sugerido pelos autores que esta avaliação comparativa deveria ser feita mais frequentemente.

Swan e Gabbard (2005) sintetizam na tabela a seguir, Tabela 2.2, o número de publicações relacionadas com a RA, publicações relacionadas com o IHC e experimentos baseados nos usuários, de 1995 a 2004. Como mostrado na Tabela 2.2, até à data de 2004, houve pouca experimentação centrada no usuário em Realidade Aumentada. De um total de 1.104 artigos, verificou-se que 266 artigos descrevem alguns aspectos da pesquisa de RA (24%). Desses 266 RA artigos, apenas 38 abordaram alguns aspectos do IHC (14% dos artigos RA, 3% de todos os artigos), e apenas 21 descrevem uma experiência baseada no usuário formal (55% dos artigos de IHC, a 8% dos artigos de RA, e 2% de todos os artigos).

Tabela 2.2 – Número de publicações de Realidade Aumentada com experimentos com usuários entre 1995 e 2004.

| **Publicações** | **Anos** | **Total de Publicações** | **Publicações relacionadas a RA** | **Publicações Relacionadas com IHC** | **Baseadas em Experimentos com Usuários** |
|---|---|---|---|---|---|
| ISMA | 1998-2004 | 181 | 181 | 14 | 9 |
| ISWC | 1997-2004 | 170 | 28 | 12 | 5 |
| IEEE Virtual Reality | 1995-2004 | 301 | 24 | 3 | 3 |
| Presence | 1992-2004 | 452 | 33 | 9 | 4 |
| Total | | 1104 | 266 | 38 | 21 |

Fonte**:** Swan e Gabbard (2005)

Com isso, Swan e Gabbard (2005) relatam que a experimentação baseada no usuário em RA remonta já em 1995, e desde então seguem ao longo de três linhas complementares de esforço:

(1) Os que estudam tarefas de baixo nível, com o objetivo de entender como a percepção humana e cognição opera em contextos RA;
(2) Aqueles que analisam o desempenho da tarefa do usuário dentro de aplicativos específicos do RA ou domínios de aplicação, a fim de obter uma compreensão de como a tecnologia RA poderia impactar tarefas subjacentes; e
(3) Aqueles que analisam a interação do usuário genérico e a comunicação entre os vários usuários que colaboram.

Contudo, Nilsson e Johansson (2008) afirmam que estudos de usuários de RA geralmente envolvem medidas quantificáveis de desempenho (por exemplo, tempo de conclusão da tarefa e margem de erro) e raramente se concentra em medidas de desempenho mais qualitativos.

Além disso, cabe aqui descrever importantes conceitos que são: aceitação do usuário e experiência do usuário. Aceitação do usuário (UA – *User Acceptance*) refere-se a disposição dos usuários (ou intenção) de aceitar e usar sistemas e serviços disponíveis. A aceitação do usuário é afetada principalmente pela facilidade de uso percebida, valor percebido, e confiança em uma determinada tecnologia. A experiência do usuário (UX – *User Experience*) é considerada como um conceito subjetivo e descreve a experiência resultante da interação com um produto ou serviço tecnológico. A norma ISO 9241-11 (1998) define UX como a percepção de uma pessoa e respostas que resultem da utilização de um produto, sistema ou serviço (OLSSON et al., 2012).

Embora as metas de usabilidade incluam várias dimensões cognitivas para avaliar um produto ou um sistema (por exemplo, a eficácia, eficiência, segurança, utilidade, capacidade de aprendizado e memorização), as metas de experiência do usuário referem diversas variáveis afetivas, como perceber a satisfação, prazer, diversão, entretenimento, utilidade, motivação, prazer estético, o apoio de criatividade, recompensa e satisfação emocional (CHENG e TSAI, 2013). Metodologicamente, segundo Olsson e Salo (2012), avaliar a experiência do usuário emocionalmente é uma tarefa bastante subjetiva, mas pode ser realizada com, por exemplo, entrevistas e depoimentos.

Em Vazquez-Alvarez, Oakley e Brewster (2012), os usuários utilizaram-se de Realidade Aumentada através do som para posicioná-los em um jardim, as medidas objetivas coletadas foram: o tempo necessário para completar, a distância percorrida em metros, a

velocidade de caminhada em metros por segundo. E, para as medidas subjetivas, foi feito um questionário para análise da opinião dos participantes.

Xu et al. (2008) desenvolveram um sistema de RA de jogo colaborativo e coletaram tanto dados qualitativos como quantitativos. Durante o jogo, eventos foram registrados, as sessões de jogos foram gravadas e um pesquisador tomou notas de observação. No final do estudo, os jogadores responderam a um questionário para dar classificações gerais para a concepção e interface de jogo RA, e para comparar a presença social e experiência de jogo social.

Para obter opiniões e avaliar a funcionalidade do aplicativo de RA desenvolvido, Rauhala, Gunnarsson e Henrysson (2006) realizaram um estudo pequeno com usuários, onde apenas dez participantes fizeram parte do estudo. O estudo foi uma combinação de pesquisa quantitativa e qualitativa. Um teste foi realizado para obter a opinião sobre representações e um questionário também foi empregado para obter uma visão mais ampla, levando as opiniões de usuários do aplicativo de RA em consideração. Além do teste e as perguntas da entrevista, os participantes foram estimulados a comentar seus pensamentos e atitudes durante todas as fases do estudo.

Para compreender a experiência de jogo e melhorar o design do jogo, Huynh et al. (2009) realizaram um pequeno estudo com usuários -com doze participantes. Os participantes preencheram o questionário de forma independente depois de jogar o jogo. Uma entrevista semi-estruturada foi conduzida para entender mais sobre a experiência decorrida. Com as filmagens desses dados, os autores relatam que foram capazes de reconstruir o que se passou durante o jogo, como os jogadores se comportaram e os problemas com que se depararam. Além disso, um pesquisador tomou notas de observação durante o jogo, para registrar momentos interessantes de jogo e para gerar questões relacionados para a entrevista.

Iordache e Pribeanu (2009) apresentaram uma abordagem para a avaliação de usabilidade da RA com base em avaliação heurística e testes com usuários. A ideia básica foi comparar e integrar medidas quantitativas e qualitativas, a fim de aumentar a confiança nos resultados e aumentar o poder descritivo do relatório de avaliação de usabilidade.

Balog, Pribeanu e Iordache (2007) utilizaram um questionário usabilidade que consistiu de 12 itens. Os primeiros 10 itens foram relacionados à interação, usabilidade e capacidade. Os outros dois itens foram para avaliar a facilidade de uso e se foi uma experiência emocionante. Os entrevistados foram solicitados a avaliar as questões em uma

escala de 5 pontos. Ao fim, os autores relataram que esses métodos de avaliação de usabilidade é um suporte de baixo custo para o design centrado usuário de tecnologias baseadas em RA.

Nilsson e Johansson (2008), para investigar a aceitação do usuário e atitude em relação à RA, realizaram dois estudos com usuários onde os participantes foram observados enquanto utilizavam um sistema de RA. Os dados foram coletados tanto através da observação e questionários. O questionário consistiu de questões relacionadas à impressão geral do sistema de RA, dificuldades encontradas, aspectos positivos, o que mudaria no sistema, e se é possível comparar o recebimento de instruções via RA ou instruções de um professor. Apesar dos problemas relatados, os usuários foram positivos na avaliação dos sistemas de RA como uma tecnologia e como uma ferramenta para obter instruções.

Em entrevista com os usuários do seu jogo em RA, Liarokapis (2006) relatou que a maioria dos jogadores afirmaram que era extremamente promissor manipular o ponto de visão com a Realidade Aumentada. Eles comentaram que as rotações naturais da cena do jogo são muito mais fáceis de executar em comparação com a versão similar do jogo em Realidade Virtual.

Em Avery et al. (2006) foi realizado um estudo de usuário para medir quanto os usuários gostavam de um jogo de RA, e quão intuitivo era. Foram comparados 44 participantes que utilizaram RA e um equivalente em computador. Os autores concluem que o jogo RA foi avaliado pelos participantes como significativamente mais agradável e mais intuitivo de usar.

Damala et al. (2008) executaram um estudo quase seis semanas depois da visita à uma exposição de arte utilizando RA. Estes autores relatam que 75% dos participantes eram capazes de lembrar corretamente da experiência. Ainda relatam que, mesmo os participantes que não lembraram exatamente da experiência, ainda podiam nomear um ou mais dos temas retratados e/ou os artistas representados.

Henderson e Feiner (2009) avaliaram usuários na execução de tarefas mecânicas, utilizando RA e computadores. Segundo os autores, os resultados quantitativos e qualitativos revelaram-se encorajadores. Os autores ainda concluem que, de posse de um resultado estatisticamente significativo, foi mostrado que RA permitiu realizar tarefas mais rapidamente do que quando se utiliza a condição em computador.

Sumadio e Rambli (2010) realizaram um estudo que, segundo os autores, tinha enfoque qualitativo e quantitativo para analisar os experimentos relacionados ao uso de RA para fins de educação. Como pesquisa qualitativa, protocolos *think aloud*, entrevistas e observação. Um questionário também foi utilizado. Todo o processo foi filmado e gravado em áudio. As principais conclusões do estudo foram que a familiaridade da tecnologia RA foi considerada baixa porque a maioria dos participantes nunca havia utilizado RA antes, mas os entrevistados gostaram e se mostraram entusiasmados com esse tipo de aplicação para a aprendizagem.

Olsson e Salo (2011) fizeram uma investigação com já usuários de RA. Este estudo baseou-se em questionário disponível online. Partes qualitativas (questões abertas) foram utilizadas para entender as razões por trás de avaliações numéricas. Isto porque, segundo os autores, o campo de pesquisa requer ainda uma abordagem exploratória, para revelar a aceitação do usuário e as questões relacionadas com a experiência. No geral, as avaliações quantitativas refletiram uma experiência bastante positiva de aplicações de RA atualmente disponíveis ao público. Na fase de adoção, Olsson e Salo (2011) identificaram a curiosidade e a novidade da RA como os principais motivadores para a instalação dos aplicativos. No geral, as respostas mostram uma aceitação das aplicações de RA atuais, principalmente quanto ao conteúdo da informação.

Ainda, dentre vários outros estudos com abordagens similares, é possível citar Arning et al. (2012), que avaliaram a carga de trabalho percebida em seu ambiente de RA por meio do questionário NASA-TLX.

E, em Di Serio, Ibáñez e Kloos (2013), foi utilizado a IMMS (*Instructional Materials Motivation Survey* - Pesquisa de Motivação de Materiais Didáticos - de Keller, 2010) baseado no modelo ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction* - Atenção, Relevância, Confiança, Satisfação - de Keller, 1987a). O objetivo deste estudo foi explorar o impacto da tecnologia da Realidade Aumentada na motivação dos alunos do ensino médio para aprender um módulo de arte visual. O sistema era composto de PCs, *webcams* e imagens sem marcadores. O objetivo deste estudo foi investigar o impacto de dois cenários de ensino: baseado em *slides* tradicionais e baseado em tecnologia de Realidade Aumentada. O estudo também incluiu uma análise qualitativa para determinar a aceitabilidade da tecnologia RA entre os alunos. Os resultados quantitativos desta pesquisa mostraram que o uso da tecnologia da Realidade Aumentada nos ambientes de aprendizagem teve um efeito positivo na

motivação dos alunos do ensino médio. O estudo de usabilidade mostrou que, embora esta tecnologia de RA não ainda não seja madura o suficiente para ser usado maciçamente em educação, o entusiasmo dos alunos diminuiu a maioria das barreiras encontradas.

A seguir são descritas estas duas metodologias de testes com usuários, tanto o NASA-TLX como o modelo ARCS. Estes dois modelos de testes foram utilizados neste trabalho em pesquisas com usuários.

### 2.5.1 NASA-TLX

O teste NASA-TLX (*Task Load Index* – Índice de Carga de Trabalho) é uma escala multidimensional projetada para obter estimativas de carga de trabalho de um ou mais usuários enquanto eles estão executando uma tarefa ou imediatamente depois (HART, 2006). O NASA-TLX é resultante de um programa de pesquisa para identificar os fatores associados às variações na carga de trabalho subjetiva dentro e entre diferentes tipos de tarefas. Inicialmente, foram obtidas estimativas subjetivas de 10 fatores relacionados à carga de trabalho de 16 experimentos diferentes. As tarefas experimentais iniciais incluíam tarefas simples de controle cognitivo e manual, tarefas complexas de controle laboratorial e de supervisão e simulação com aeronaves (HART e STAVELAND, 1988**)**. Foi proposta então por Hart e Staveland (1988) uma escala de classificação multidimensional na qual as informações sobre a magnitude e as fontes de seis fatores relacionados à carga de trabalho que combinadas obtêm uma estimativa sensível e confiável da carga de trabalho.

O questionário NASA TLX (Hart e Staveland, 1988) é um método para determinar a carga de trabalho que usa uma pesquisa qualitativa padronizada para avaliar as interações entre seres humanos e computadores. Em uma escala de preferência, os usuários classificam cada uma das 6 categorias (Demanda Mental, Demanda Física, Demanda Temporal, Esforço, Desempenho, Nível de Frustração) com base em sua experiência no experimento executando usando uma escala de 20 pontos (Tang et al., 2003; Harrower e Sheesley, 2005)

De acordo com Hart (2006), 20 anos de pesquisa e aplicação deste teste resultaram em uma ferramenta que provou ser razoavelmente fácil de usar e sensível a manipulações importantes experimentalmente. Seu uso se espalhou muito além de sua aplicação original (aviação), foco (tripulação) e língua (inglês).

Ainda, De Winter (2014) relata que em seu levantamento, os resultados revelam um crescimento explosivo no uso do Índice de Carga de Trabalho NASA-TLX. De acordo com esses autores, uma explicação positiva da popularidade do NASA-TLX pode ser que este teste é baseado em evidência sólida em relação à validade preditiva, consequentemente, tornou-se o método estabelecido para operacionalizar a carga de trabalho. Estes autores também afirmam que: "Uma interpretação mais negativa é que o aumento do NASA-TLX pode ser simplesmente um efeito de Matthew ('os ricos ficam mais ricos'). Ou seja, o NASA-TLX não é o questionário mais sensível ou preditivo-válido disponível, mas tornou-se popular porque atingiu velocidade suficiente e é agora a escolha óbvia disponível para pesquisadores e profissionais". Afinal, segundo De Winter (2014), o que contribui para o NASA-TLX é que este foi estabelecido após um extenso esforço de pesquisa em um instituto respeitável. De acordo com estes autores, nenhuma técnica preditiva numérica tão poderosa parece disponível no domínio de construções de fatores humanos.

Porém, de acordo com Mulloni, Seichter e Schmalstieg (2011)**,** ao longo de quase 20 anos, o NASA-TLX conseguiu certa venerabilidade e está sendo usado como um ponto de referência contra o qual a eficácia de outras medidas, teorias ou modelos são julgados. Por outro lado, a série contínua de avaliações, modificações, extensões e aplicações à novas situações parece manter este teste ainda jovem.

Para estudos referentes à RA ou Cartografia, alguns trabalhos que utilizaram NASA-TLX em são apresentados a seguir.

Tang et al. (2002) avaliaram a efetividade das instruções sobrepostas espacialmente usando RA ou outras mídias tradicionais. A Carga de Trabalho foi avaliada utilizando-se do NASA-TLX. ANOVA foi utilizada sobre os resultados para determinação dos efeitos significativos. Os resultados deste estudo suportam que a RA melhora o desempenho dos usuários e alivia parte da carga de trabalho mental do usuário na execução das tarefas.

Tang et al. (2003) descrevem uma experiência que testou a eficácia relativa das instruções RA em uma tarefa de montagem. As informações da tarefa foram exibidas no campo de visão do usuário e registradas com o espaço de trabalho como objetos 3D para demonstrar explicitamente a execução exata do procedimento. Foram tomados dois tipos de medidas: desempenho da tarefa e carga de trabalho mental percebida. O desempenho da tarefa foi definido como tempo de conclusão e precisão da tarefa. A carga de trabalho mental percebida pelos usuários foi medida usando o NASA-TLX. Os resultados indicam que a

sobreposição de instruções 3D sobre as peças de trabalho reais reduziu a taxa de erro de uma tarefa de montagem em 82%, A medição do esforço mental indicou diminuição do esforço na condição RA.

Um exemplo similar é descrito em Datcu, Lukosch e Lukosch (2013), que comparam presença, carga de trabalho e percepção em um cenário real e de Realidade Aumentada quando se resolve colaborativamente um problema complexo. Um jogo de construção conjunta de uma torre de blocos coloridos é usado como uma aproximação de uma tarefa compartilhada. Para medir as diferenças na carga de trabalho em jogos reais e aumentados foi utilizado o questionário de carga de tarefas NASA-TLX.

Wang e Dunston (2006) avaliaram a percepção dos usuários ao utilizarem RA apresentada em HMD e em um monitor desktop. Foram tomados dois tipos de medidas: desempenho da tarefa e carga de trabalho mental percebida. Imediatamente após o experimento, os participantes completaram os questionários pós-teste, incluindo dados demográficos e o índice de carga de trabalho (NASA TLX).

Dunston (2009) avaliou o uso de RA na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Neste estudo, um protótipo de RA para inspeção, o "ARCam" foi desenvolvido. As medidas de desempenho dos usuários consistiram na precisão da medição, tempo de trabalho e carga de trabalho. As medidas subjetivas consistiram de avaliação pelo Índice de Carga de Trabalho NASA-TLX e questionários pós-sessão. Através da análise ANOVA, as cargas devido à demanda física, demanda temporal e esforço com a estação total foram significativamente maiores em comparação com aquelas com a ARCam, enquanto a demanda mental e o nível de frustração não foram significativamente diferentes.

Pielot et al. (2011) investigaram um sistema de RA de navegação com instruções para pedestres. Em um estudo de campo no centro da cidade, 21 participantes tiveram que chegar a determinados destinos por meio de instruções de navegação tátil, visual ou multimodal. A carga de trabalho cognitiva foi medida por medidas subjetivas e objetivas. Como medidas subjetivas, o questionário NASA-TLX foi utilizado. A significância estatística foi analisada através de testes ANOVA. No entanto, o julgamento subjetivo da carga de trabalho cognitivo através do NASA-TLX não mostrou diferenças significativas entre as condições.

Em Dixon et al. (2011)**,** doze usuários foram solicitados a localizar sete pontos de referência da base do crânio. O mesmo exercício foi então realizado com RA. O índice de carga de da NASA-TLX foi respondido após cada exercício. Foi também realizado um

pequeno questionário. O sistema de RA auxiliou a localização em 85% das respostas e aumentou a confiança em 97%. Houve uma redução significativa na demanda mental, esforço e frustração quando a tecnologia de RA foi empregada, com um aumento no desempenho percebido. As pontuações de resposta do NASA-TLX mostraram uma redução significativa na carga de trabalho em quatro das seis sub-escalas (demanda mental, desempenho, esforço e frustração).

Grubert et al. (2015) investigaram a utilidade da metáfora da RA "lente mágica" em dispositivos portáteis de tela pequena para navegação de mapas. A demanda de trabalho foi investigada com NASA-TLX. A ANOVA indicou resultados significativos.

Kang et al. (2013) propuseram uma nova técnica de navegação de mapas, o "UFO-Zoom", que utiliza rastreamento da trajetórias do dedo. Segundo os autores, o UFO-Zoom foi desenvolvido para oferecer aos usuários liberdade total para operações de *pan* e *zoom*. O *zoom* é controlado pela distância vertical entre a tela e a ponta do dedo do usuário; *pan* é controlado por movimentos dos dedos paralelos à tela. A satisfação subjetiva e as cargas de trabalho foram medidas usando o NASA-TLX. O resultado da NASA-TLX mostrou que a carga de trabalho total foi menor quando utilizando RA.

De forma a relatar os diversos usos do teste NASA-TLX, Hart (2006) apresenta uma pesquisa de 550 estudos em que NASA-TLX foi utilizado.

### 2.5.2 Modelo ARCS

Touré- Tillery e Fishbach (2014) afirmam que a motivação ("a força psicológica que permite a ação") tem sido objeto de investigação científica há muito. De acordo com estes autores, a motivação tem sido medida em termos de respostas cognitivas observáveis (por exemplo, recordação, percepção), afetivas (experiência subjetiva), comportamentais (desempenho) e fisiológicas (ativação cerebral) e usando auto-relatos.

Touré- Tillery e Fishbach (2014) examinaram as medidas cognitivas, afetivas e comportamentais da motivação e revisa seu uso em toda a disciplina de psicologia social experimental. Os autores discutem as circunstâncias em que as medidas podem ajudar a distinguir as diferentes dimensões da motivação, bem como as circunstâncias em que as medidas podem capturar diferentes dimensões da motivação de maneiras semelhantes.

De acordo com Tsai et al. (2015), com o modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação) de design de motivação, Keller encontrou formas possíveis de complementar o processo de aprendizagem com o estudo da motivação. Segundo este modelo, há quatro etapas principais para que os alunos se tornem e permaneçam motivados no processo de aprendizagem: Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação.

As duas primeiras etapas podem ser consideradas a espinha dorsal da teoria ARCS. De acordo com a teoria, a atenção refere-se ao interesse demonstrado pelos alunos em aceitar os conceitos ou ideias ensinados. A relevância refere-se ao processo de se usar linguagem e exemplos com os quais os alunos estão familiarizados. Confiança centra-se no estabelecimento de expectativas positivas dos alunos para alcançar o sucesso. O último aspecto deste modelo é a satisfação, em que os alunos devem obter satisfação ou recompensa da experiência de aprendizagem.

Liu e Chu (2010) relatam os resultados de um estudo que teve como objetivo investigar como os jogos de RA influenciam o aprendizado e a motivação do aprendizado do inglês. Este estudo aplicou o modelo de motivação ARCS. Um estudo de caso foi realizado com a participação de três professores e 64 alunos do ensino médio. Uma pesquisa e entrevistas foram administradas após os testes.

Mahadzir e Phung (2013) descreveram o uso de RA e livros como forma de ajudar os alunos a superar a lacuna entre o mundo digital e física. Os alunos eram capazes de usar o livro como interface principal, mudando a perspectiva ou direção, movendo o livro e informações digitais são apresentadas sobre os mesmos. O processo de desenvolvimento foi aprimorado usando o modelo ARCS. O resultado do estudo foi obtido a partir de observações de alunos do primeiro ano do ensino fundamental usando o livro com RA e seguido por entrevista semi-estruturada e o questionário ARCS.

Tsai et al. (2015) investigaram a capacidade do sensor Kinect como tecnologia interativa e discutem como ele pode ajudar e melhorar o ensino e a aprendizagem. O modelo ARCS foi utilizado para fornecer indicativo de práticas motivando e melhorando a eficácia dos alunos. Neste trabalho foi conduzido a ANCOVA (Análise da Covariância) unidirecional para examinar as questões da pesquisa.

Charsky e Ressler (2011) examinaram a motivação dos alunos para aprender conceitos de história enquanto jogavam um jogo de computador. A medida motivacional utilizada neste estudo foi usando o modelo ARCS como base. Para investigar o efeito sobre a motivação do

estudante, foram realizadas ANOVA nas pontuações globais do modelo, bem como nas pontuações de sub-escalas individuais.

Shellnut, Knowltion e Savage (1999) descrevem como incorporaram o modelo ARCS na concepção e desenvolvimento de um módulo de computador instrucional para um curso de engenharia da faculdade em economia. Mahadzir e Phung (2013) afirmam que o Modelo de Motivação do ARCS reconhece o desafio de estimular e sustentar a motivação do aluno. Mahadzir e Phung (2013) utilizaram esta metodologia para a utilização de RA na aprendizagem da língua inglesa.

E Goldberg e Ingram (2011) utilizaram-se de técnicas de aprendizagem ativa, incluindo o modelo ARCS, que, segundo eles, têm sido defendidas como um meio de promover o envolvimento dos alunos. Neste estudo de caso, foram avaliadas estratégias para promover uma cultura de aprendizagem e participação em um curso de botânica.

## 2.6 AS TAREFAS DE LEITURA DE MAPAS

Nivala e Sarjakoski (2004) afirmam que o principal problema na leitura de mapas é como um usuário entende e percebe um mapa. Board, já em 1978, afirmou que frequentemente existem inadequações entre a finalidade para a qual foi desenvolvida uma representação e a forma como ela é lida ou sua leitura é operada.

Ainda, Slocum et al. (2001) argumentaram que vários problemas cognitivos precisam ser considerados dentro do teste de sistemas de geoinformação. Estes autores afirmaram que Ambientes Virtuais Geoespaciais (GeoVEs) mudaram a forma tradicional de aquisição de conhecimento espacial. Eles consideraram os sistemas de Realidade Aumentada como um desses aplicativos GeoVEs onde tem-se um mundo virtual que completa com informações adicionais o mundo real. Estes novos sistemas dinâmicos permitem a construção do conhecimento de forma diferente, e que é um bom ponto de estabelecer um desafio de pesquisa (SLOCUM et al., 2001).

Além disso, para a construção do conhecimento e estudos de raciocínio espacial, é necessário definir a forma como as pessoas leem mapas e adquirem (ou desenvolvem) o conhecimento geográfico. Este tópico tem sido popular para a investigação neste domínio desde 1960 (MACEACHREN, 1995; SLOCUM et al., 2001; SLOCUM et al., 2009). Segundo

Van Elzakker (2004), a falta de pesquisa foi observada desde McGuinness (1994) e Davies e Medyckyj-Scott (1996), e a situação não melhorou muito até então.

Entretanto, Board (1978) descreve as tarefas essenciais necessárias para permitir que uma pessoa obtenha informações a partir de uma representação espacial, bem como para compreensão e desenvolvimento do conhecimento sobre o espaço.

Na tentativa de minimizar as inadequações entre a finalidade para a qual foi construída uma representação e a forma como ela é lida ou sua leitura é operada, Board (1978) descreve tarefas as quais considera essenciais, quando um usuário de mapas vale-se de uma representação cartográfica para desempenhar suas funções ou, simplesmente, fazer a leitura do espaço. Este autor discriminou ações as quais as pessoas fazem no momento em que tomam um mapa e propõem-se a utilizá-lo. Para melhor sintetizar sua proposta, Board (1978) dividiu as tarefas de leitura de mapas nos três grandes segmentos: tarefas de navegação, tarefas de mensuração e tarefas de visualização (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Tarefas de Leitura de Mapas.

| **Navegação** | **Mensuração** | **Visualização** |
|---|---|---|
| Procura | Procurar | Procurar |
| Identificação e locação da própria posição sobre um mapa | Identificar | Identificar |
| Orientação | Contar | Descrever |
| Procura por uma melhor rota sobre um mapa | Comparar | Comparar/reconhecer |
| Procura por *landmarks* em uma rota | Contrastar | Contrastar |
| Reconhecimento de *landmarks* em uma rota | Estimar | Discriminar/distinguir |
| Procurar um destino | Interpolar | Delimitar |
| Identificar um destino | Medir | Verificar |
| Verificar | - | Generalizar |
| - | - | Preferir |
| - | - | Gostar |

Fonte: Board (1978).

Ou ainda, é possível perceber, como van Elzakker (2004), que estas questões de leituras de mapas têm um nível crescente de complexidade. A Tabela 2.4 sintetiza o

agrupamento de questões geográficas e suas tarefas para as principais categorias: básico, intermediário, temporais e globais.

Tabela 2.4 – Tarefas de uso de mapas com relação à questões geográficas

| **Questões Geográficas** | **Tarefas** |
|---|---|
| Básico | |
| O que está aí? | 1. reconhecer objetos |
| Em determinado local, o que está aí? | 2. identificar objetos |
| Em determinado local, quanto está aí? | 3. estimar quantidades |
| Onde está o objeto? | 4. localizar um objeto |
| | |
| Intermediário | |
| O que está próximo ao objeto? | 5. posição com relação a outro objeto |
| Qual é a distância para semelhantes/outros objetos | 6. definir relativa/absoluta distância |
| Está o objeto ligado a outros objetos? | 7. encontrar ligação espacial |
| Por que o objeto está lá? | 8. explicar uma localização |
| O que representa a distribuição espacial do objeto | 9. encontrar ordem, padrões ou anomalias espaciais |
| Onde é o maior/menor? | 10. quantificar anomalias espaciais |
| Onde estão os limites de uma distribuição espacial? | 11. delimitar uma distribuição |
| O que entra / o que sai? | 12. conectar uma região |
| | |
| Temporais | |
| O objeto sempre esteve lá? | 13. determinar mudanças |
| Os padrões de distribuição espacial mudaram? | 14. estabelecer tendências |
| Quais os processos espaciais estão ocorrendo? | 15. detectar processos |
| | |
| Globais | |
| Quais são as influências de fora da região? | 16. contemplar contexto espacial |
| Que os padrões relevantes estão lá? | 17. recapitular padrões encontrados |
| Existem relações entre padrões espaciais? | 18. descobrir correlações/dependências/conflitos |
| Quais fatores que causam a estrutura regional? | 19. estruturar informações geográficas |
| Podem ser identificadas diferentes (sub)regiões? | 20. regionalizar |
| Quais são as características geográficas da região? | 21. obter compreensão sobre uma região |

Fonte: van Elzakker (2004).

Segundo Lloyd e Bunch (2008), o desempenho em tarefas que requerem conhecimento espacial é afetado tanto por exigências da tarefa quanto pelos recursos cognitivos disponíveis pelo usuário. MacEachren (1995) afirma que, no caso da pesquisa baseada em elementos cognitivos, a abordagem deve procurar colocar o indivíduo no centro da análise, uma vez que

neste nível existem questões referentes aos processos psicológicos, culturais e de comunicação.

Contudo, van Elzakker (2004) aponta que as pesquisas em Cartografia tradicionalmente adotam análises simplesmente de natureza quantitativa, mas que gradativamente as pesquisas em projetos de interfaces centradas no usuário também passam a incorporar o aspecto qualitativo, especialmente devido às técnicas de pesquisa em psicologia cognitiva e IHC.

Slocum (1999) indica que é importante fazer uma distinção clara entre percepção e cognição: a percepção lida com a reação inicial do usuário do mapa para mapear símbolos, enquanto a cognição lida não só com a percepção, mas também com os processos de pensamento, experiências anteriores e memória.

Entretanto, dependendo da relevância da informação oferecida, um usuário pode levar mais tempo e ter um mais esforço cognitivo para ajustar um espaço sobre o outro. Existem dois componentes distintos que compreendem distância cognitiva. O primeiro é o esforço cognitivo necessário para mover a atenção do espaço físico para o espaço de informação, e para localizar as informações adequadas dentro do espaço de informação. O segundo componente é o esforço necessário para mover de volta do espaço de informação ao espaço físico, e aplicar a informação extraída para a tarefa em mãos. À medida que o esforço necessário para qualquer um destes componentes cresce, a distância cognitiva geral cresce (KIM e DEY, 2009).

Ou seja, como será apresentada no decorrer desta tese, a Realidade Aumentada pode, então, ser considerada tão promissora justamente por diminuir essa distância cognitiva, uma vez que é capaz de diminuir o esforço para mover a informação entre os espaços real e o da informação virtual, sobrepondo-os. Isto é, a RA utilizada como a interface para sobrepor informações auxiliaria neste processo de tradução e interpretação dos dados digitais a respeito de um fenômeno real, diminuindo a distância entre as mesmas.

Com isso, uma das contribuições científicas deste trabalho está em estudar as interações dos usuários com Realidade Aumentada e Cartografia, mapas e dados geográficos, utilizando-se dos preceitos da cartografia exploratória e métodos tanto qualitativos como quantitativos para a análise desta interação.

Desta forma, esta tese está organizada em função do desenvolvimento e evolução de sistemas de Realidade Aumentada e testes com usuários. A seguir são apresentadas as seções referentes aos:

- Capítulo 3 – Testes preliminaries (desenvolvimento de um sistea de RA e teste inicial com usuários) para verificação inicial das potencialidades da aplicação de RA e possível aprofundamento do tema;
- Capítulo 4 – Metodologia de desenvolvimento de novas aplicações e funcionalidades para os sistemas de RA (já fazendo-se uso de novas abordagens e evolução do Sistema de RA);
- Capítulo 5 - Aplicações e resultados dos testes dos sistemas de RA com usuários (valendo-se de testes de acurácia, tempo de resposta, preferências, NASA-TLX e IMMS-ARCS).

# Capítulo 3 - Estudos Preliminares

# 3 AVALIAÇÃO DO USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA CARTOGRAFIA COM USUÁRIOS, UM PROTÓTIPO INICIAL

A fim de se avaliar, inicialmente, o potencial do uso de Realidade Aumentada, mapas e dados geográficos, executou-se o desenvolvimento e implementação de um protótipo de RA e posterior análise do mesmo com testes com usuários. Neste item serão apresentados os resultados e discussões acerca das informações que foram alcançadas com o desenvolvimento da investigação preliminar. Num primeiro momento, descrevem-se os resultados do sistema de Realidade Aumentada desenvolvido e, posteriormente, os resultados obtidos por meio da aplicação dos testes com os usuários participantes.

Este estudo foi executado como forma de se analisar as potencialidades dos sistemas de RA, como se daria a implementação do sistema e quais seriam as respostas da interação dos usuários com o sistema. Isto foi feito como uma forma de experimentar este campo novo de aplicação de RA, em especial no Brasil, e determinar se o desenvolvimento e aprofundamento no tema poderia realmente trazer contribuições científicas.

Em uma revisão do estado da arte de estudos entre 2005 e 2011 relativos aos testes do usuário e Realidade Aumentada (120 artigos), apresentada por Wang et al. (2013), é relatado que a maioria dos estudos avaliados (60,9%) tem componente de implementação do sistema de RA, o que implica que a tecnologia RA tem maturidade suficiente para permitir a implementação. Com relação aos sistemas, 30,0% (36 sistemas) são sistemas estacionários ou fixos, ou seja, versões desktop basicamente baseados em marcadores fiduciais.

Outro resultado interessante de Wang et al. (2013) é que 27,5% (33 artigos) foram baseados na biblioteca ARToolKit, o que, segundo os autores, não é surpreendente, já que a disponibilidade e sofisticação dos softwares comerciais ainda não eram suficientes para satisfazer os requisitos de um sistema de Realidade Aumentada. Além disso, segundo estes autores, as tecnologias e ferramentas relacionadas à RA ainda não eram – e ainda não estão – padronizados, pois existe um alto percentual de software RA de auto-desenvolvimento como base para a criação de protótipos.

Ainda, de acordo com o nosso estudo apresentado na seção 2.4, e Tabela 2.1, 18 trabalhos dos 49 apresentados utilizaram-se da biblioteca ARToolKit no desenvolvimento de sistemas de RA para interação com mapas ou dados geográficos. Desta forma, desenvolveu-se o primeiro protótipo de Realidade Aumentada utilizando-se da biblioteca ARToolKit, em ambiente Desktop.

Wang, et al. (2013) também relataram que apenas 22,5% (27 artigos) envolveu análise prática de fatores humanos. Porém, ainda segundo estes autores, apenas 15,5% dos artigos têm avaliação significativa de eficácia e/ou usabilidade com usuários, relatando ainda que existem poucos trabalhos com foco no desenvolvimento de avaliações de RA ou que possam formar diretrizes de avaliação de usabilidade. Ainda, os mesmo autores afirmam que o entendimento destas variáveis serão a chave para projetar os recursos do sistema e os apoios adequados de um sistema de RA de sucesso.

De acordo com o nosso estudo apresentado na seção 2.4 (pag. 42), apenas 46,9% dos trabalhos tiveram seus sistemas de RA para interação com mapas e dados geográficos testados com usuários.

Porém, justamente por a RA ser um meio tão atraente, com muitos usos potenciais, há uma necessidade de desenvolver sistemas de RA centrados no usuário (SWAN e GABBARD, 2005). Mas, Bach e Scapin (2003) relatam que não existiam métodos de avaliação de usabilidade propositadamente concebidos para sistemas de Realidade Aumentada.

Desta forma, para realizar a análise da eficiência de um sistema de Realidade Aumentada para Cartografia, fez-se uso de metodologias tradicionais voltadas para as tarefas de leitura de mapas, de acordo com Board (1978) apresentadas anteriormente na seção 2.6, Tabela 2.3, página 65.

Sendo assim, construiu-se a presente pesquisa com a intenção de se avaliar, inicialmente, a contribuição de um sistema com Realidade Aumentada para as tarefas de leituras de mapas.

A hipótese que se levantou para este trabalho era que, se a Realidade Aumentada tem elementos suficientes para instigar o processo de visualização de maneira mais efetiva, então as tarefas de usuários serão desempenhadas com maior facilidade e interatividade. Consequentemente, a proposta do trabalho apresentado nesta seção perpassa pela construção de protótipos de sistema de Realidade Aumentada, com vista à exploração de atividades relacionadas às tarefas de leituras de mapas e averiguação da eficácia da utilização da RA, testes com usuários.

## 3.1 METODOLOGIA DESTE ESTUDO PRELIMINAR

Como pressuposto metodológico deste trabalho, construiu-se esta pesquisa por meio de duas grandes etapas: a primeira, na qual sustentam-se as bases para a criação do protótipo de sistema de Realidade Aumentada; e a segunda, que traz a averiguação das efetivas contribuições da utilização do sistema desenvolvido às tarefas de leituras de mapas. A Figura 3.1 apresenta a sequência geral da proposta deste trabalho, a qual será melhor detalhada nos itens que seguem.

Figura 3.1 – Sequência metodológica adotada.

### 3.1.1 Desenvolvimento do Sistema de Realidade Aumentada

Em um sistema de Realidade Aumentada, a determinação da posição e direção de visão do usuário pode ser feita de várias maneiras, como sensores de campo magnético, sensores de posicionamento e orientação (GPS, GNSS, INS), ou utilizando técnicas de processamento de imagem e visão computacional (BOBRICH e OTTO, 2002). He et al. (2006) afirmam que uma das tarefas mais difíceis do desenvolvimento de um sistema de Realidade Aumentada está, justamente, em se calcular com precisão o ponto de vista do usuário, e em tempo real.

Para se calcular o ponto de vista do usuário, e em tempo real, pode-se utilizar da biblioteca ARToolKit, que usa técnicas de visão computacional para calcular a posição, atitude e orientação da câmera/usuário relativamente aos alvos ou marcadores, permitindo ao sistema sobrepor objetos virtuais aos elementos reais (FIALA, 2005; SCHÖNING, KRÜGER

e MÜLLER, 2006; HE et al., 2006). Para acelerar o processo, o vídeo capturado por uma câmera é transformado em preto e branco por uma operação de limiarização. Nesta imagem binarizada, procura-se regiões quadradas, sendo todos os possíveis resultados inspecionados. Se houver uma correspondência, um marcador foi encontrado. Usando um marcador de tamanho e orientação conhecidos, a matriz de transformação pode ser calculada. Esta matriz descreve as coordenadas da câmera real em relação ao marcador, sendo então usada para definir a posição das coordenadas do objeto virtual (BOBRICH e OTTO, 2002).

Segundo Adithya et al. (2010), o ARToolKit tem dois procedimentos de transformação, e podem ser melhor visualizados na Figura 3.2.

- Sistema de coordenadas do Marcador para o sistema de coordenadas da câmera (3D para 3D).
- Sistema de coordenadas da câmera para o sistema de coordenadas da imagem (3D para 2D).

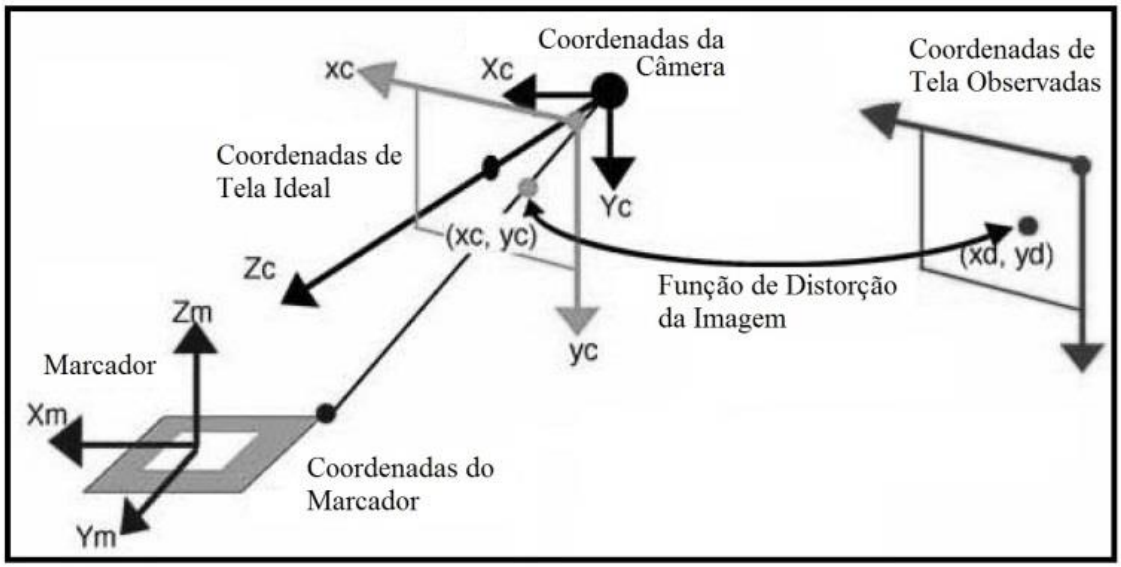



Figura 3.2 – Sistemas de Coordenadas utilizados no processamento com ARToolKit.
Fonte: Adithya et al. (2010).

À medida que os padrões são simples e fáceis de reconhecer, esta operação pode ser executada em tempo real (BOBRICH e OTTO, 2002). A renderização com ARToolKit normalmente começa com marcadores fixados com uma moldura e capturados a partir do dispositivo de captura de vídeo e gerando um *frame buffer*. Se nenhum marcador é detectado, o *frame buffer* é exibido na tela e o processo está completo. No entanto, se um marcador é detectado, a matriz de transformação é calculada e transmitida para o OpenGL. Em seguida,

usando a biblioteca OpenGL, objetos virtuais podem ser representados no *frame buffer*. Quando o processamento é concluído, o *frame buffer* é exibido na tela.

No caso de se utilizar um sistema de Realidade Aumentada baseada em marcadores fiduciais, estes marcadores podem ser entendidos como pontos para registrar o mapa físico e os objetos artificiais, podendo, assim, mesclar informações reais e virtuais (BOBRICH e OTTO, 2002; BOBRICH, 2003). Sendo assim, a grande vantagem na utilização de um sistema de Realidade Aumentada baseado em visão computacional e, mais especificamente, com a biblioteca ARToolKit, é que são necessários apenas uma câmera de vídeo e um sistema computacional para processamento da informação (BOBRICH e OTTO, 2002).

### 3.1.2 Ambiente de Aplicação dos Testes com os Usuários

O ambiente de aplicação dos testes compôs-se de uma sala nas instalações do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Para que as características do ambiente não se tornassem empecilho ao correto andamento desta pesquisa, os testes foram aplicados em condições de iluminação e ruídos iguais a todos os entrevistados. Para que houvesse, também, controle efetivo de efeitos adversos incitados pela presença de terceiros, os participantes foram assistidos diretamente pelos autores, com a sala fechada e sem a presença de outras pessoas.

A Figura 3.3 mostra o cenário criado, por meio da utilização de uma lousa branca, na qual foram fixados os mapas; um projetor e tela, por meio dos quais projetou-se a Realidade Aumentada; uma câmera apoiada sobre um suporte e um *notebook*, para a captação das imagens e processamento/geração da Realidade Aumentada. A câmera inicialmente se encontrava apoiada sobre o suporte, porém, era informado aos usuários participantes que a mesma poderia ser movimentada conforme sua vontade, uma vez que o sistema é capaz de processamento em tempo real.

Para cada uma das camadas a serem dispostas foram atribuídas teclas de atalho no teclado do computador de forma a dinamizar a forma de apresentar ou ocultar uma camada de informação. Porém, como as camadas foram sendo ligadas no decorrer no teste de forma controlada, seguindo a metodologia definida, os pesquisadores foram responsáveis por mostrar ou ocultar as camadas. Todavia, caso o teste fosse conduzido de outra maneira, poderia ser deixado a cargo do usuário ligar ou desligar tais camadas conforme seu interesse.

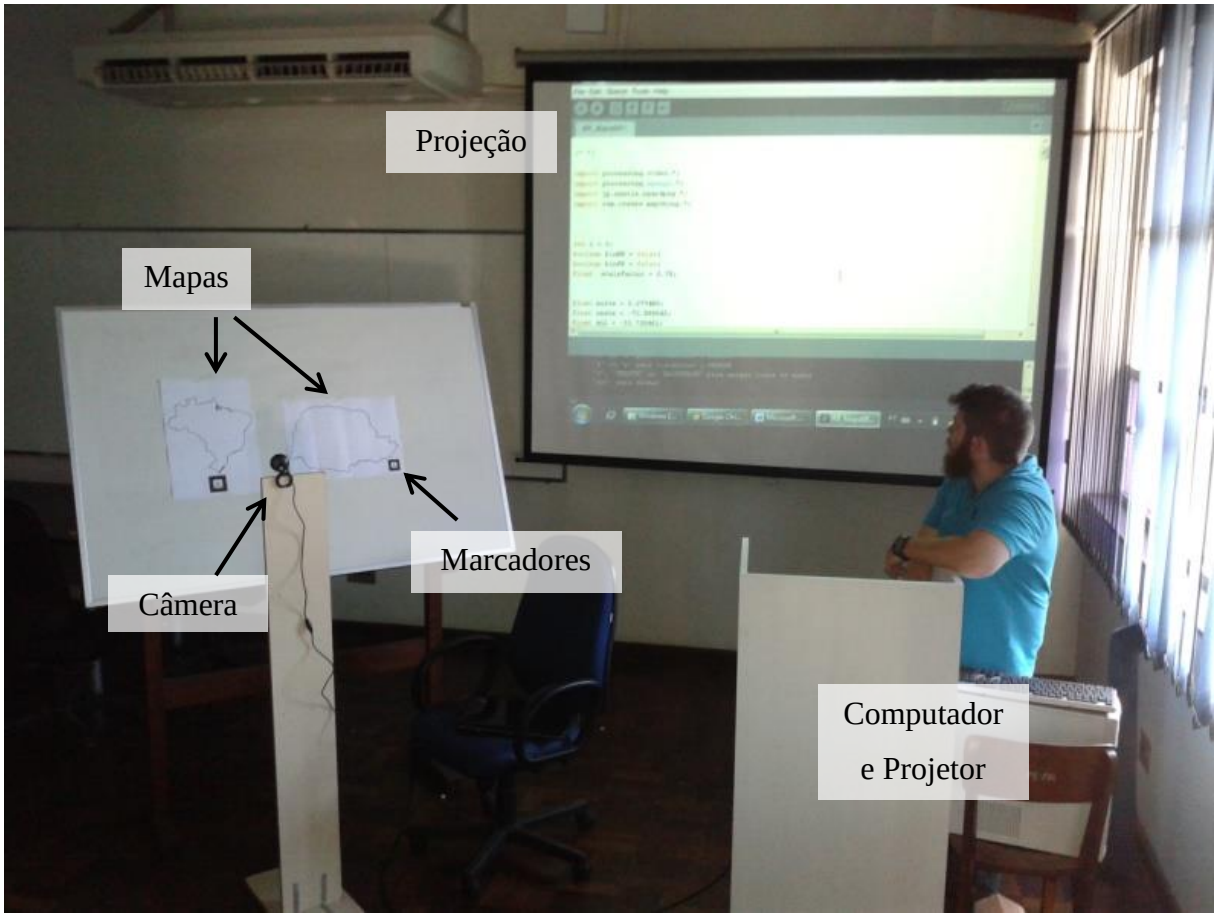



Figura 3.3– Ambiente de aplicação dos testes com os usuários.

### 3.1.3 Definição dos Grupos de Usuários e Características de Interesse

Para que fosse firmado acordo entre os pesquisadores e os sujeitos entrevistados, apresentou-se no princípio dos testes um protocolo de garantias e condições. Neste documento assegurava-se que nenhuma informação pessoal que pudesse servir como marco identificador dos indivíduos participantes (por exemplo, nome, idade, etc.) seria divulgado. Além disso, neste mesmo documento conferiu-se aos autores deste trabalho o poder para analisar as informações prestadas nos testes. Após isto, aplicou-se o questionário de identificação, o qual possibilitou que fossem estudadas características da amostra de usuários entrevistados, para que se definisse em qual estrato encaixar-se-iam no momento das análises.

Vale ressaltar que, dadas as características desta pesquisa, dentro da amostra de usuários entrevistados, escolheu-se um grupo de controle, composto por indivíduos altamente qualificados - a saber, doutores em Cartografia, Geografia ou Recursos Hídricos, com

experiência no tratamento de informações espaciais, como aquelas utilizadas no desenvolvimento dos testes.

Com isso, para definir os grupos de usuários utilizou-se de critérios apresentados na Tabela 3.1 e que possibilitaram distinguir usuários considerados especialistas dos não especialistas. A Tabela 3.1 mostra as classes de usuários definidos para os testes, assim como identifica os estratos de conhecimento os quais balizaram a definição de usuários especialistas e não especialistas.

Tabela 3.1 – Definição das classes de usuários entrevistados.

| **Classe** | **Requisitos** |
|---|---|
| Especialistas | Indivíduos que tenham o grau de Doutor em Cartografia, Geografia Física, Ciências Ambientais e/ou Recursos Hídricos, com experiência no tratamento de informações espaciais e manuseio de ferramentas computacionais dentro do escopo de interesse desse trabalho. |
| Não especialistas | Indivíduos que não tenham titulação de Doutor ou não atuem como professores ou geradores de produtos nos campos de conhecimento que abrangidos pela Cartografia, Geografia Física, Ciências Ambientais ou Recursos Hídricos. |

### 3.1.4 Grupo de Usuários Entrevistados

Para execução dos testes, contou-se com a participação de 14 voluntários distribuídos nos estratos em função da formação acadêmica, conforme é apresentado pela Tabela 3.2. Da Tabela 3.2 pode-se observar que os usuários considerados especialistas foram 3, os quais tinham formação mínima com doutorado nas áreas específicas de interesse. Nesta Tabela 3.2 têm-se também os não especialistas, indivíduos de formação acadêmica diversificada e sem os requisitos de interesse desta pesquisa. Todos os usuários que concordaram em participar das entrevistas responderam às perguntas do questionário de identificação, que facilitou a estratificação dos grupos de entrevistados.

Tabela 3.2 – Identificação e Formação Acadêmica dos usuários entrevistados.

| **Identificação (ID)** | **Formação (F)** |
|---|---|
| Especialista 01 | Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental |
| Especialista 02 | Doutorado em Ciências Ambientais |
| Especialista 03 | Doutorado em Geografia Física |
| Não Especialista 01 | Graduação em andamento em Geologia |
| Não Especialista 02 | Graduação em andamento em Geologia |
| Não Especialista 03 | Graduação em Química |
| Não Especialista 04 | Graduação em Engenharia Civil |
| Não Especialista 05 | Graduação em Engenharia Ambiental |
| Não Especialista 06 | Graduação em andamento em Eng. Cartográfica e de Agrimensura |
| Não Especialista 07 | Graduação em andamento em Geologia |
| Não Especialista 08 | Mestrado em Agricultura Tropical |
| Não Especialista 09 | Mestrado em andamento em Ciências Geodésicas |
| Não Especialista 10 | Graduação em Engenharia Cartográfica |
| Não Especialista 11 | Mestrado em andamento em Ciências Geodésicas |

### 3.1.5 Criação dos Cenários de Estudo e Aplicação dos Testes

Foi criado um cenário de estudo no qual os entrevistados foram convidados a imaginar-se em uma mapoteca. Nesta mapoteca eles desempenhariam algumas tarefas que tornariam a experiência de visita inusitada. Nesse sentido, explicou-se que nesta mapoteca seria possível desenhar sobre os mapas com o auxilio de um sistema novo, a Realidade Aumentada. Explicitou-se o conceito de Realidade Aumentada e aplicaram-se os testes conforme será descrito subsequentemente.

Para melhor avaliar as capacidades do sistema (SOMMERVILLE, 1992), bem como, sugerir tarefas de leituras de mapas (BOARD, 1978) para distintos níveis de conhecimento, dividiu-se a aplicação dos testes em três etapas. As atividades propostas em cada uma das etapas foram idealizadas de modo a permitir que fosse construído conhecimento a respeito do tema “Hidrografia do Estado do Paraná”.

Para a condução dos testes, criou-se uma sequência de tarefas e informações como ilustradas pelas Tabela 3.3, Tabela 3.4 e Tabela 3.5, e Figura 3.4 e Figura 3.5. Nelas, pode-se reconhecer os questionamentos que guiaram as intenções desta investigação, bem como, os objetivos de cada um deles. Não longe, evidenciam-se as tarefas de leitura de mapas descritas

por Board (1978), que nortearam a proposição de cada uma das ações desempenhadas pelos usuários entrevistados. A sequência é composta de 3 etapas.

Basicamente, a primeira etapa consiste de uma ambientação dos usuários entrevistados com o sistema de RA, uma vez que o nível de complexidade das atividades e informações requeridas e apresentadas no sistema de RA foi considerado como introdutório. Esta etapa está descrita na Tabela 3.3 e representada na Figura 3.4.

Tabela 3.3 – Perguntas apresentadas na etapa 1

| **ETAPA 1** | | | |
|---|---|---|---|
| | PERGUNTA | OBJETIVO | TAREFA DE LEITURA DE MAPAS |
| **1** | Dado o mapa com o limite territorial brasileiro, delimite o Estado do Paraná. | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Procurar, identificar, reconhecer, delimitar. |
| | *Ligou-se o sistema e projetou-se o limite do Estado do Paraná na tela (Figura 3.4b).* | | |
| **2** | Após apresentado ao sistema, você mudaria algo na sua representação? Por quê? | Instigar confronto de conhecimento para construção de novas fronteiras. | Comparar, contrastar, distinguir, verificar, preferir, gostar. |
| **3** | O sistema ajudou ou prejudicou? | Averiguar a contribuição do sistema na construção do conhecimento espacial. | Preferir, gostar. |

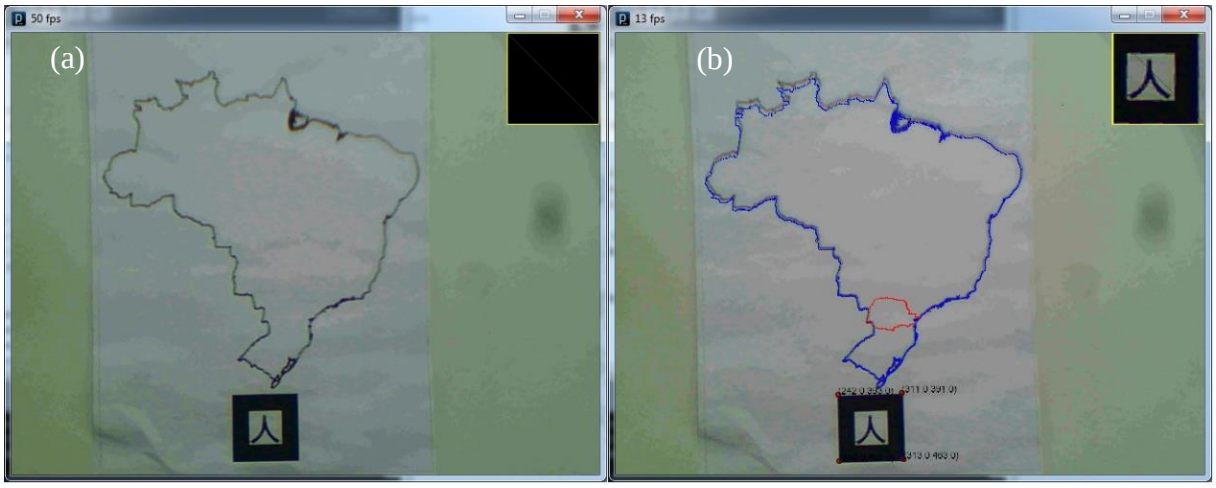



Figura 3.4 – Camadas de Informação Apresentadas na Etapa 1 pelo sistema de Realidade Aumentada. (a) Mapa físico original do Brasil, e (b) Mapa Aumentado com adição da informação digital do contorno do Brasil e do Estado do Paraná.

A segunda etapa foi considerada mais complexa, uma vez que o número de passos seguidos e de camadas de informações apresentadas pelo sistema de RA foi

significativamente maior. Estes passos e as imagens do sistema com a apresentação de cada camada estão descritos na Tabela 3.4 e Figura 3.5.

Tabela 3.4 – Perguntas apresentadas na etapa 2

| | **ETAPA 2** | | |
|---|---|---|---|
| | PERGUNTA | OBJETIVO | TAREFA DE LEITURA DE MAPAS |
| **1** | Dado o mapa com o limite territorial do Estado do Paraná, desenhe, no mínimo, de 4 (quatro) rios que você conheça. | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Procurar, identificar, reconhecer, delimitar. |
| | *Ligou-se o sistema e projetou-se a tela com a imagem SRTM (Relevo) (Figura 3.5c).* | | |
| **2** | O que este produto (imagem) representa? Ele ajuda nesta tarefa? | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Comparar, reconhecer, contrastar, distinguir, verificar. |
| **3** | Você mudaria seu desenho? Por quê? | Instigar confronto de conhecimento para construção de novas fronteiras | Preferir, gostar |
| | *Ligou-se o sistema e projetou-se a tela com os vetores da drenagem (Figura 3.5d). Passados aproximadamente 10s. desligou-se a camada da imagem SRTM (Relevo).* | | |
| **4** | O que este produto (vetores) representa? Ele ajuda nesta tarefa? | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Comparar, reconhecer, contrastar, distinguir, verificar. |
| **5** | Você mudaria seu desenho? Por quê? | Instigar confronto de conhecimento para construção de novas fronteiras. | Comparar, contrastar, distinguir, verificar, preferir, gostar. |
| **6** | O sistema ajudou ou prejudicou? | Averiguar a contribuição do sistema na construção do conhecimento espacial. | Preferir, gostar. |
| **7** | Com base nos seus desenhos, indique por meio de flechas a direção do fluxo da água nos rios representados. | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Procurar, identificar, reconhecer, delimitar. |
| | *Ligou-se o sistema e projetou-se a tela com os vetores da hidrografia e a animação (Figura 3.5e).* | | |
| **8** | O que este produto (vetores) representa? Ele ajuda nesta tarefa? | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Comparar, reconhecer, contrastar, distinguir, verificar. |
| **9** | Você mudaria seu desenho? Por quê? | Instigar confronto de conhecimento para construção de novas fronteiras. | Comparar, contrastar, distinguir, verificar, preferir, gostar. |

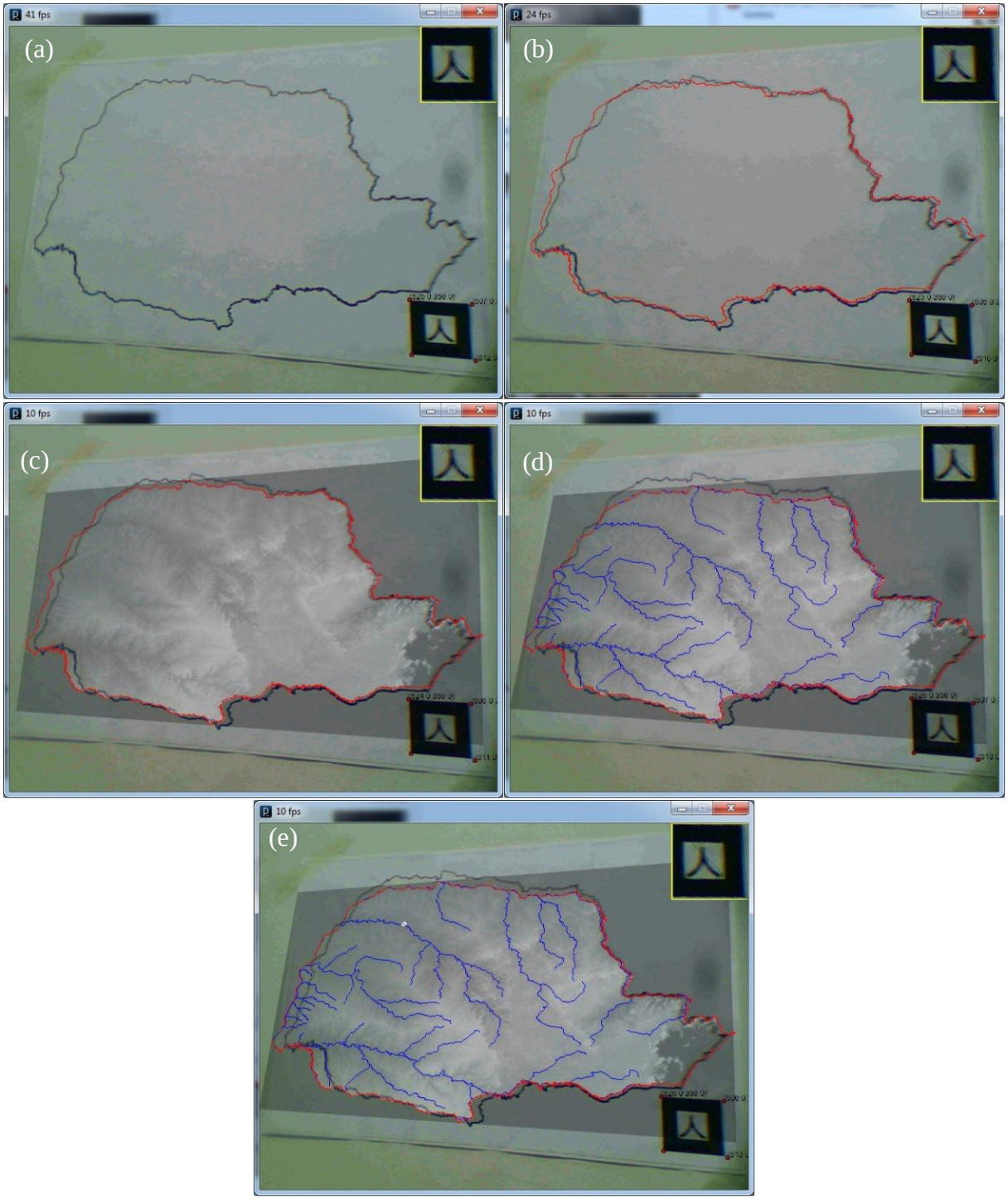



Figura 3.5 – Camadas de Informação Apresentadas na Etapa 2 pelo sistema de Realidade Aumentada. (a) Mapa físico original do Paraná; e (b) Mapa Aumentado com adição da informação digital do contorno do Estado do Paraná, (c) com adição da informação SRTM, (d) com adição da informação da hidrografia e (e) com adição da animação indicando o sentido do fluxo dos rios.

Por fim, a última etapa consistia de uma avaliação geral, onde o sistema de RA não foi utilizado, mas, com isso, procurou-se avaliar as contribuições do sistema de RA pelos usuários, assim como averiguar se houve a construção de conhecimento ao decorrer das etapas anteriores para resposta desta etapa. Os passos desta terceira etapa são apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Perguntas apresentadas na etapa 3

| | **ETAPA 3** | | |
|---|---|---|---|
| | PERGUNTA | OBJETIVO | TAREFA DE LEITURA DE MAPAS |
| **1** | Com base nos seus desenhos, indique pontos ótimos para a instalação de hidroelétricas. Represente-as por meio de traços. Represente, também, por meio de um polígono a posição do lago que formar-se-ia com a instalação de tal empreendimento. | Instigar processos de memória e raciocínio balizados por processos perceptivos e cognitivos. | Comparar, reconhecer, contrastar, distinguir, verificar. |
| **2** | O sistema ajudou ou prejudicou? | Averiguar a contribuição do sistema na construção do conhecimento espacial. | Preferir, gostar. |

Para aplicação desses testes, utilizou-se das ferramentas metodológicas propostas dentro do escopo de pesquisas que adotam o método qualitativo como premissa. Nesse sentido, para todas as etapas, os usuários foram entrevistados segundo o direcionamento dado pelos métodos de observação direta, instrumento no qual os pesquisadores observam diretamente as ações dos entrevistados e assumem suas reações como variáveis importantes a serem descritas e baseadas na aquisição de dados verbais por intermédio do protocolo *Think Aloud* (VAN ELZAKKER, 2004; SCHMIDT, 2012).

## 3.2 RESULTADOS DESTES TESTES PRELIMINARES

Neste item serão apresentados os resultados e discussões acerca das informações que foram alcançadas com o desenvolvimento da investigação preliminar. Num primeiro momento, descreve-se os resultados do sistema de Realidade Aumentada já desenvolvido e, posteriormente, os resultados obtidos por meio da aplicação dos testes com os usuários participantes.

### 3.2.1 O Sistema de Realidade Aumentada

A Figura 3.4 e a Figura 3.5, apresentadas anteriormente, trazem as camadas de informação utilizadas pelo sistema de Realidade Aumentada nas etapas 1 e 2 das entrevistas, respectivamente. Nestas figuras, num primeiro instante, é possível identificar a sequência de informações que foram apresentadas aos entrevistados, tanto na etapa apoiada no mapa do Brasil como na etapa apoiada no mapa do Paraná. Ainda, é possível identificar em cada imagem detalhes como a taxa de apresentação do vídeo em frames por segundo (fps), a identificação dos marcadores fiduciais e suas coordenadas.

Como o cálculo da posição e atitude da câmera/usuário são calculados em tempo real, sendo este cálculo a cada frame do vídeo, optou-se por colocar no sistema a informação sobre quantos frames por segundo (fps) estão sendo calculados pelo sistema de RA e dispostos na tela. Foi possível verificar que, quando apenas a câmera estava ligada, apenas o registro do vídeo foi a uma taxa de, aproximadamente, 50 fps. Quando o sistema de RA era ligado, com o reconhecimento dos marcadores e processamento sendo feitos a cada frame, a taxa foi de 40 fps. Conforme se aumentava a quantidade de informação a ser disposta, o valor da taxa de apresentação decrescia, chegando até 10 fps. Consequentemente, conforme a taxa de atualização do vídeo decresce, mais próximo de ser percebido o processamento "pesado", por vezes podendo causar a impressão de "câmera lenta", ou o "arrasto" das informações e movimentação.

Ainda, foi possível identificar que o sistema algumas vezes apresentava-se instável, nem sempre registrando a camada de informação exatamente sobre o mapa impresso, ou seja, causando um erro de registro. Estes problemas foram percebidos por alguns usuários entrevistados, mas nenhum relatou que tais fatos atrapalharam no desenvolvimento das tarefas propostas neste trabalho. Esta conclusão se assemelha ao relatado Paelke e Sester (2010), em que o posicionamento do usuário utilizando a biblioteca ARToolKit não foi tão preciso, mas foi suficiente para validar o conceito geral do trabalho.

### 3.2.2 Análise dos Resultados dos Testes com Usuários

Após tomarem ciência a respeito da pesquisa, assim como concordarem em participar das entrevistas, os usuários foram apresentados ao cenário de estudo, uma mapoteca. Nesta fase eles foram convidados a desempenhar tarefas de leitura de mapas (BOARD, 1978), como fora descrito na metodologia apresentada anteriormente.

Nesse sentido, na primeira etapa, os entrevistados foram apresentados ao mapa do Brasil sem que fosse ligado o sistema. A seguir, os usuários foram instigados a desenhar o limite político do Estado do Paraná. Neste caso, notou-se que todos os indivíduos buscaram por *landmarks* (marcos ou lugares característicos) que os remetessem à forma do Estado do Paraná. Por exemplo, os especialistas 01 e 03 reconheceram "o bico do Estado do Paraná", conforme disse o especialista 01, referindo-se ao ponto extremo sudoeste do Estado do Paraná, localidade próxima à usina hidroelétrica de Itaipu. Estes indivíduos também procuraram "a forma da costa" que, para o especialista 03 "tem um arqueamento" e "uma entrada", correspondendo à baia de Paranaguá, o que suscita conhecimento contido numa matriz de raciocínio mais complexo balizado por um conhecimento construído por meio de experiências anteriores (SANTIL et. al., 2011). Os usuários classificados como não especialistas buscaram também *landmarks*, entretanto, suas análises foram conduzidas de forma menos complexa, não se atentando tanto para a análise e acurácia de suas representações.

Logo em seguida, quando o sistema de Realidade Aumentada foi ligado e, ligadas as camadas de informação que representava o contorno do Brasil e o Estado do Paraná, as reações também foram parecidas. Os entrevistados especialistas esboçaram reconhecer o que estava representado pelo sistema, bem como admitiram a falta de acurácia de seus desenhos. Porém, os não especialistas esboçaram uma reação de insatisfação com suas representações, ou mesmo diversão com a forma de "demonstração do gabarito".

Ao perguntar se gostariam de fazer modificações em seus desenhos, todos os entrevistados concordaram que deveriam fazer ajustes, conforme aquilo que lhes era apresentado pelo sistema de Realidade Aumentada. Não obstante, foi também unânime a utilização do sistema para que fosse consultado, em tempo real, o contorno do Estado do Paraná, sendo que todos assumiram a apresentação da camada de informação como uma ótima forma para validar seus desenhos.

Por meio desta ferramenta os entrevistados inspecionaram sua representação inicial e foram incisivos ao afirmar que o sistema ajudara na condução daquela tarefa. Essa primeira etapa, apesar de incipiente, demonstrou o impacto positivo do uso do sistema de Realidade Aumentada nas tarefas de leitura de mapas apresentadas até este item.

Quando apresentados à segunda etapa, os entrevistados tiveram que representar pelo menos 4 rios do Estado do Paraná. Para tanto, um mapa impresso com o contorno do Estado do Paraná foi fixado no mural de apoio. O objetivo principal era incitar os processos cognitivos dos entrevistados de modo que recordassem, mesmo que minimamente, informações a respeito do tema apresentado.

Como esperado, os usuários especialistas desempenharam essa tarefa de modo mais acurado, recorrendo à consulta do sistema em menor quantidade. Essa reação denota confiança em seus conhecimentos a respeito da localização dos rios do Estado do Paraná. Neste caso, apesar de não saberem a exata posição das feições, compartimentaram o espaço. Um exemplo disto foi o especialista 03, que projetou, mentalmente, regiões como os planaltos paranaenses e detalhou as feições de hidrografia, conforme entendia o funcionamento do relevo em cada um dos compartimentos. Este tipo de relação complexa permitiu que os usuários especialistas tivessem um bom desempenho e confiança em suas representações.

Quando visualizaram as representações do relevo e a camada de informações relativas à hidrografia do Estado do Paraná, os usuários especialistas reconheceram essas camadas de informação como auxiliadoras no processo de aprendizagem e/ou construção do conhecimento dentro do contexto do tema abordado. Por exemplo, o especialista 01 indicou que “esta seria a estratégia que eu adotaria para ensinar sobre a hidrografia paranaense”, posição que também teve o especialista 03 o qual afirmou que “para ensinar sobre a hidrografia do Paraná eu mostraria, primeiro, o mapa do relevo e depois a própria drenagem, assim como na ordem em que me foi apresentado”. Mais um ponto de acordo entre os usuários especialistas foi que a utilização do sistema agregaria condições de interpretação à um indivíduo sem conhecimento específico, caso este utilizasse desta tecnologia para, como disse o especialista 02, “aprender sobre os rios do Paraná”.

Os entrevistados considerados não especialistas valeram-se de uma lógica menos complexa para definir a posição das feições relacionadas à hidrografia. Enquanto muitos deles procuraram desenhar os rios com base nas linhas de divisa do Estado do Paraná, raciocínio este balizado por um conhecimento comum à realidade brasileira, uma vez que muitas das

divisas municipais, estaduais ou mesmo do país, estão dispostas com base em elementos da hidrografia regional. Outros não especialistas arriscaram representar os corpos hídricos de maneira aleatória, assim como afirmou o não especialista 10, ao afirmar que "como não conheço bem o Paraná, vou fazer em qualquer lugar". Em seguida, quando apresentados às informações contidas no sistema de RA, os usuários não especialistas mostraram-se inclinados a fazer modificações em suas representações, com base na utilização do que lhes era apresentado no sistema de Realidade Aumentada.

Por vezes, quando tiradas propositalmente essas camadas de informação do sistema de RA, os indivíduos paravam as suas modificações nos mapas, normalmente pedindo para que fossem novamente projetadas as camadas de informação. Ainda, em alguns casos, mesmo os não especialistas não pedindo que as camadas de informações fossem religadas, estes continuavam a olhar a projeção, como se estivessem na esperança de que as camadas voltassem a ser apresentadas.

Isto denota o impacto deste sistema de RA proposto sobre os usuários entrevistados, uma vez que os usuários criaram um certo vínculo com sistema, pois os mesmos se sentiam mais confiantes em fazer qualquer alteração em seus desenhos quando apoiados pelo sistema. Além disso, como declarado por muitos dos usuários não especialistas, o sistema permitiu que estes usuários aprendessem sobre este tema de forma "mais interativa", expressão utilizada pelo não especialista 01 e também pelo não especialista 03.

Ainda na segunda etapa, os entrevistados tiveram que representar o fluxo dos rios que haviam desenhado. Eles utilizaram como referência os rios que desenharam anteriormente, podendo ser na hidrografia desenhada inicialmente ou a corrigida, caso tenham feito correções com o auxílio do sistema de Realidade Aumentada. Assim como ocorreu nos passos anteriores, os especialistas demarcaram o sentido do fluxo dos rios por meio de relacionamentos cognitivos complexos, como, por exemplo, o especialista 01, que utilizou do procedimento de compartimentação do Estado do Paraná em bacias maiores e menores; e constatou qual era o sentido do fluxo com base em no seu entendimento daquilo que era o mais lógico, conhecendo, apenas, "o sentido do rio Paraná, o maior deles", como afirmou.

Este tipo de comportamento aconteceu de modo análogo nos procedimentos adotados pelos outros especialistas, que utilizaram, também, das formas dos rios, dos arqueamentos dos planaltos, contribuições dos afluentes, entre outras informações por eles conhecidas. De modo geral, os especialistas não utilizaram do sistema para constatar erros ou acertos, mas

perceberem que o sentido do fluxo dos corpos hídricos era o que estava sendo representado pela animação. Todos afirmaram que não necessitariam validar os resultados da direção do fluxo dos rios com esta animação, mas que esta possibilidade era uma ferramenta interessante. Ao fim, consideraram o sistema uma "ferramenta de grande auxílio para pessoas que não têm conhecimento sobre este assunto" — afirmação exposta pelo especialista 02 – e, ainda, que utilizariam tais recursos na transmissão de conhecimento.

Diferentemente dos usuários especialistas e, corroborando com aquilo que aconteceu nos passos anteriores, os usuários não especialistas procederam com a indicação do sentido do fluxo dos corpos hídricos, normalmente, com base em indicações aleatórias. Entretanto, alguns desempenharam corretamente esta tarefa apoiando-se no conhecimento adquirido ao longo do experimento, principalmente quando lhes foi apresentado em passos anteriores o relevo do estado do Paraná. Contudo, quando apresentado aos não especialistas a animação referente ao fluxo dos rios, grande parte demonstrou-se entusiasmada. Por mais que alguns tenham inicialmente acertado a direção do fluxo dos rios, todos ficaram esperando a animação passar pelos rios que tinham representado, demonstrando que compreenderam do que se tratava a animação e que esta seria uma forma de ensinar, ou validar, a direção do fluxo dos rios que haviam representado.

A aleatoriedade nas repostas de alguns usuários nos procedimentos reafirmou o enquadramento destes usuários no estrato de não especialistas. Isto pode ser um tipo de inferência automática, assim como àquilo que Lakoff (1987) chamou de "ligar no automático", quando apontou que é comum ver indivíduos tomando decisões em situações rotineiras ou nas quais não conhecem a fundo. Situações que podem exemplificar isto foram dadas pelos usuários não especialistas 07 e 09, que preferiram indicar feições de hidrografia de modo aleatório. Deste modo, cumpririam em parte sua tarefa e poderiam esperar "o gabarito do sistema", como dissera o não especialista 07, ou mesmo ver "a representação correta", afirmação exposta pelo não especialista 09.

Isso deixa claro que os indivíduos entrevistados recorreram ao sistema como forma de "aprender sobre os rios do Paraná" — afirmação exposta pelo não especialista 07 — o que implica na efetiva validação do impacto do sistema de RA no desempenho dos usuários entrevistados nas tarefas de leituras de mapas.

Na terceira e última tarefa, os entrevistados tiveram que representar locais ótimos para a instalação de usinas hidrelétricas e os reservatórios de água resultantes das barragens. Com

isso, seria possível verificar se houve a efetiva construção do conhecimento ao longo das etapas da entrevista e apresentações das camadas de informações pelo sistema de RA.

Os especialistas recorreram a um conhecimento prévio, sabendo informar com certa precisão a posição das hidrelétricas já existentes no Estado do Paraná, assim como a localização e, por vezes, um esboço das devidas proporções dos reservatórios. Já para os não especialistas, boa parte não sabia onde existiam hidrelétricas, alguns destes sabendo localizar Itaipu. Entretanto, como base no conhecimento e nos desenhos feitos por eles nos mapas, a maioria acabou por colocar hidrelétricas a jusante da confluência de rios, sendo relatado pelos mesmo que seria "onde chega mais água". Com isso, demonstraram a construção do conhecimento sobre a direção do fluxo dos rios e detalhamento sobre a contribuição dos rios afluentes.

Como forma de elucidar e exemplificar as diferenças obtidas nos testes entre os usuários entrevistados é apresentada a Figura 3.6. Nela são exibidos os mapas finais desenvolvidos pelos usuários nas Etapas 2 e 3 do teste, etapas estas relativas ao Estado do Paraná. A Figura 3.6(a) apresenta o resultado de um usuário especialista, enquanto que a Figura 3.6(b) traz o mapa de um usuário não especialista. Além da clara diferença entre as informações nos mapas, destaca-se a utilização de diferentes cores nas representações. A cada alteração com auxílio do sistema de Realidade Aumentada que o usuário fizesse em seus desenhos, foi pedido que o mesmo trocasse de cor de caneta usada para desenhar.

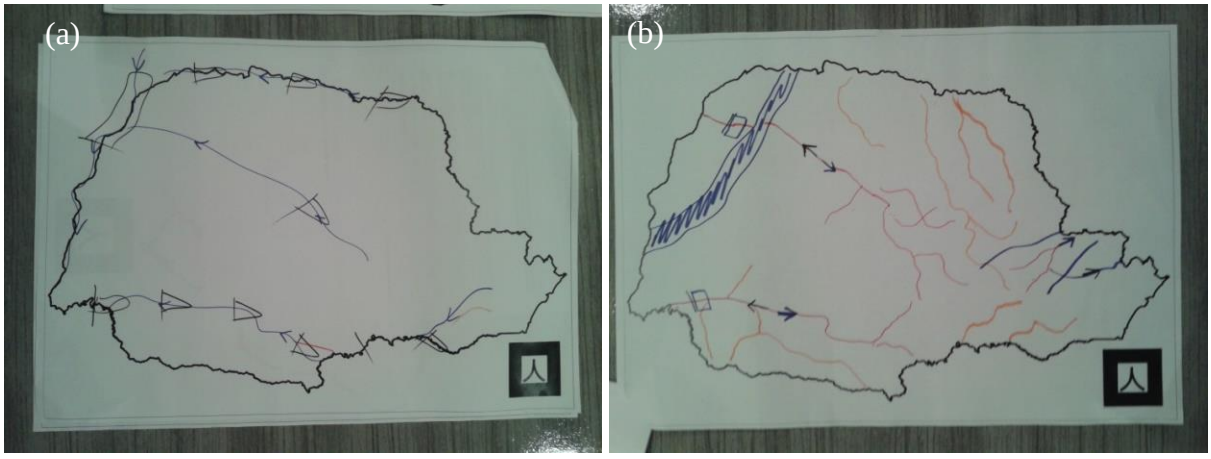



Figura 3.6 – Comparação entre os mapas resultantes das Etapas 2 e 3, propostas na metodologia. (a) Especialista e; (b) Não Especialista.

O mapa do especialista - Figura 3.6(a) - apresentou pouca variação de cores, mostrando que o mesmo não fez muitas alterações durante os processos. Entretanto, é

possível verificar que existem algumas alterações, demonstrando contribuições do sistema de RA mesmo nas respostas dos especialistas. Além disso, como relatado anteriormente, os especialistas foram capazes de identificar, de maneira aproximada, a posição de hidrelétricas existentes, assim como as variações em proporção dos reservatórios formados.

Para o mapa do não especialista – Figura 3.6(b), é possível visualizar que o sistema de RA propiciou que fizesse correções significativas em suas representações. Isto fica claro, inicialmente, pelo número de alterações e trocas de cores pelo usuário. Atenta-se, neste caso, para as alterações na hidrografia da região noroeste, onde, em um primeiro momento, foi representada a hidrografia "hachurada" e, em seguida, modificada sua representação para uma posição quase perpendicular. Ainda, é possível verificar a alteração das flechas indicativas do sentido do fluxo em dois rios. Porém, é possível identificar que os polígonos que representam as hidrelétricas instaladas e seus reservatórios encontram-se na confluência dos rios ou "no final" dos mesmos, "onde chega mais água", como também já relatado anteriormente. Com isso, percebe-se que o sistema de Realidade Aumentada contribuiu para as alterações nas representações e que, na etapa em que as hidrelétricas tinham que ser posicionadas, o usuário já havia criado um conhecimento prévio, fazendo uso, desta vez, de um raciocínio mais complexo para tomada de decisão.

### 3.2.3 Avaliações e potencialidades do sistema de realidade aumentada segundo os usuários entrevistados

Ao final das entrevistas, pediu-se aos usuários, de ambos os estratos, que fosse avaliada a proposta do sistema de Realidade Aumentada, primeiramente para o cenário estudado e, depois, para novos cenários e aplicações. Nesse sentido, observou-se que para o cenário idealizado para esta avaliação foi positiva, de modo que os indivíduos entrevistados indicaram questões ligadas à atratividade.

Também, referiu-se a questões de ordem de "custo - benefício", uma vez que se economizou em espaço e recursos físicos, como no caso do tamanho reduzido desta suposta mapoteca e menor quantidade de mapas impressos, respectivamente.

As sugestões para aplicações foram deveras interessantes, pois demarcaram territórios do conhecimento distintos e, talvez, não idealizados até o momento da concepção dos testes.

As sugestões segundo os usuários foram: Aplicações relativas a aulas e/ou instruções; Aplicações em reuniões técnicas; Aplicações para museus e museus táteis; Aplicações para o *indoor mapping*.

## 3.3 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS PRELIMINARES

De forma mais abrangente, entende-se que foi atingido o objetivo principal deste trabalho inicial. Isso porque foi elaborado e avaliado um sistema de Realidade Aumentada, o qual possibilitou testes com usuários. As tarefas desempenhadas pelos indivíduos tiveram como suporte as camadas de informações apresentadas pelo sistema de Realidade Aumentada, que permitiam aos usuários entrevistados manipular o ambiente real e objetos virtuais simultaneamente para construção do conhecimento.

A sequência de apresentação das informações, segundo aquilo que foi proposto na metodologia e ratificado pelos usuários especialistas, e permitiu que usuários sem conhecimento a respeito do tema Hidrografia do Estado do Paraná construíssem algum tipo de conhecimento, além de uma experiência marcante, como relatado por muitos entrevistados.

Da execução dos testes, percebeu-se que há uma efetiva melhoria na execução de tarefas pelos usuários com a utilização do sistema de Realidade Aumentada. Os usuários foram capazes de desempenhar as tarefas a eles incumbidas, normalmente melhorando seu desempenho ou corrigindo situações anteriores.

Percebeu-se, também, que os indivíduos buscaram apoio no sistema de RA mesmo em momentos que nada era reproduzido na tela, o que permitiu ratificar a contribuição do sistema no desenvolvimento das tarefas apresentadas, permitindo ser concluído que existiu uma confiança e empatia entre os usuários e o sistema de Realidade Aumentada.

Desta forma, foi comprovada a capacidade de desenvolvimentos dos sistemas de RA para interação com mapas e dados geográficos e, mais que isso, foi possível analisar com testes com usuários os benefícios trazidos pelo sistema de RA. Com isso, deu-se continuidade nos estudos, desenvolvimento e aprofundamento sobre o tema a fim de aprimorar os sistemas de RA e testá-los com usuários. Os novos sistemas de RA desenvolvidos, assim como novos testes com usuários são apresentados nos capítulos a seguir.

# 4 COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE REALIDADE AUMENTADA EM AMBIENTE DESKTOP E DISPOSITIVOS MÓVEIS, COM E SEM MARCADORES FIDUCIAIS

Uma vez que foi considerada e constatada como promissora a utilização de Realidade Aumentada, mapas e dados geográficos, deu-se continuidade e aprofundamento sobre o tema. Um segundo estudo preliminar foi executado a fim de se analisar o desenvolvimento e implementação de um sistema de RA para dispositivos móveis, para que os usuários não necessitassem mais estar ligados a computadores desktop para executar suas tarefas relativas à leitura de mapas e interações com dados geográficos.

Com isso, pretende-se também, de maneira inicial, obter um sistema de Realidade Aumentada onde o usuário poderia segurar o dispositivo móvel e, através deste, visualizar a informação geográfica virtual sobre os objetos reais (neste caso, os mapas impressos). Desta forma, pretendeu-se desenvolver um sistema de RA semelhante a descrição dada por diversos autores como a “lente mágica”, por onde o usuário poderia visualizar a informação virtual a partir da tela do dispositivo móvel.

Ainda, outro fator levado em consideração neste segundo estudo preliminar foi tentar evitar a dependência de marcadores fiduciais externos ao mapa para execução do rastreio e monitoramento do movimento do dispositivo móvel e o objeto real de referência. Ou seja, este estudo preliminar também teve enfoque no desenvolvimento de um sistema de Realidade Aumentada que pudesse se utilizar do rastreio do próprio mapa impresso, eliminando a necessidade de elementos externos ao mapa, como os marcadores fiduciais do ARToolKit.

## 4.1 METODOLOGIA

Um estudo comparativo de duas diferentes metodologias de registro do sistema virtual e do real foi desenvolvido. As duas metodologias foram avaliadas durante o desenvolvimento do sistema de Realidade Aumentada para Cartografia e são descritas a seguir. A primeira metodologia se baseia no reconhecimento de símbolos externos (marcadores fiduciais) adicionados aos mapas, e a segunda se baseia no reconhecimento do próprio mapa para registro da informação virtual.

Para se calcular o ponto de vista do usuário, e em tempo real, pode-se utilizar a biblioteca ARToolKit, que usa algoritmos de reconhecimento de padrões para calcular a posição, atitude e orientação da câmera/usuário relativamente aos alvos ou marcadores, permitindo ao sistema sobrepor objetos virtuais aos elementos reais (FIALA, 2005; SCHÖNING, KRÜGER e MÜLLER, 2006; HE et al., 2006).

Segundo Adithya et al. (2010), o ARToolKit tem dois procedimentos de transformação, podendo ser melhor visualizados na Figura 3.2, apresentada anteriormente na página 73. Esta opção foi utilizada no primeiro protótipo do Sistema de Realidade Aumentada. Este sistema foi desenvolvido para ambiente desktop, utilizando uma *webcam* móvel para captura da cena real, com processamento da orientação da *webcam* em relação ao mapa e aos marcadores fiduciais realizado em um computador, sendo o resultado apresentado com um projetor. Foi utilizada a biblioteca ARToolKit, com a disposição da informação virtual sobre o mapa apresentada em tempo real. Com isso, a *webcam* poderia ser movida, aproximando ou afastando, simulando ações de *zoom in*, *zoom out* e *pan*, e a informação virtual sendo registrada em tempo real sobre o mapa impresso.

Porém, esta adição de símbolos como os marcadores fiduciais – que não são elementos tradicionais dos mapas – pode acabar por dificultar a leitura dos mesmos, uma vez que podem "poluir" o *layout* dos mapas. Desta forma, a utilização de métodos de visão computacional que utilizem o próprio mapa como fonte de registro entre o ambiente real e as informações virtuais pode facilitar o processo de leitura dos mapas. Ou seja, tais métodos tornariam os mapas "mais limpos", sem a necessidade de adição de informações que não sejam tradicionalmente constituintes do mapa, como estes marcadores fiduciais externos.

Nesta metodologia adotada para o segundo protótipo de RA, o processo de transformação entre o mundo real e o virtual é semelhante ao apresentado na Figura 3.2 (apresentada anteriormente na página 73), porém, sem a utilização do marcador fiducial. Desta vez, o próprio mapa é utilizado como referência no ambiente real para registro da informação virtual.

Sendo assim, neste segundo sistema de Realidade Aumentada, utilizou-se o próprio mapa para o registro das informações virtuais, sem a necessidade de marcadores fiduciais externos. Fez-se uso então da biblioteca Qualcomm Vuforia para a implementação deste sistema de RA, com a abordagem *markerless* (sem a utilização de marcadores externos), como apresentado anteriormente na seção 2.3.1, página 37.

Também, este segundo protótipo do sistema de RA foi desenvolvido para sistema Android, para uso em *tablets* e *smartphone*. Segundo Ternier et al. (2012), o uso de dispositivos móveis - como *tablets* e *smartphones* - tem muitas vantagens para RA, como a possibilidade de ser executado em dispositivos pessoais e a implementação de uma estratégia de "Traga Seu Próprio Dispositivo" (BYOD – *Bring Your Own Device*). Com isso, a utilização de um sistema operacional generalizado – como o sistema Android – pode tornar a solução muito mais barata em comparação com soluções que precisam hardware especial.

Ainda, devido aos avanços na capacidade de memória e processador, estes dispositivos móveis têm se apresentado tão robustos quanto computadores desktop. Desta forma, implementou-se também no sistema de RA para Android a possibilidade de explorar diversos formatos de camadas de informação, como em formatos vetoriais (linhas e polígonos), imagens, animações e elementos em 3D – como o relevo.

## 4.2 RESULTADOS

No primeiro protótipo de sistema de Realidade Aumentada foi utilizado um marcador fiducial para reconhecimento pela biblioteca ARToolKit e registro das camadas de informação sobre o vídeo capturado pela câmera. Quando este marcador era identificado, eram feitas as devidas transformações do sistema de coordenadas do espaço do objeto para o sistema de coordenadas do espaço da câmera e posteriormente para o sistema de coordenadas do espaço da tela. Na Figura 4.1 é apresentado um exemplo do produto do sistema de RA, baseado nos marcadores fiduciais e a biblioteca ARToolKit. Na Figura 4.1a é mostrado o mapa impresso e o marcador fiducial, a cena real. Na Figura 4.1b é mostrado o produto da fusão dos dados, superpondo os contornos do Brasil, em azul, e do estado do Paraná (vermelho) ao mapa real.

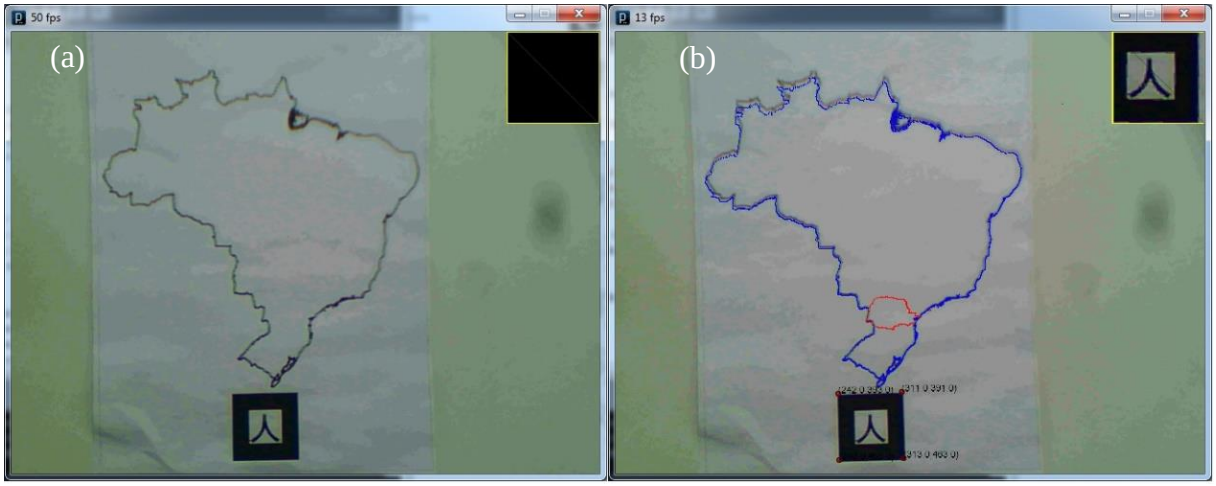



Figura 4.1 – Exemplo de Realidade Aumentada com o sistema de Realidade Aumentada utilizando marcadores fiduciais e biblioteca ARToolKit. (a) Mapa impresso original, e (b) Mapa Aumentado com adição da informação digital do contorno do Brasil e do Estado do Paraná.

Percebe-se, na Figura 4.1, que o sistema adicionou a informação virtual corretamente, executando rotações, translações e fatores de escala para sobrepor a informação virtual sobre o mapa impresso. Entretanto, uma pequena distorção na imagem virtual sobreposta na Figura 3b pode ser verificada ao norte, mas essa não compromete a percepção da sobreposição das camadas de informação – da informação virtual sobrepondo o objeto real.

A Figura 4.2 apresenta o mesmo sistema, aplicado ao mapa do Paraná. Para este, implementou-se também a apresentação da informação virtual referente ao contorno do Estado (Figura 4.2b), a uma imagem referente aos dados altimétricos (Figura 4.2c) e à hidrografia (Figura 4.2d). Novamente, percebe-se que o sistema fez as devidas transformações, em tempo real, para sobrepor a informação virtual sobre o objeto real (o mapa).

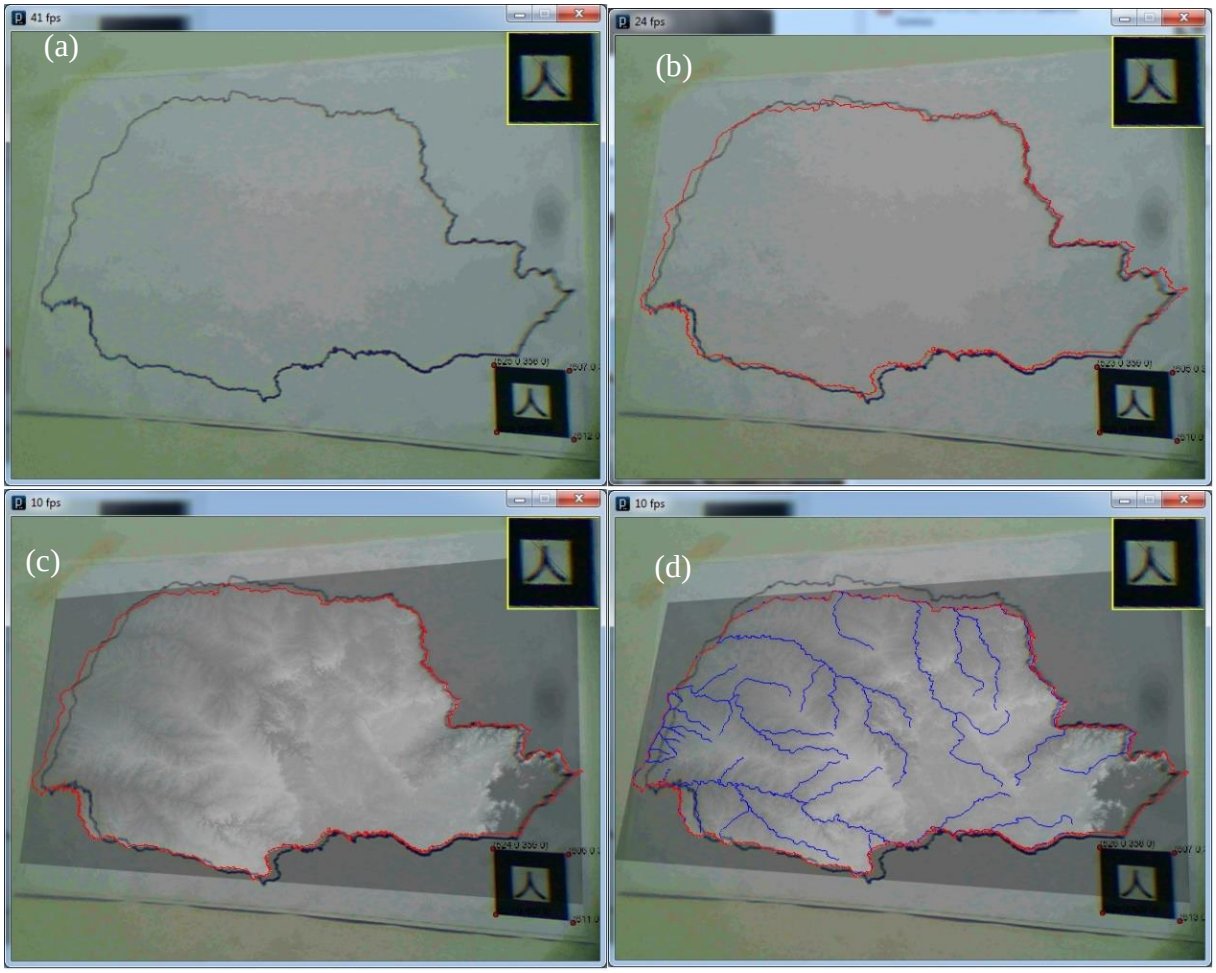



Figura 4.2 – Sistema de RA utilizando marcadores fiduciais e biblioteca ARToolKit para o Estado do Paraná. (a) Mapa impresso original com o contorno do Estado do Paraná; (b) apresentação virtual do contorno do Estado; (c) adição da informação altimétrica (SRTM), (d) adição da informação da hidrografia.

Ainda, foi possível identificar que o sistema algumas vezes se apresentava instável, nem sempre registrando a camada de informação exatamente sobre o mapa impresso, ou seja, causando um erro de registro. O erro de registro prejudica a coincidência entre o espaço real e o virtual, fazendo com que a diferença entre os objetos virtuais e os reais se torne mais evidente, como mostrado na Figura 4.2. Na Figura 4.2 (b, c e d) pode-se perceber este erro de registro ao se atentar para as bordas em preto - que correspondem ao mapa impresso - e as bordas em vermelho - que são as informações virtuais adicionadas.

Porém, por mais que exista este erro de registro, não se podem descartar as possibilidades que este sistema oferece para interação dos usuários com o mapa e informações virtuais. Esta conclusão se assemelha ao relatado por Paelke e Sester (2010), em que o posicionamento do usuário utilizando a biblioteca ARToolKit não foi tão preciso, mas foi suficiente para validar o conceito geral do trabalho.

O problema de erro no registro entre a informação virtual e o mapa pode ser recorrente em sistemas baseados em marcadores fiduciais. Este problema é acentuado devido à posição do marcador, normalmente fora do mapa, nas extremidades, como mostrado nas Figura 4.1 e Figura 4.2. Como o algoritmo de reconhecimento de padrões é a base para a orientação do modelo em tempo real, pequenas variações, mesmo da ordem de um pixel, no reconhecimento do marcador podem ter efeitos significativos no restante do mapa, pois podem alterar a definição da escala e a orientação do sistema virtual em relação ao real. Uma pequena rotação do marcador fiducial pode causar grandes variações no mapa visualizado, na medida em que a área visualizada se afasta do marcador. Quando o marcador se encontra na extremidade do mapa, esta variação angular se torna mais perceptível em regiões afastadas do marcador, como é visível nas Figura 4.1 e Figura 4.2.

O ideal, neste caso, seria posicionar os marcadores fiduciais no interior do mapa. Porém, além de os marcadores poderem "poluir" o *layout* do mapa, este marcador estaria atrapalhando a leitura da informação de interesse. Mesmo que os mapas impressos apresentados na Figura 4.1 e Figura 4.2 sejam apenas da fronteira do Brasil ou do estado do Paraná, ao se posicionar estes marcadores no interior do mapa, isso poderia causar um desvio de atenção no processo de leitura do mapa.

No segundo protótipo do sistema de RA optou-se por utilizar o próprio mapa para registro, sem a necessidade de marcadores fiduciais externos específicos. A Figura 4.3 ilustra o uso deste segundo sistema de RA, sem a utilização de marcadores fiduciais. Na Figura 4.3a, é possível perceber que o mapa apresenta apenas informações tradicionais, como legenda, escala, norte, e o próprio mapa, sem adição de elementos externos (como os marcadores fiduciais utilizados anteriormente).

É possível destacar que o registro da informação sobre o mapa é muito mais precisa, com os limites das camadas de informação sobrepondo o mapa de forma mais acurada. A maior precisão deste registro pode ser verificada comparando-se os limites dos municípios ou a hidrografia, que estão sobrepostos à fronteira do Estado do Paraná e ao contorno do mapa. Isto porque a distorção angular é muito menor do que a proporcionada pelo marcador fiducial na extremidade do mapa. Neste caso, os pontos que são utilizados para o registro estão distribuídos em todo o mapa, considerando o mapa como um todo para o registro.

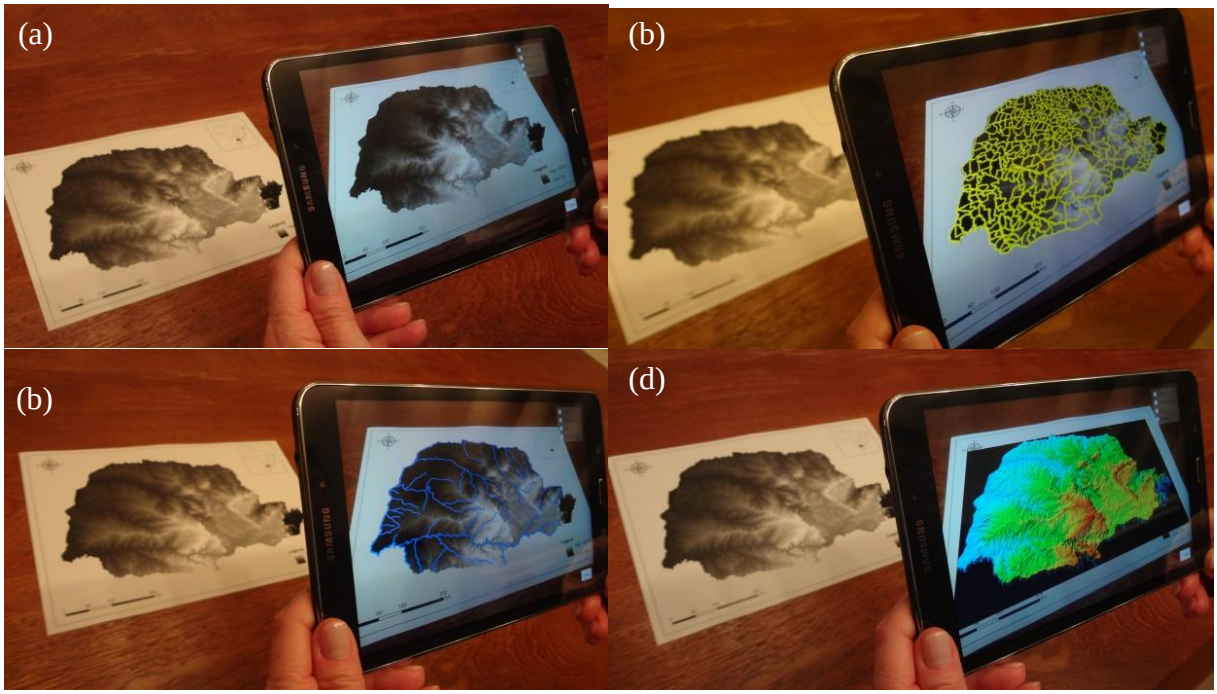



Figura 4.3 – Sistema de Realidade Aumentada, sem marcadores fiduciais e para dispositivos. (a)Mapa do Estado do Paraná sendo filmado pelo sistema; (b) Apresentação da camada dos limites dos municípios do Estado do Paraná; (c) apresentação da camada com hidrografia principal do Estado do Paraná; (d) A apresentação do relevo em 3D.

Ainda, é possível verificar que a Realidade Aumentada para dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*, traz a informação à mão do usuário, tornando a manipulação do ambiente real e virtual ainda mais intuitiva e interativa. A característica de "lente mágica" – ou uma "janela" para o mundo virtual – se torna mais incisiva, onde o dispositivo móvel estaria fazendo um "raio-x" do mapa e apresentando novas informações adicionais e virtuais sobre ele.

Desta forma, pode-se afirmar que, seja em versão desktop ou para dispositivos móveis, com marcadores fiduciais ou não, a Realidade Aumentada é capaz de adicionar camadas de informação virtual sobre os mapas, possibilitando um ambiente mais interativo e podendo trazer contribuições para a leitura dos mapas e melhor compreensão do espaço geográfico. Percebe-se assim que a Realidade Aumentada pode ser utilizada na Cartografia como uma forma de adicionar informações virtuais sobre o mapa, seja com atualizações, animações, apresentações de outras camadas de informação, ou mesmo elementos em 3 dimensões, como no caso do relevo.

Em comparação com sistemas que necessitam de marcadores fiduciais específicos, os sistemas que utilizam o próprio mapa como base para o registro apresentam a vantagem de

não incluírem elementos externos, que não são tradicionalmente constituintes de um mapa. Ou seja, sem a necessidade de incluir elementos externos, o mapa se tornaria mais natural. Ou ainda, sem a necessidade da inserção destes marcadores fiduciais específicos, mapas já impressos para outros propósitos podem também ser "aumentados", uma vez que o mapa em si é que será utilizado para o registro da informação virtual.

Outro ponto a ser comparado é a diferença entre um sistema para desktop e para dispositivos móveis. Enquanto que computadores desktop têm maior capacidade de processamento para as camadas de Realidade Aumentada, estas informações são apresentadas na tela do computador ou projetadas por um dispositivo multimídia, nem sempre dando a sensação para o usuário de manipulação direta do mapa ou da informação virtual.

Já para dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*, tem-se a representação da informação à mão do usuário, com manipulação mais intuitiva, podendo ser mais perceptível esta característica de "lente mágica". Ainda, com os avanços na tecnologia e capacidade de processamento de dispositivos móveis, a complexidade da informação a ser disposta no sistema de Realidade Aumentada pouco perde para um sistema Desktop.

Percebe-se também que afirmações como a de Nilsson e Johansson (2008) – de que a Realidade Aumentada proporciona a "fusão de mundos" (do real e do virtual) – e de Schöning, Krüger e Müller (2006) – de que estes sistemas de RA para dispositivos móveis podem ser caracterizados como uma "lente mágica" – são relevantes e pertinentes, uma vez que os Sistemas de Realidade Aumentada trazem esta sobreposição das informações digitais sobre o mundo real em tempo real, e que podem ser uma "janela" para a visualização de informações adicionais sobre determinada área ou fenômeno.

Desta forma, a partir destes estudos preliminares apresentados, foram verificadas algumas potencialidades dos sistemas de RA para utilização na Cartografia, com mapas e dados geográficos, assim como contribuições nas tarefas de leituras de mapas pelos seus usuários e possibilidades de implementações de diversos sistemas, com diferentes abordagens, metodologias e dispositivos.

Com isso, devido aos resultados positivos alcançados nestes dois estudos preliminares apresentados neste capítulo, as seções e capítulos subsequentes apresentam o aprofundamento no estudo e desenvolvimento e exploração de novas funcionalidades para os sistemas de Realidade Aumentada para utilização com Cartografia, mapas e dados geográficos, em

especial utilizando a abordagem *markerless* e para dispositivos móveis, assim como testes com usuários para verificação das contribuições destes sistemas de RA.

# Capítulo 4 - Desenvolvimento de sistemas e funcionalidades para Realidade Aumentada para Cartografia

# 5 UTILIZAÇÃO DO MAPA POLÍTICO RODOVIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DO PARANÁ E DADOS GEOGRÁFICOS OFICIAIS DO ESTADO

Após a verificação, principalmente no capítulo dos estudos preliminares, de que a Realidade Aumentada para fins de interação com mapas e dados geográficos se mostrou realmente como uma promissora linha de pesquisa, tendo alcançado bons resultados na análise com usuários. Sendo demonstrado que houve uma melhoria na execução das tarefas propostas pelos usuários com apoio na RA (seção 3, pág. 70), e que era possível tanto a implementação dos sistemas em ambiente desktop ou para dispositivos móveis, com ou sem marcadores fiduciais (seção 4, pág. 90), resolveu-se dar continuidade no desenvolvimento e aprofundamento dos sistemas de RA. Para isso, foram verificadas, implementadas e exploradas diferentes funcionalidades nos protótipos de RA para interação com variados tipos de mapas e dados geográficos.

Com isso, é apresentado este capítulo, referente a exploração e desenvolvimento dos protótipos de RA, em ambiente para dispositivos móveis. As seções subsequentes estão divididas em função de cada aplicação desenvolvida, explorando diferentes recursos e fazendo-se uso de mapas, em especial, sem o uso de marcadores fiduciais para não alterar o *layout* dos mesmos. Para cada seção a ser explorada, buscou-se desenvolver um "estudo de caso" sobre determinada área ou dado geográfico, de maneira a explorar a funcionalidade desenvolvida e trazer uma aplicabilidade do sistema de RA.

A primeira possibilidade para os sistemas de RA explorada nesta seção é o desenvolvimento de um protótipo de RA para ser utilizado sobre um mapa impresso oficial do Estado do Paraná. Por tratar-se de um mapa oficial, o intuito foi justamente preservar o *layout* original do mapa. Foram implementadas também demais camadas de informação digital, todas de órgão e instituições oficiais do Estado, como forma de concentrar várias informações geográficas oficiais sobre um mesmo mapa. Também, ferramentas como animação em função do tempo (*timelapse*) foram exploradas como recurso adicional a ser oferecido pelos sistemas de RA.

## 5.1 METODOLOGIA

Como não há necessidade de quaisquer alterações na apresentação do mapa como inserção de símbolos especiais para o rastreamento, para este estudo foi utilizado um mapa oficial do Estado do Paraná, produzido pela Secretaria do Estado de Infraestrutura e Logística – Departamento de Estradas e Rodagens. Este mapa é o Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná, apresentado na Figura 5.1. O mesmo está disponível em http://www.infraestrutura.pr.gov.br.

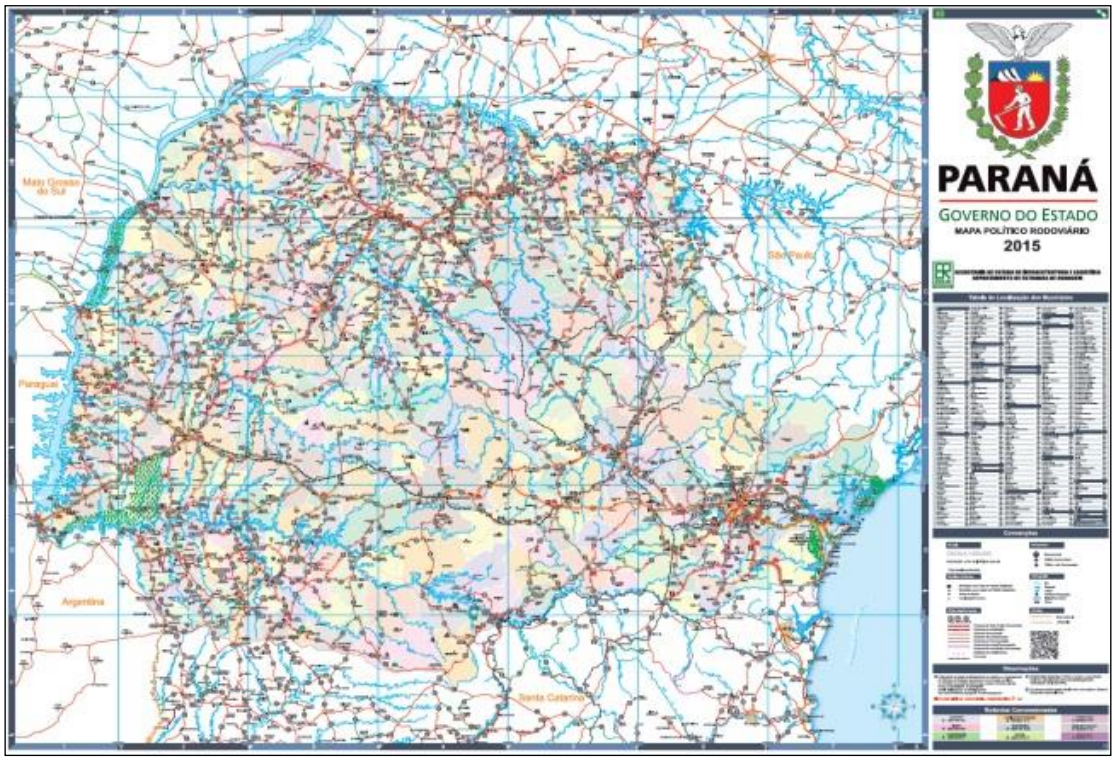



Figura 5.1 - Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná produzido e disponibilizado pelo Governo do Estado do Paraná.

Estes mapas políticos rodoviários são bastante tradicionais, sendo utilizados amplamente por grande quantidade de usuários, seja em órgãos e instituições públicas, empresas, ou mesmo escolas. O objetivo deste trabalho foi fazer uso destes mapas, já tradicionalmente utilizados, para sobrepor outras camadas geoespaciais de forma a auxiliar seus usuários no entendimento dos dados ou mesmo para análises mais complexas a respeito do Estado do Paraná.

O objetivo então desta implementação foi a exploração do uso de dados oficiais - ou previamente produzidos por outras fontes - para sobrepor outras informações que possam ser

relevantes aos usuários em suas análises, utilizando-se do recurso de sobreposição da informação.

Com isso, as camadas a serem sobrepostas neste mapa são referentes às informações geoespaciais relacionadas às características físicas, políticas, sociais e demográficas, econômicas e ambientais, tais como relevo, características de solos, vegetação, uso e ocupação do solo, urbanizações e informações populacionais, assim como informações de monitoramento ambiental ou climáticos, como as condições do tempo. Para isto, foram explorados alguns recursos que a RA pode oferecer, como a sobreposição ao mapa impresso de camadas de informação digital em 2D, 3D e animações (evolução temporal das condições meteorológicas - *timelapse*).

De maneira a melhor apresentar os dados geoespaciais virtuais utilizados na implementação deste sistema de Realidade Aumentada, assim como a fonte dos dados e o formato em que esta informação será apresentada no sistema de RA, tem-se a Tabela 5.1. Os mapas originais a serem apresentados digitalmente pela RA são apresentados nas Figura 5.2, Figura 5.3 e Figura 5.4.

Tabela 5.1 – Dados e Mapas digitais utilizados.

| **Dados** | **Fonte** | **Formato** |
|---|---|---|
| Regiões Geográficas | IPARDES / Lei Estadual n° 15.825/08 / ITCG | 2D |
| Grau de Urbanização | IPARDES / IBGE / ITCG | 2D |
| Taxa de crescimento da População | IPARDES / IBGE / ITCG | 2D |
| Densidade Demográfica | IPARDES / IBGE / ITCG | 2D |
| Índice de Desenvolvimento Humano | IPARDES / PNUD / IPEA / FJP / ITCG | 2D |
| Produto Interno Bruto per Capita | IPARDES / IBGE / ITCG | 2D |
| Cobertura Vegetal Nativa | IPARDES / MAACK / ITCG | 2D |
| Remanescente Cobertura Vegetal Nativa | IPARDES / SOS Mata atlântica / ITCG | 2D |
| Uso da Terra | IPARDES / SOS Mata atlântica / ITCG | 2D |
| Degradação | SEMA / ITCG | 2D |
| Solos | EMBRAPA / EMATER / ITCG | 2D |
| Geomorfologia | SEMA / ITCG | 2D |
| Temperatura | SIMEPAR | 2D |
| Umidade | SIMEPAR | 2D |
| Precipitação | SIMEPAR | 2D |
| Pluviômetros | SIMEPAR | Objetos 3D |
| Satélite EUMETSAT | SIMEPAR | Animação 2D |

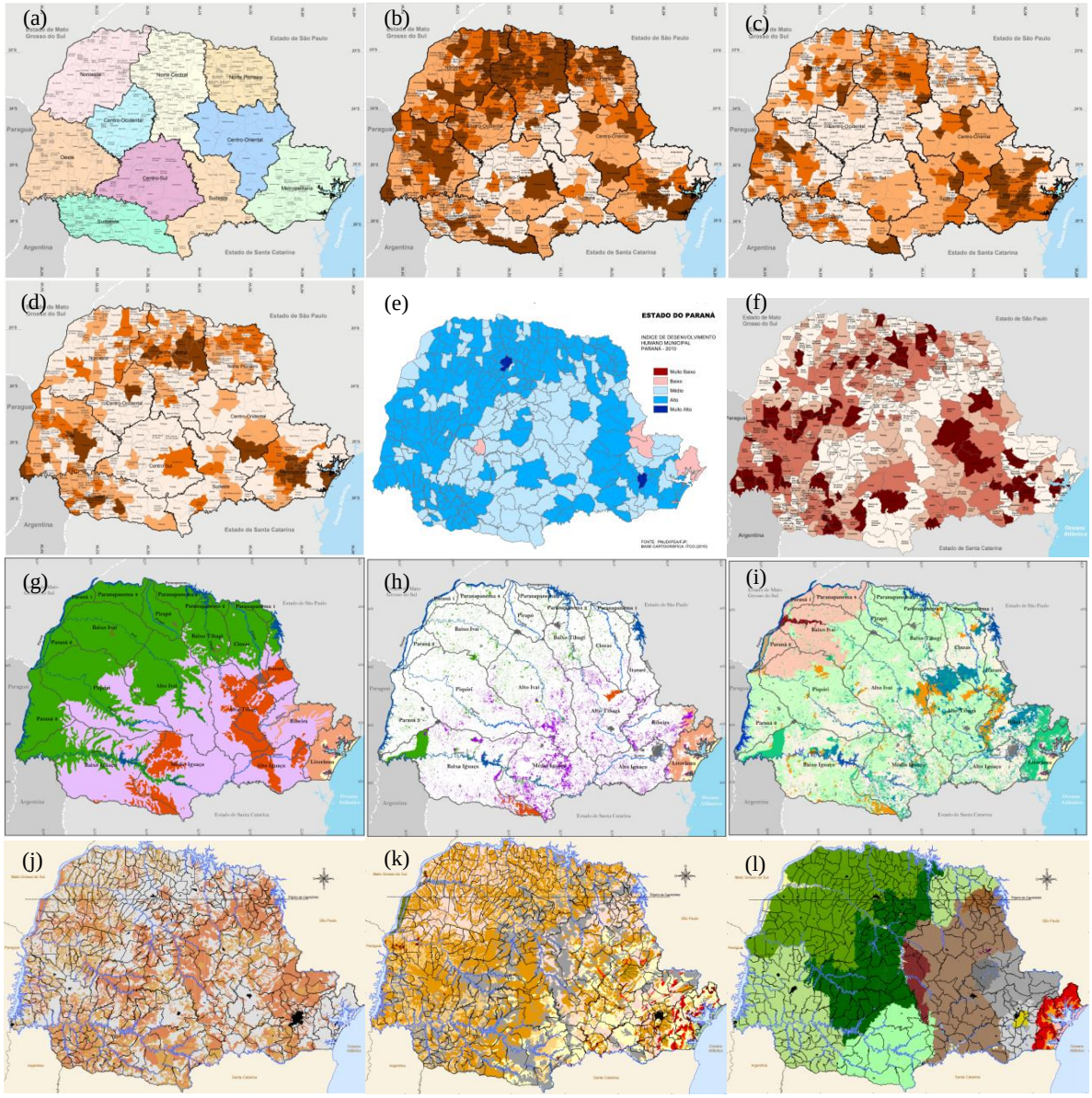



Figura 5.2 - Dados e Mapas digitais utilizados. (a) Regiões Geográficas; (b) Grau de Urbanização; (c) Taxa de Crescimento da População; (d) Densidade Demográfica; (e) Índice de Desenvolvimento Humano; (f) Produto Interno Bruto per Capita; (g) Cobertura Vegetal Nativa; (h) Remanescente de Cobertura Vegetal Nativa; (i) Uso da Terra; (j) Degradação do solo; (k) Solos; (l) Geomorfologia.

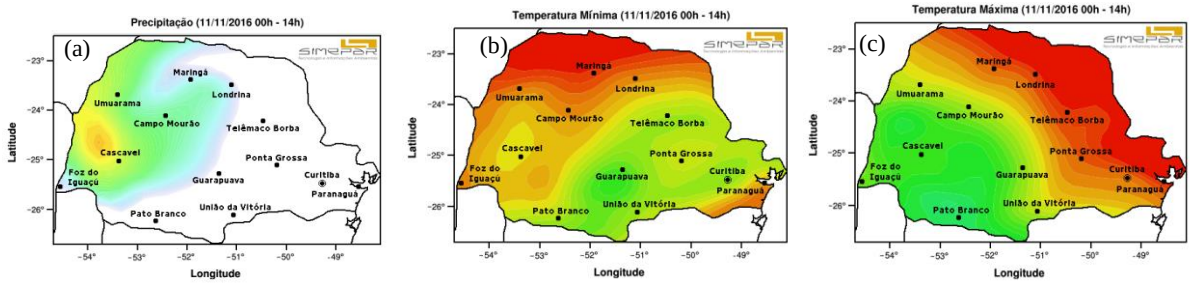



Figura 5.3 - Variáveis das condições do tempo do dia 11/11/2016. (a) Precipitação; (b) Temperatura Mínima; (c) Temperatura Máxima. Fonte: SIMEPAR.

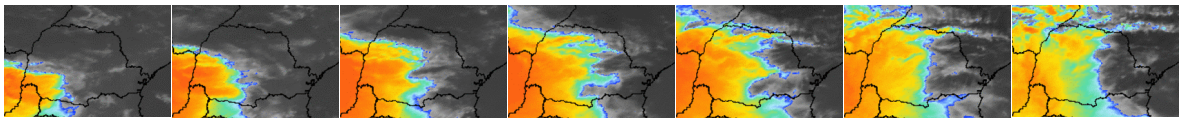


Figura 5.4 - Imagens do satélite EUMETSAT do tempo do dia 11/11/2016. 06-12h. Fonte: SIMEPAR.

Todas as informações digitais utilizadas neste trabalho podem ser encontradas na página da internet das respectivas fontes, como em: www.ibge.br; www.ipardes.br; www.itcg.pr.gov.br; www.simepar.br.

## 5.2 RESULTADOS

Como forma de apresentar os resultados obtidos através do desenvolvimento do sistema de Realidade Aumentada para o Mapa Político Rodoviário do Estado do Paraná, as imagens do sistema são apresentadas nas Figura 5.5 e Figura 5.6.

Na Figura 5.5 é possível verificar, basicamente, a interface do sistema de RA desenvolvida para dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*. A interface consiste de 3 agrupamentos de botões responsáveis por ligar ou desligar as camadas digitais conforme o interesse do usuário. Estes agrupamentos estão, predominantemente, divididos em camadas digitais referentes às questões político-populacionais, variáveis físicas e ambientais e de monitoramento e condições do tempo.

Ainda, no agrupamento referente ao monitoramento e condições do tempo é possível ligar ou desligar uma animação sobre as condições do tempo através do satélite EUMETSAT referente ao dia 11/11/2016, das 6 às 12h, assim como acessar cada uma das imagens deste período do satélite EUMETSAT individualmente. A Figura 5.5a apresenta o sistema sem nenhuma camada digital ligada. Na Figura 5.5b é possível verificar como o sistema de RA se comporta com uma camada digital sobreposta ao mapa impresso que se encontra suspenso na parede.

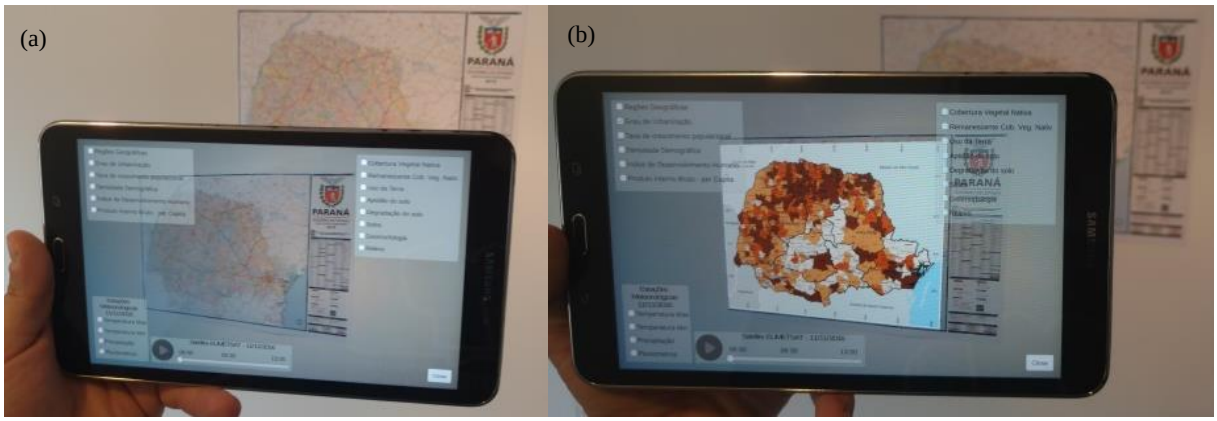



Figura 5.5 – Sistema de Realidade Aumentada desenvolvido. (a) Sistema ligado, mas sem camada digital ativada; (b) Camada digital referente ao Grau de Urbanização ativada e sobreposta ao mapa impresso.

O sistema de RA é capaz de identificar o mapa impresso e fazer o seu rastreio para sobrepor a camada digital sobre o mesmo. Como referido anteriormente, o sistema faz o rastreio em tempo real do mapa físico para sobrepor a camada digital sobre o mapa impresso acompanhando o movimento executado pelo usuário com o *tablet*, trazendo a sensação de a camada virtual estar fixa sobre o mapa impresso.

Já a Figura 5.6 traz as demais camadas digitais sobrepostas ao mapa impresso através do sistema de Realidade Aumentada. Comparando todas as imagens presentes na Figura 5.6 é possível, primeiramente, identificar que, por mais que em cada imagem o *tablet* esteja em diferentes posições, distâncias e orientações em relação ao mapa impresso, o sistema foi capaz de sobrepor as camadas digitais sobre o mapa impresso.

Além da sobreposição de camadas digitais como os mapas digitais – que são, basicamente, imagens 2D – é possível a utilização de outros elementos, como objetos 3D. Estes objetos 3D estão representados na Figura 5.6 (s, t), referentes a representação de leituras de alturas de chuva em pluviômetros distribuídos no Estado do Paraná.

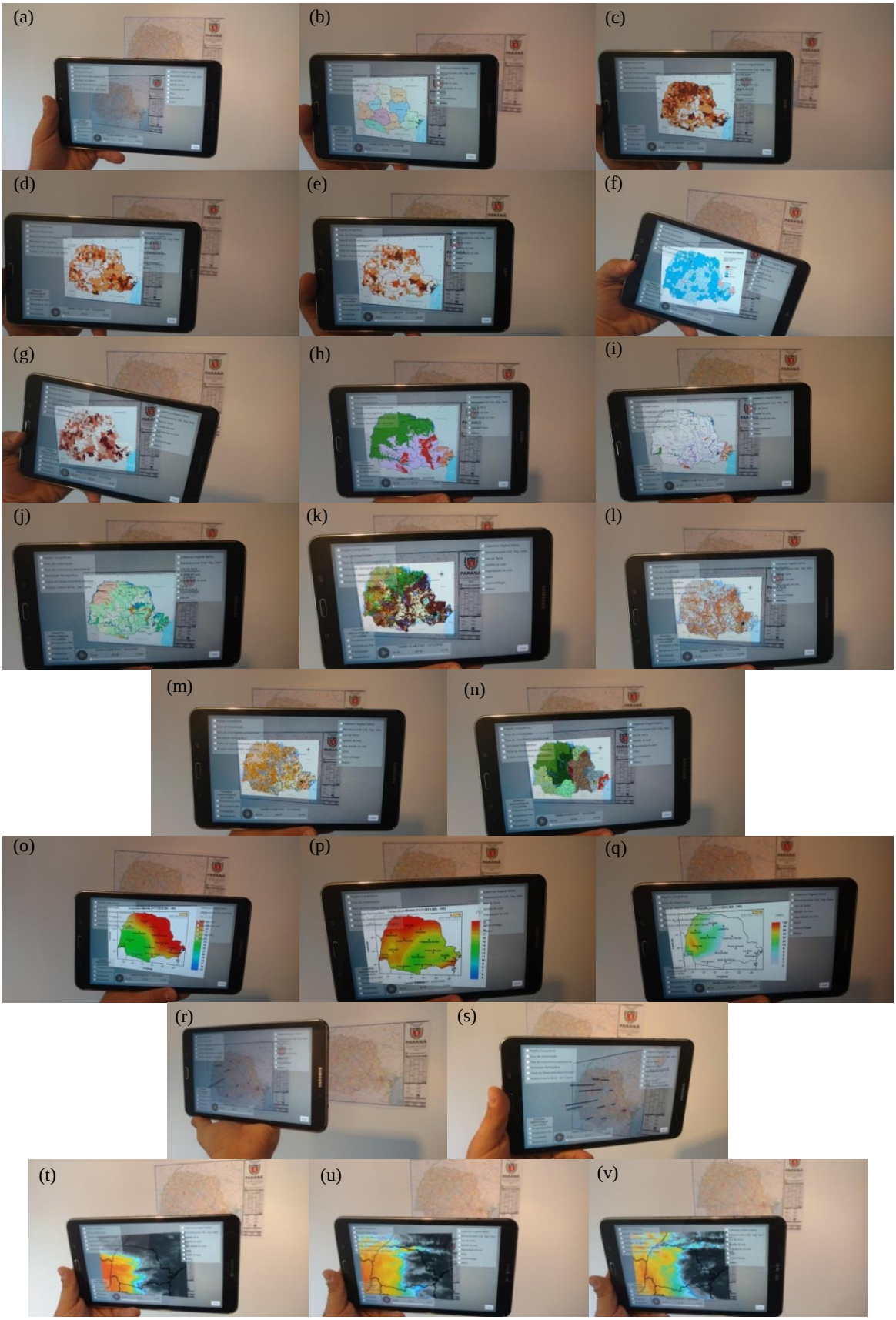



Figura 5.6– Sistema de Realidade Aumentada. (a) Nenhuma camada digital ativada; (b) Regiões Geográficas; (c) Grau de Urbanização; (d) Taxa de Crescimento da População; (e)

Densidade Demográfica; (f) Índice de Desenvolvimento Humano; (g) Produto Interno Bruto per Capita; (h) Cobertura Vegetal Nativa; (i) Remanescente de Cobertura Vegetal Nativa; (j) Uso da Terra; (k) Aptidão do solo, (l) Degradação do solo; (m) Solos; (n) Geomorfologia; (o) Precipitação; (p) Temperatura Mínima; (q) Temperatura Máxima; (r) Pluviômetros; (s) Pluviômetros; (t) Condição do tempo; (u) Condição do tempo; (v) Condição do tempo.

Ainda, outro recurso é a utilização de animações no sistema de RA para demonstração de determinado fenômeno. No caso deste trabalho, o sistema de RA apresenta sobre o mapa impresso a animação referente ao monitoramento das condições do tempo através do satélite EUMETSAT, Figura 5.6 (t-v). Esta animação representa a evolução ao longo do tempo (*timelapse*) das condições meteorológicas para o dia 11/11/2016. Com isso, o usuário tem mais uma forma de apresentação dos dados, considerando a evolução temporal de determinado fenômeno, através de recursos de animação (*timelapse*).

Após a verificação das possibilidades de implementações destas novas funcionalidades, deu-se continuidade nestas implementações e abordando outros tipos de mapas e “estudos de caso”, como seguem nas seções subsequentes.

# 6 UTILIZAÇÃO DO MAPA TOPOGRÁFICO IBGE-BRASIL

Como foi comprovada a possibilidade de desenvolvimento de sistemas de Realidade Aumentada para mapas oficiais, sem a alteração do seu *layout* através da abordagem *markerless*, este trabalho consiste na implementação de um sistema de RA para mapas topográficos oficiais. Como "estudo de caso", utilizou-se de mapas topográficos brasileiros, distribuídos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Também, explora-se as possibilidades de implementação de outras camadas, de diferentes fontes e formatos a serem apresentadas pelo sistema de RA. A seguir é descrita a metodologia, descrição do mapa topográfico, camadas de informação geográfica virtuais implementadas, assim como os resultados obtidos com a implementação do sistema de RA.

## 6.1 METODOLOGIA

Uma vez que não há a necessidade de nenhuma alteração no mapa, utilizou-se de uma carta topográfica oficial brasileira do IBGE. A principal relevância em se utilizar de mapas oficiais está na padronização destas cartas topográficas oficiais do IBGE, além da disponibilidade e grande acesso e alcance de usuários.

De acordo com o IBGE, o Mapeamento Topográfico tem como objetivo a representação do espaço territorial brasileiro, de forma sistemática, por meio de séries de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, em consonância com as prioridades conjunturais, nas escalas-padrão de 1:1.000.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.

A carta topográfica utilizada neste trabalho, produzida e distribuída pelo IBGE, é apresentada na Figura 6.1. Esta carta topográfica é a Colônia Pereira (Folha SG.22-X-D-V-2-SE; MI-2858-2-SE), escala 1:25.000, situada na região Sul do Brasil, no Estado do Paraná.

Esta carta topográfica representa uma área de baixa urbanização, mas com a presença de estradas importantes para a região. De maneira a melhor ilustrar o uso e ocupação do solo, a imagem da área, obtida através do sensor OLI (*Operational Land Imager*) a bordo do satélite Landsat 8, com composição de bandas R4G3B2, é apresentada na Figura 6.2a. Nesta

Figura 6.2a é possível visualizar a presença de feições como as estradas, a pouca urbanização, a vegetação de mata atlântica, hidrografia, assim como características do relevo.

Porém, uma particularidade desta área é a variação abrupta das características do relevo, ou seja, presença de grandes variações de declividade. Nesta área há a transição acentuada entre a região de Planície Litorânea e da Serra do Mar. A informação referente ao relevo da região pode ser verificada tanto na Figura 6.1, pela presença das curvas de nível, assim como na Figura 6.2b, que traz os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Na Figura 6.1 é possível verificar as curvas de nível predominantemente na área a oeste, assim como na Figura 6.2b pelas áreas mais claras nesta porção oeste. As cotas altimétricas nesta região variam de, aproximadamente, 0 a 735 metros.

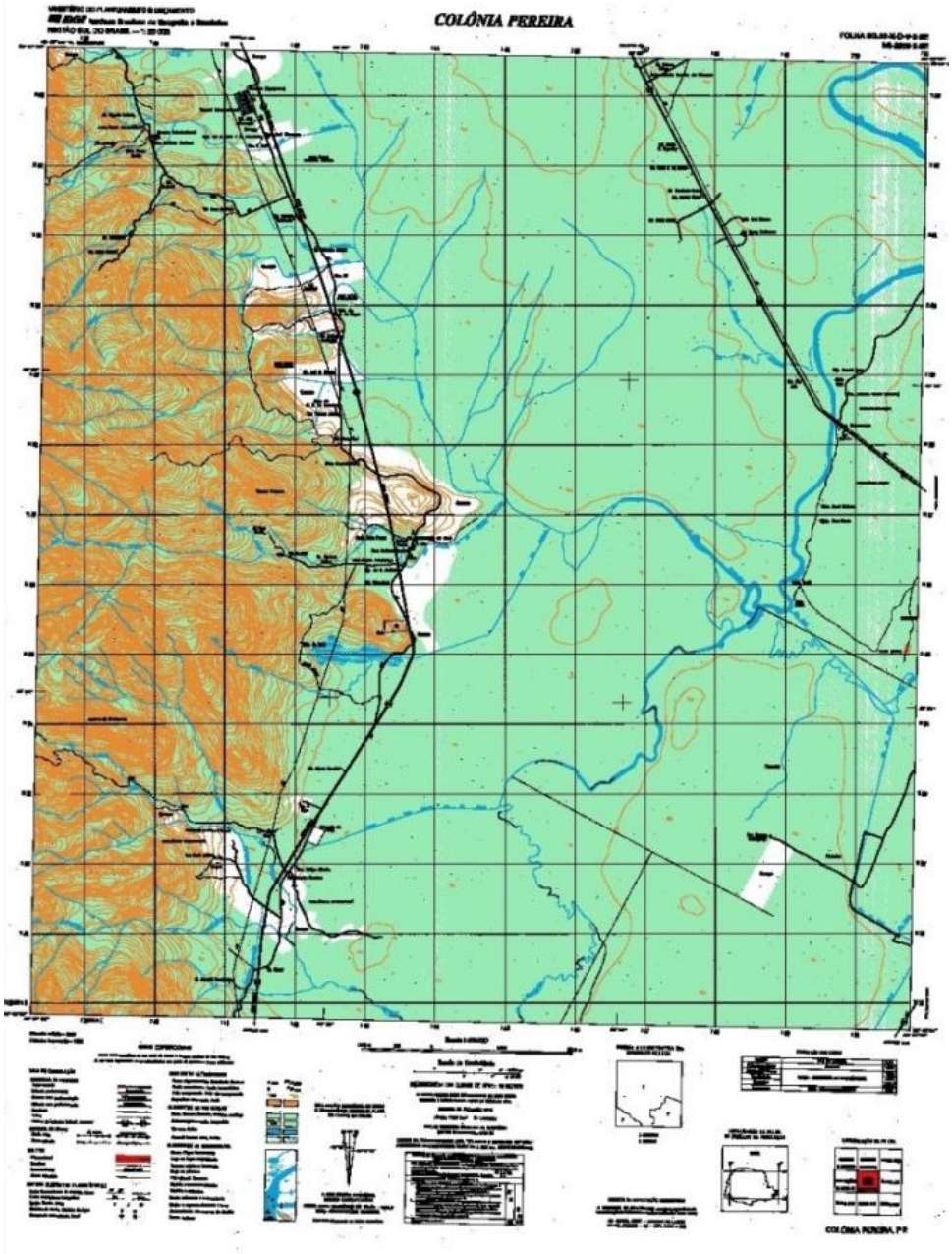



Figura 6.1 – Mapa Topográfico oficial - Colônia Pereira, escala 1:25.000. Fonte: IBGE.

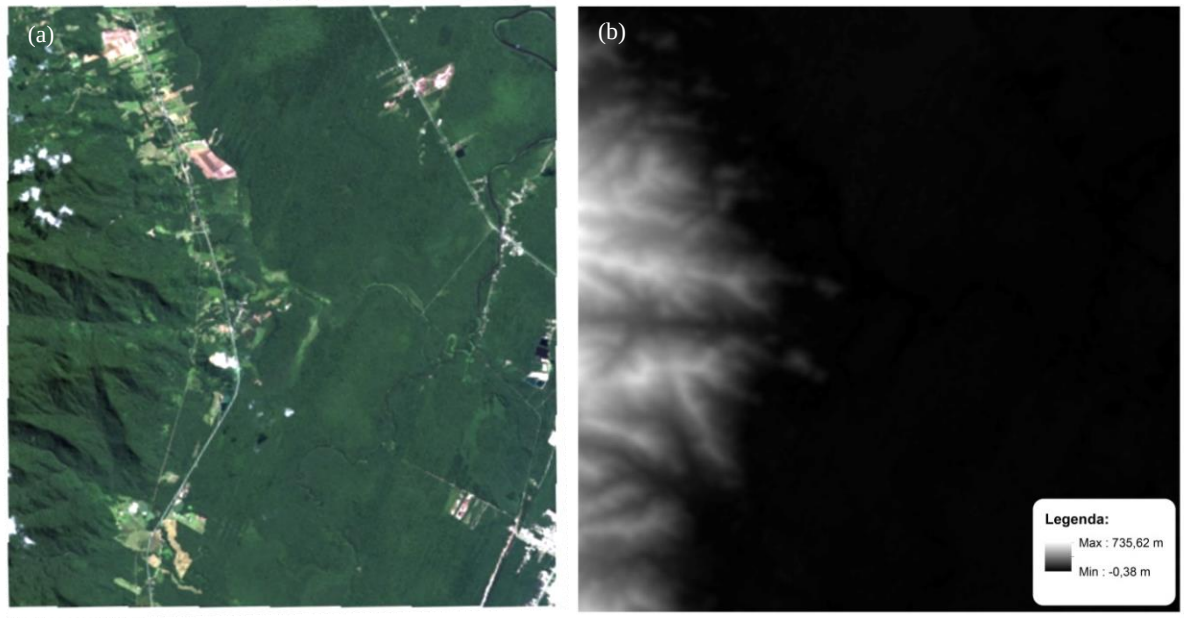



Figura 6.2 – Dados da área de estudo. (a) Imagem R4G3B2 Landsat 8, sensor OLI. (b) Dados de altimetria SRTM.

Por vezes, seja para usuários em geral, ou mesmo especialista, existe grande possibilidade de confusão na leitura de informações altimétricas a partir de informação em 2D, como as curvas de nível apresentadas na Figura 6.1, ou pela variação em escala de cores como Figura 6.2b. O esforço para usuários de mapa para a leitura de informação altimétrica, como a compreensão do real formato do relevo em determinada área, pode ser muito maior quando se utiliza de representações em 2D, como curvas de nível, pontos cotados, ou mesmo por meio do relevo sombreado ou variação de cores.

Entretanto, a leitura da informação altimétrica do relevo de determinada área, a partir de informação em 3D pode diminuir significativamente o esforço do usuário em ler esta informação, e, com isso, ajudar na compreensão da real forma do relevo. Além disso, por esta carta topográfica representar uma área onde há grande variação de cotas altimétricas e grande variabilidade de declividade, com a presença excessiva de curvas de nível, pode existir dificuldades de leitura desta informação pelos usuários de cartas topográficas.

Com isso, este trabalho priorizou no desenvolvimento do sistema de Realidade Aumentada para apresentação de informação virtual desta área, em especial para a leitura do sobre a carta topográfica oficial. Para tanto, utilizou-se de uma das principais características da Realidade Aumentada, que é a apresentação de dados virtuais em diferentes formatos, que

não seriam compatíveis com impressões em papel, uma vez que estas impressões aceitariam apenas representações em 2D.

Ainda, outra camada de informação adicional que foi implementada ao sistema foi a imagem obtida a partir do satélite Landsat 8 (Figura 6.2a). Desta forma, tem-se outra possibilidade que a RA oferece que é a de apresentação de outra camada de informação virtual, ou mesmo a sobreposição de várias camadas de informação.

## 6.2 RESULTADOS

No caso deste trabalho, o objeto real é uma carta topográfica oficial brasileira, produzida pelo IBGE, na escala 1:25.000. A carta topográfica é a Colônia Pereira (Folha SG.22-X-D-V-2-SE; MI-2858-2-SE), situada na região Sul do Brasil, no Estado do Paraná.

Um vídeo de demonstração foi preparado para apresentar as capacidades deste sistema de RA, sendo possível acessá-lo no YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=AtSg7NgC-Js). As imagens do sistema de RA implementado neste trabalho são apresentadas na Figura 6.3 e Figura 6.4. A Figura 6.3 traz as imagens da camada de informação do relevo em 3D. A Figura 6.4 apresenta a imagem de satélite da área, assim como esta imagem sobreposta ao modelo 3D do relevo.

Inicialmente, como pode ser identificado na Figura 6.3 e Figura 6.4, nenhum outro símbolo ou marcador fiducial foi adicionado ao mapa topográfico. Isto implica que o mapa topográfico tem o mesmo *layout*, como previsto pelo IBGE-CONCAR (Conselho Nacional de Cartografia). Na medida em que as camadas e o sistema de RA estão em uso, é possível verificar que as informações de relevo 3D foram sobrepostas sobre o mapa topográfico impresso, como mostrado nas Figura 6.3b a Figura 6.3f. As imagens presentes no Figura 6.3b a Figura 6.3f representam diferentes atitudes do dispositivo móvel em relação ao mapa topográfico impresso. Nas Figura 6.4(a-f), a informação digital utilizando-se da imagem do satélite Landsat 8 pode ser vista. Nas Figura 6.4a e b, apenas a camada virtual com a imagem Landsat 8 foi apresentada (em formato 2D, plana, sobre o mapa topográfico impresso). Nas Figura 6.4c e d, a imagem de satélite foi sobreposta sobre o relevo 3D e apresentada sobre o mapa topográfico impresso através do sistema de RA.

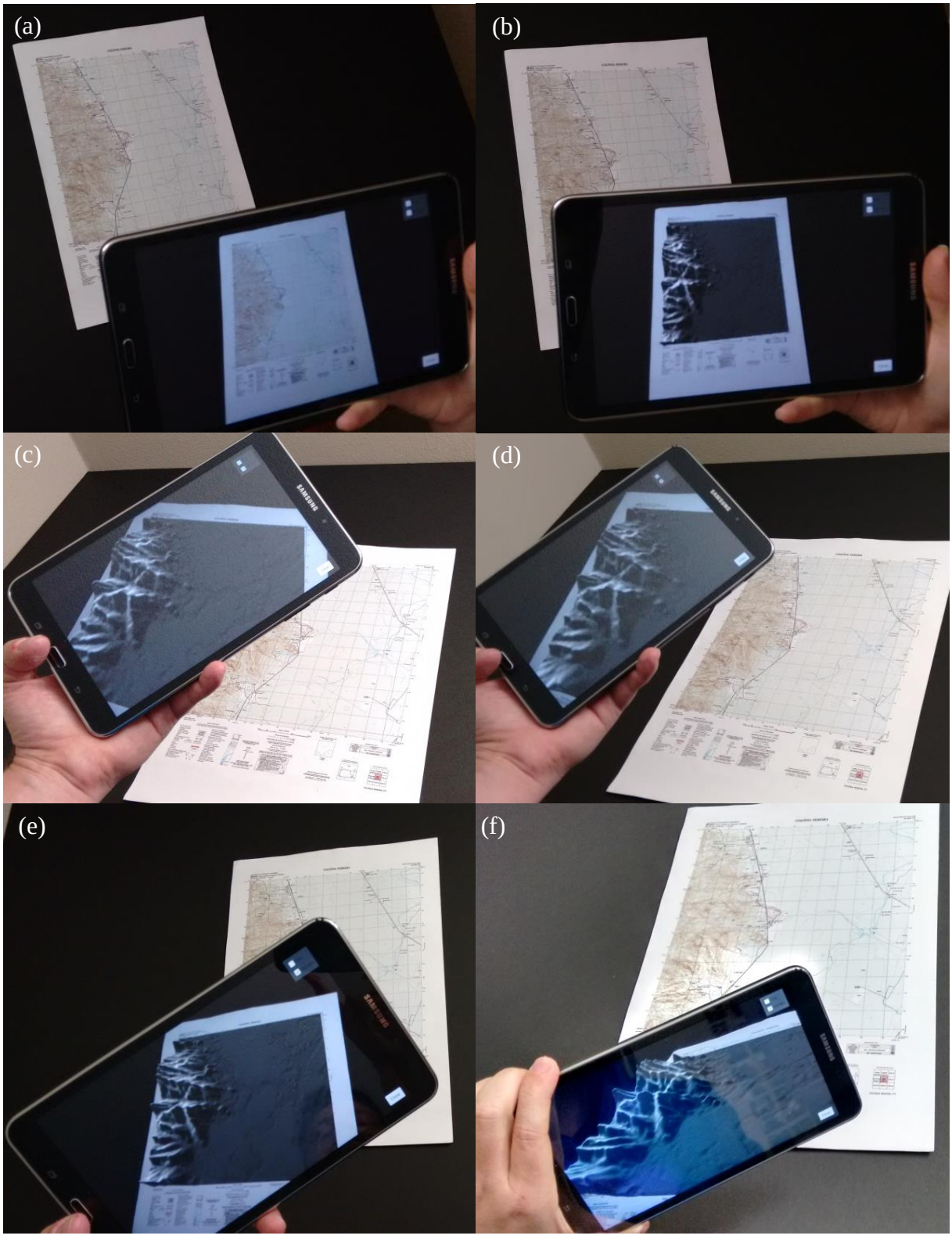



Figura 6.3 – Imagens do sistema de Realidade Aumentada. (a) Nenhuma camada sendo apresentada. (b)–(f) Modelo Digital do Terreno em 3D sendo apresentado sobre o mapa em diversas posições e ângulos.

Figura 6.4 – Imagens do sistema de RA. (a)-(b) Imagem do satélite Landsat 8, apresentada sobre o mapa impresso. (c)-(d) Imagem Landsat 8 sobre o Modelo Digital do Terreno em 3D sobre o mapa impresso.

Sobre o sistema de Realidade Aumentada, é possível verificar que, independente da posição e atitude do usuário, o sistema foi capaz de calcular a posição relativa entre a carta e o *tablet*, e sobrepor o modelo virtual sobre a carta. Ou seja, o usuário fica livre para manipular como queira o *tablet*, ou mesmo a própria carta, e o sistema de RA calcula esta atitude sobrepondo o modelo virtual sobre o mapa topográfico impresso em tempo real.

Com isso, o usuário pode navegar de forma mais intuitiva, se movimentado, movimentando o tablet ou mesmo a carta, e o sistema de RA sobrepõe a informação virtual sobre a carta. Desta forma, o tablet torna-se uma "lente mágica", onde através dela é possível visualizar digitalmente outra informação, ou mesmo em outro formato, sobreposta ao mapa.

A seguir, apresenta-se outras funcionalidades exploradas em outro "estudo de caso" para sistemas de RA para interação com mapas e dados geográficos.

# 7 UTILIZAÇÃO DO MAPA TOPOGRÁFICO USGS-USA

O presente trabalho foi desenvolvido a fim de explorar outras funcionalidades possíveis para os sistemas de RA. O objetivo foi desenvolver um sistema de RA para mapas oficiais topográficos, não necessariamente brasileiros. Mapas oficiais topográficos já tem seu *layout* bem definido e, com isso, atentou-se para não modifica-lo. Desta vez, os dados a serem disponibilizados digitalmente pelo sistema de RA foram extraídos do próprio mapa topográfico, assim como outras informações externas. Explorou-se também as formas de apresentação da informação digital, como elementos em 2D, 3D, ou a possibilidade de apresentação de imagens oblíquas simulando um ponto de vista de determinada área ou fenômeno.

## 7.1 METODOLOGIA

A área deste estudo escolhida é conhecida por conter uma interessante formação geológica, denominada Horseshoe Bend, no Rio Colorado, nos Estados Unidos da América. Esta formação geográfica recebe milhares de turistas todos os anos, sendo internacionalmente reconhecida. A imagem desta formação é apresentada na Figura 7.1.

Figura 7.1 – Horseshoe Bend, no Rio Colorado, Estado do Arizona –Estados Unidos da América (Fotografia de Brian Klimowski - http://horseshoebend.com).

A área denominada Horseshoe Bend, no Rio Colorado, está presente no mapa topográfico de *Ferry Swale Quadrangle*. O mapa topográfico *Ferry Swale Quadrangle*, no Estado do Arizona - EUA, é da série 7.5-Minutos (escala 1:24.000), produzido e distribuído oficialmente pelo USGS (*United States Geological Survey*). O mapa topográfico *Ferry Swale Quadrangle* é apresentado na Figura 7.2.

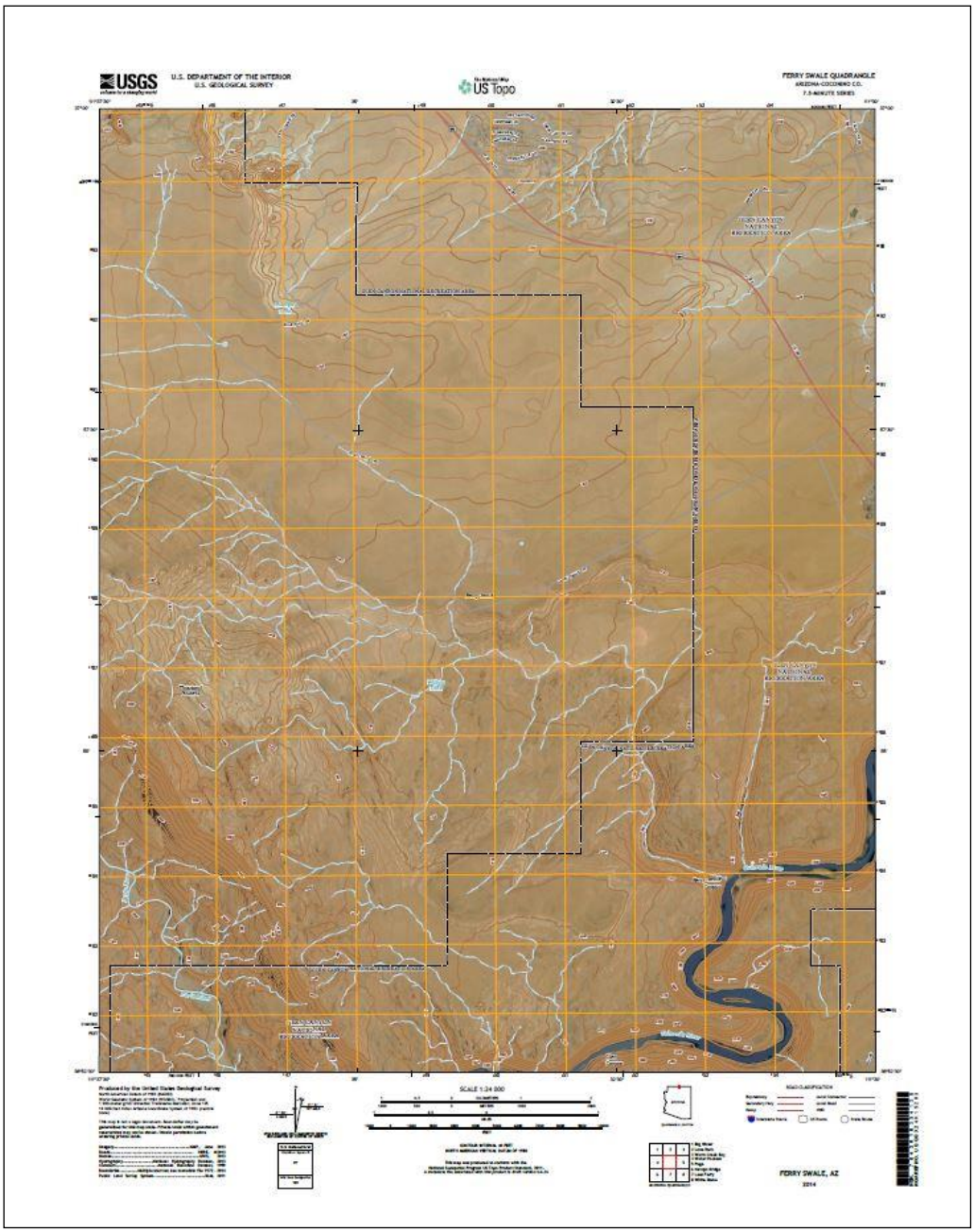



Figura 7.2 – O mapa topográfico oficial Ferry Swale Quadrangle, Arizona-EUA, série 7.5-Minutos. Fonte: USGS.

Os mapas topográficos da Série 7,5-Minuto da USGS estão em um formato pdf em camadas, que apresenta a possibilidade de visualizar cada camada de informações separadamente, podendo cada camada ser ligada ou desligada conforme desejado. As camadas de dados normalmente apresentadas nestes mapas topográficos da Série 7,5-Minuto da USGS incluem hidrografia, transporte, linhas de contorno, relevo sombreado, a imagem de satélite e informações geográficas em texto, como coordenadas de localização, *labels*, legenda, escala, etc.

Entretanto, caso estes mapas topográficos sejam impressos, estas opções de ligar e desligar cada camada não seriam mais possíveis. O usuário teria que decidir quais os dados a incluir no mapa final antes da impressão. Se os usuários querem ver cada camada de dados fornecidos no documento pdf, teria que imprimir vários mapas do mesmo arquivo ou área separadamente.

A fim de explorar algumas possibilidades que sistemas de RA podem oferecer para este trabalho, as camadas utilizadas no sistema de RA são apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Camadas de informação digital apresentados pelo sistema de Realidade Aumentada sobre o mapa topográfico.

| **Camadas** | **Formato** | **Fonte** |
|---|---|---|
| Transportes | 2D | Mapa Topográfico – USGS |
| Hidrografia | 2D | Mapa Topográfico – USGS |
| Imagem de satélite | 2D | Mapa Topográfico – USGS |
| Curvas de nível | 2D | Mapa Topográfico – USGS |
| Curvas de nível realçadas | 2D | Mapa Topográfico – USGS |
| Relevo sombreado | 2D | Mapa Topográfico – USGS |
| Modelo Digital do Terreno | 3D | SRTM – NASA |
| Fotografia | 2D | Fotografia de Brian Klimowski - http://horseshoebend.com |

As camadas geográficas digitais 2D foram importadas do próprio mapa topográfico para serem usadas no sistema de RA (transporte, hidrografia, imagem de satélite, curvas de nível e relevo sombreado). O Modelo Digital do Terreno (MDT) 3D foi gerado a partir de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Outra possibilidade que foi explorada neste sistema de RA é a possibilidade de visualização de dados, como fotografias oblíquas ou em visada perspectiva. A fotografia oblíqua apresentada representa um ponto de visão da formação Horseshoe Bend. A fotografia da Figura 7.1 foi introduzida no sistema de RA simulando o ponto de vista da onde esta fotografia tirada. Com isto, o usuário poderia acessar outras formas de apresentação de informação, o que poderia auxiliá-lo no reconhecimento da área ou fenômeno, assim como ter uma melhor noção de escala da área e do mapa topográfico.

## 7.2 RESULTADOS

Para ilustrar os resultados do protótipo de RA implementado, as Figura 7.3, Figura 7.4, Figura 7.5, Figura 7.6 e Figura 7.7 são apresentados. A Figura 7.3 apresenta as imagens do protótipo, sem camada de informação digital sendo apresentado pela RA. Nesta Figura 7.3 é possível ver algumas características do layout da interface do protótipo, bem como o mapa impresso usado. Em primeiro lugar, é possível visualizar que o mapa topográfico impresso não apresenta qualquer símbolo diferente ou marcador especial. O mapa impresso é o mapa topográfico oficial com as informações coordenadas de grade, as linhas de contorno da área e os elementos do mapa como escala, legenda, etc. Ainda, qualquer versão impressa do mapa topográfico *Ferry Swale Quadrangle* (independente das camadas de informação impressas) seria suficiente para o reconhecimento por parte do sistema de RA.

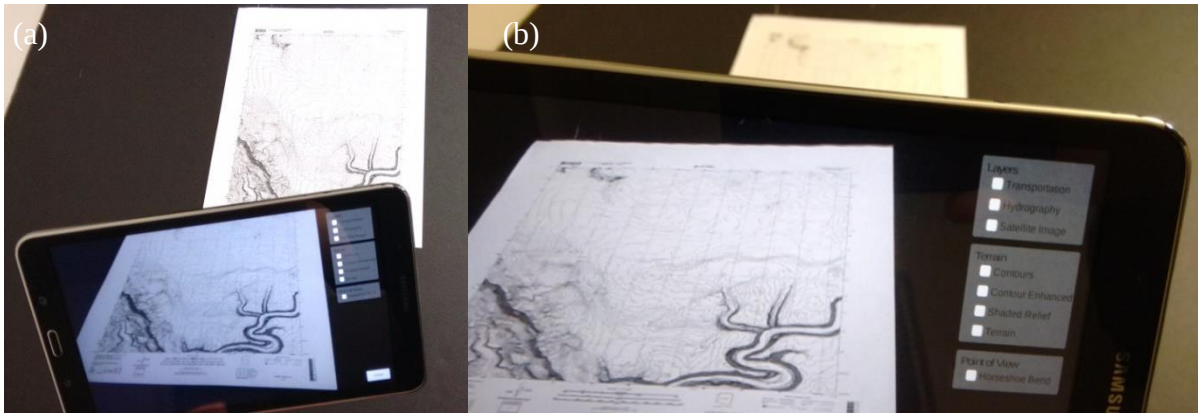



Figura 7.3 – O sistema de Realidade Aumentada.. (a) O sistema de RA e o mapa impresso. (b) Detalhe da interface do sistema de RA.

As Figura 7.4, Figura 7.5, Figura 7.6 e Figura 7.7 apresentam as imagens do sistema de RA e as respectivas camadas digitais a serem apresentadas sobre o mapa topográfico impresso.

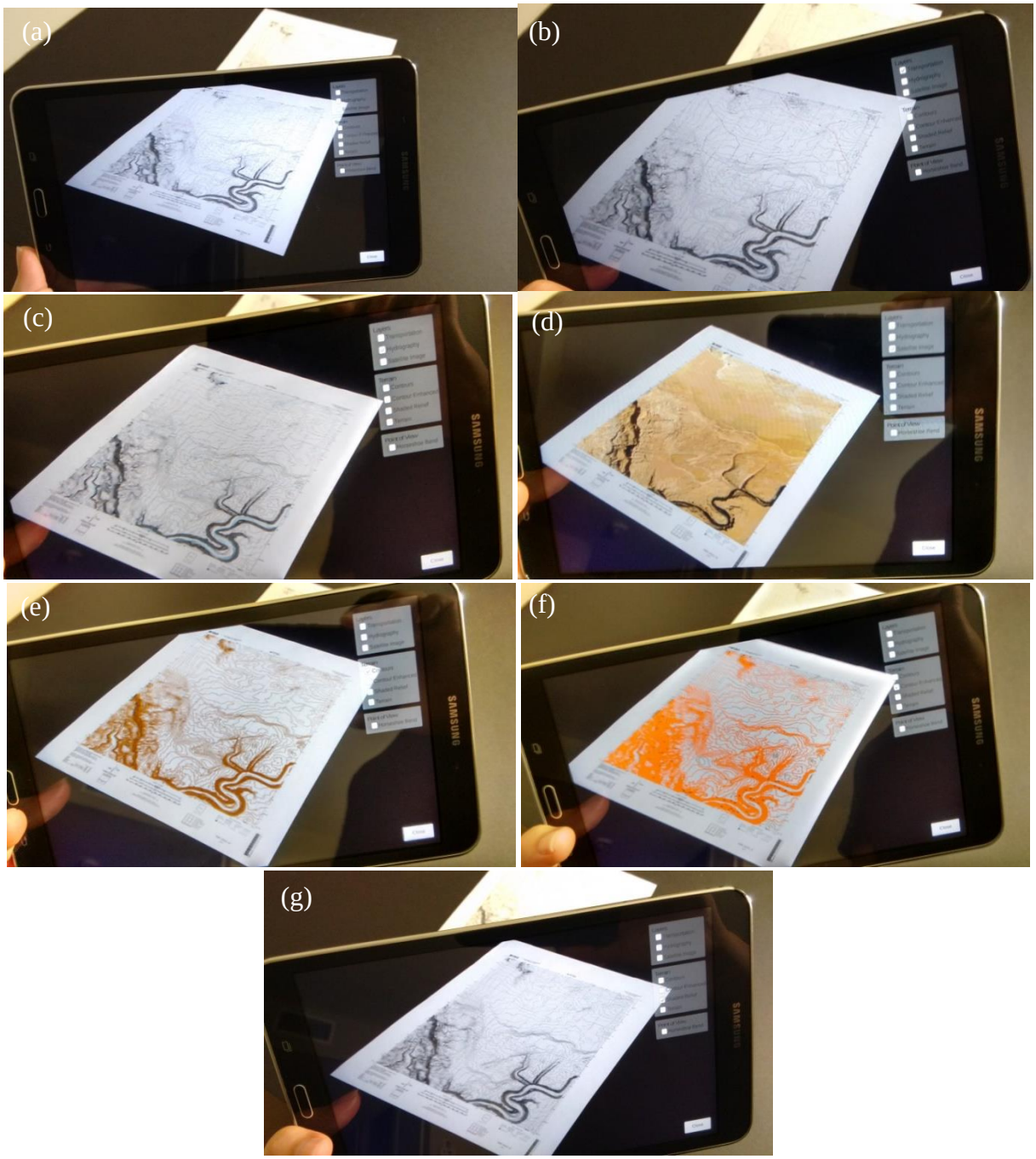



Figura 7.4 – As camadas digitais apresentadas pelo sistema de RA. (a) Nenhuma camada sendo apresentada; (b) Transportes; (c) Hidrografia; (d) Imagem de satélite; (e) Curvas de nível; (f) Curvas de nível em outra coloração; (g) Relevo sombreado.

A Figura 7.4 mostra as camadas digitais 2D apresentadas, sobre o mapa topográfico. A Figura 7.4a apresenta o sistema de RA sem nenhuma camada digital ainda mostrada. Figura 7.4b apresenta a camada digital de transporte extraído do mapa topográfico e reforçada digitalmente pelo sistema de RA sobre o mapa impresso. Há apenas alguns elementos nesta camada e podem ser visto no canto superior direito do mapa como a linha vermelha que representa a estrada US89. A Figura 7.4c mostra a camada hidrografia digital sendo exibida pelo sistema RA. Esta camada é uma cor azul clara e é possível de ser visto no meio da formação Horseshoe Bend, por exemplo. A Figura 7.4d mostra a camada digital da imagem de satélite da área sobre o mapa impresso.

A Figura 7.4e a Figura 7.4g apresentam as informações digitais de relevo em 2D. A Figura 7.4e mostra as curvas de nível como extraído do mapa topográfico usando o esquema de cor original. Entretanto, esta área é composta predominante de solo exposto com escassa vegetação. A coloração desta área pela imagem de satélite pode ser semelhante à representação das curvas de nível, dificultando assim a sua leitura. Com isso, de maneira a facilitar a leitura desta informação das curvas de nível, a Figura 7.4f apresenta as curvas de nível com coloração diferente da original, a fim de ressaltá-las e melhorar a sua visibilidade.

A Figura 7.4g apresenta a camada de informação digital referente ao relevo sombreado, extraído do próprio mapa topográfico. Esta camada representa as sombras projetadas a partir da interação da luz solar e o relevo. Este tipo de camada de informação e representação transmite as informações da profundidade do relevo. Esta camada foi implementada no protótipo RA como uma camada com transparência apenas para melhorar a percepção do usuário sobre as sombras do relevo.

Além disso, o sistema desenvolvido RA permite ao utilizador para sobrepor diversas camadas de informações, como mostrado na Figura 7.5. Na Figura 7.5 apresenta-se o caso de se utilizar a imagem de satélite como o fundo e as linhas de contorno sobre a mesma. A Figura 7.5a mostra as curvas de nível, com a coloração original sobre a imagem de satélite. Figura 7.5b apresenta as curvas de nível com um esquema de cores de forma a realçá-las, a fim de evitar a confusão com o solo exposto visível na imagem de satélite.

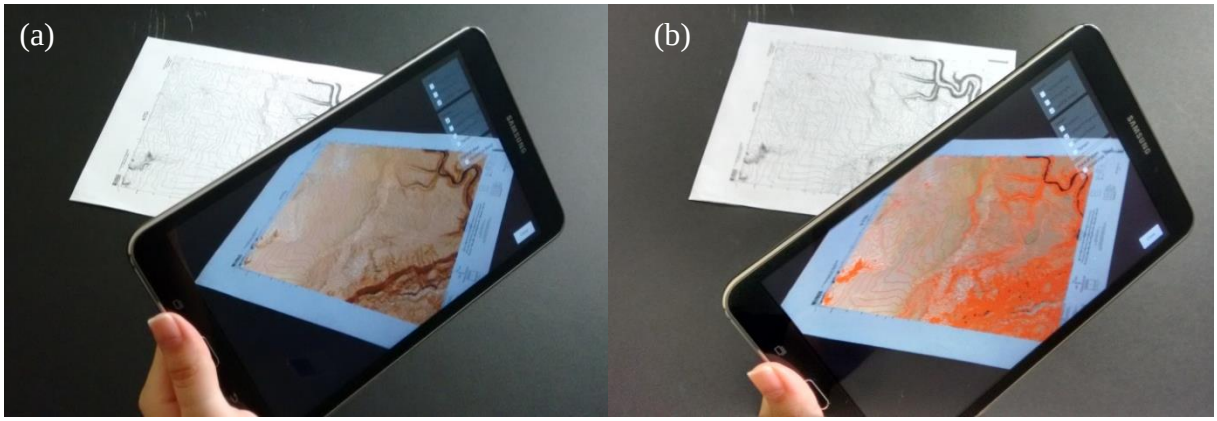



Figura 7.5 – A possibilidade de sobrepor camadas digitais. (a) Camada da imagem de satélite e camada das curvas de nível; (b) Camada da imagem de satélite e camada curvas de nível em outra coloração.

Embora esse tipo de representação - como com curvas de nível e relevo sombreado - possam ajudar o usuário a entender como é o relevo de determinada área, normalmente, a leitura deste tipo de informação necessita um conhecimento prévio de como executar a leitura dessas representações.

Contudo, representações 3D de relevo podem ser uma maneira muito mais eficaz e facilitar a percepção do usuário e compreensão da topografia local. Desta forma, a Figura 7.6 apresenta a representação em 3D do terreno da área sobre o mapa impresso. As Figura 7.6 (a - e) também representam a possibilidade de o usuário navegar através da informação virtual e mapa topográfico, mudando a posição do *tablet* ou do mapa impresso para melhor analisar alguma área específica de interesse.

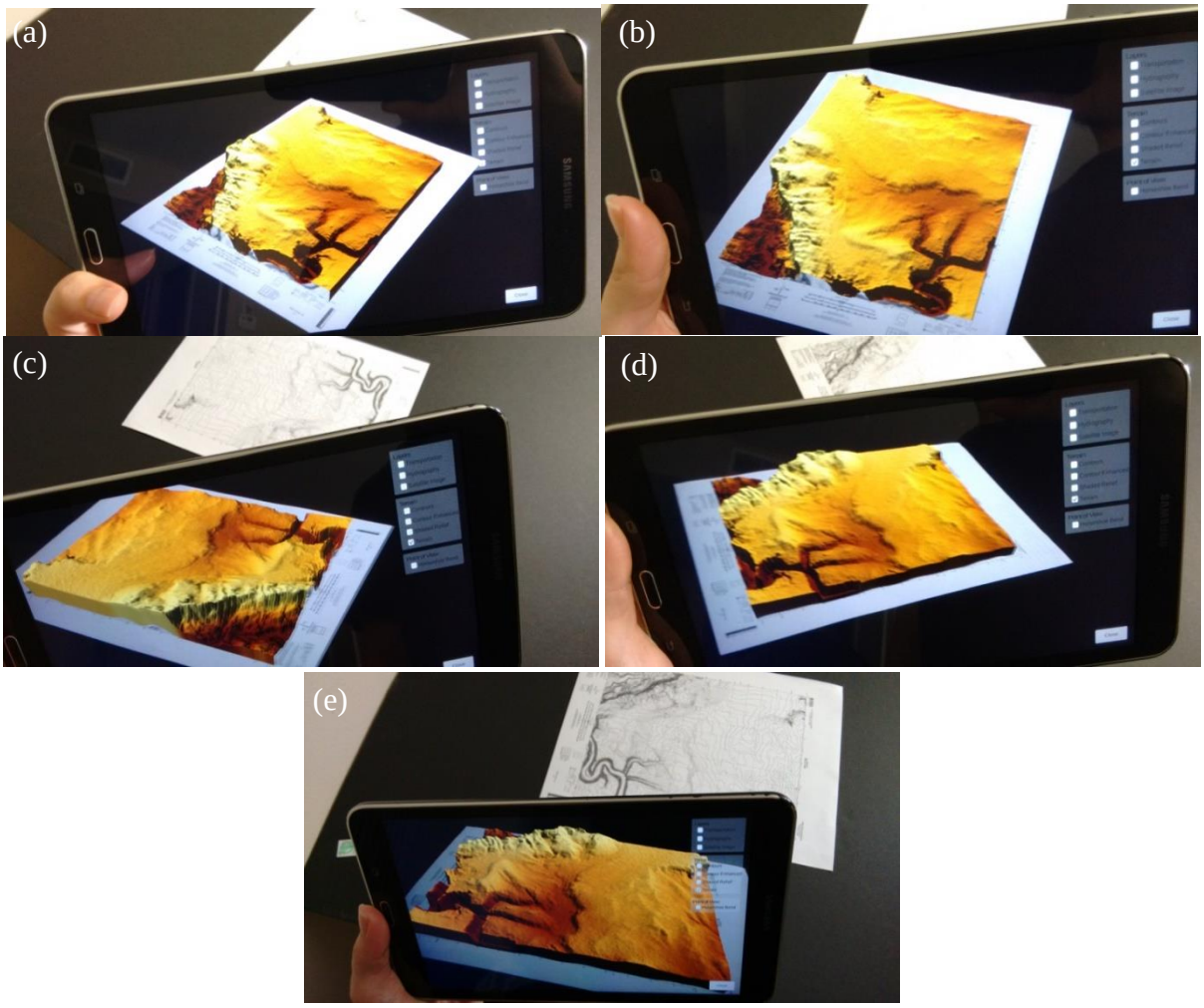



Figura 7.6 –O protótipo de Realidade Aumentada apresentando o Modelo Digital do Terreno em 3D.

Ainda, outra possibilidade de interação implementada no sistema de RA foi a alternativa de analisar um ponto específico de interesse, sendo ilustrada naFigura 7.7 . Para ajudar os usuários a identificar locais de interesse, objetos virtuais podem ser inseridos utilizado RA. Poderiam ser apresentados objetos como flechas/setas indicativas, textos (*labels*) ou - como neste caso - a inclusão de fotografias oblíquas no ponto de vista onde a fotografia foi tirada. Estas imagens foram adicionadas ao sistema de RA como uma maneira de mostrar aos usuários a formação Horseshoe Bend - sua posição e orientação. Também, ao fornecer ao usuário esta camada digital com a fotografia obliqua, tem-se uma forma de facilitar a compreensão do usuário sobre a escala do mapa, uma vez que o usuário pode assimilar o tamanho deste objeto ou formação geográfica, comparar com sua representação no

mapa, assim como em relação ao mapa como um todo. As Figura 7.7a e b mostram as fotos obliquas desta formação que simulam o mesmo ponto de vista em que as fotos foram tiradas.

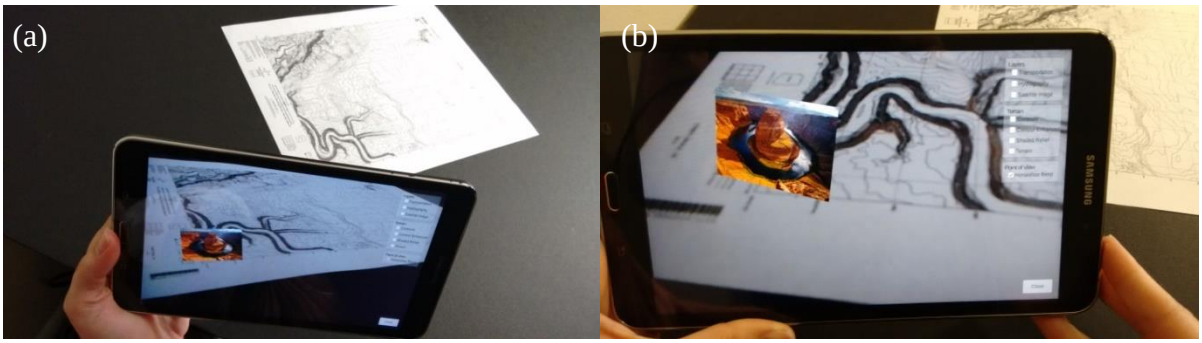



Figura 7.7 – A imagem oblíqua do Horseshoe Bend sendo apresentada pelo sistema de RA.

A seguir é apresentado um “estudo de caso” desenvolvido, desta vez, sobre mapas temáticos específicos para estudo de determinadas áreas ou fenômenos geográficos.

# 8 UTILIZAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Este protótipo de Realidade Aumentada desenvolvido teve como objetivo principal a geração de mapas específicos, temáticos, para análise de determinado fenômeno. Desta vez, não utilizou-se de mapas oficiais, mas sim mapas desenvolvidos já direcionados para análise da paisagem, da área ou fenômeno geográfico.

O principal objetivo então do sistema de RA desenvolvido deu-se na sobreposição de informações digitais para análise da paisagem, área ou fenômeno geográfico, utilizando-se de mapas temáticos, ou mesmo que apresentassem pouca informação (como a utilização apenas do polígono referente ao limite e contorno de uma bacia hidrográfica). Este desenvolvimento do protótipo de RA teve como "estudo de caso" o monitoramento de desastres ambientais, mais especificamente, movimentos e deslizamentos de massa de terra.

Os movimentos gravitacionais de massa são processos naturais que fazem parte da dinâmica de evolução das vertentes e, por consequência, do relevo como um todo. Em áreas com formas de relevo com grandes declividades é comum a ocorrência desses processos, sobretudo em regiões onde os índices pluviométricos são elevados. Entretanto, no Brasil e no mundo, esses processos e eventos de grande magnitude quando ocorridos em áreas com ocupação humana são comparados a verdadeiras catástrofes naturais, pois causam prejuízos socioeconômicos significativos (PINTO, PASSOS e CANEPARO, 2014).

Nesse sentido, esta pesquisa tomou como base os eventos de março de 2011, ocorridos na Serra da Prata, compartimento de relevo pertencente a Serra do Mar, entre os municípios de Morretes e Paranaguá, no litoral do Estado do Paraná. Trata-se dos eventos de grande magnitude que ocorreram no dia 11 de março de 2011, na Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí.

Na ocasião, os elevados índices pluviométricos em conjunto com as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da região desencadearam uma combinação de variados processos de movimentos de massa (desprendimento e rolamento de blocos, deslizamentos e corridas de detritos) afetando a população local e promovendo mudanças consideráveis no ambiente natural. Sendo este evento considerado o maior processo desse tipo já registrado na região, justifica-se o interesse científico e aprofundamento na compreensão deste fenômeno (PINTO, PASSOS e CANEPARO, 2014).

Com isso, a análise para melhor compreensão deste fenômeno – seja por usuários especialistas desta área científica assim como leigos pode ser facilitada através da utilização de sistemas de Realidade Aumentada. Desta forma, como forma de aprofundar o

desenvolvimento de novas funcionalidades para os sistemas de RA, assim como utilizar um "estudo de caso" de um evento tão importante, fez-se o desenvolvimento do sistema de RA apresentado a seguir.

## 8.1 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolveu-se sobre as informações da Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí, localizada no Estado do Paraná, inserida no conjunto da Serra do Mar (Serra da Prata) e da Planície Litorânea. A Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí encontra-se aproximadamente a 80 km da capital Curitiba e 20 km do centro de Paranaguá e acesso direto pela rodovia BR-277 (PINTO, PASSOS e CANEPARO, 2014). O mapa de localização da bacia hidrográfica do Jacareí é apresentado na Figura 8.1, assim como a imagem pós-evento de deslizamento de massa do dia 11/03/2011.

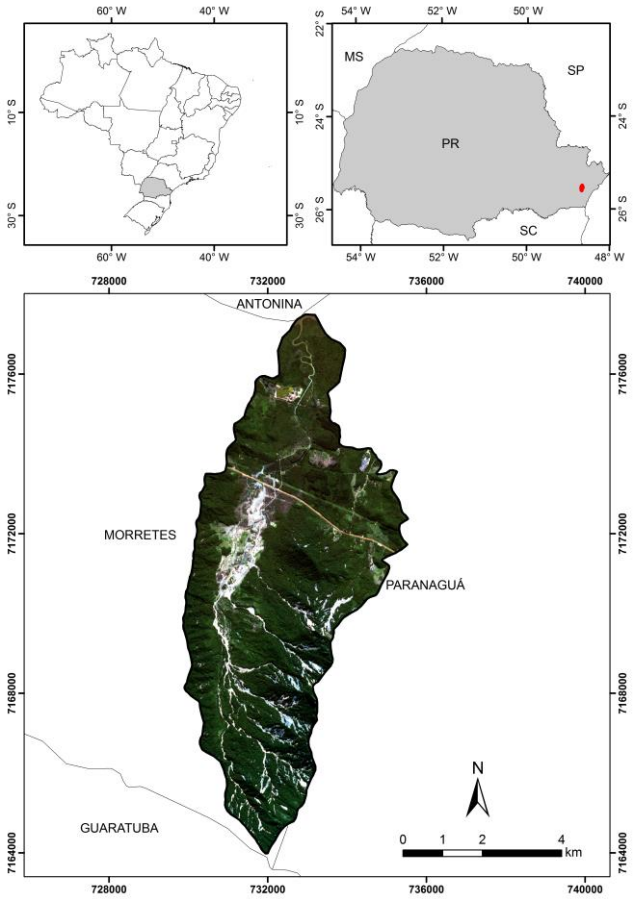



Figura 8.1 – Mapa de Localização da Bacia do Jacareí.

O sistema de RA desenvolvido teve como objetivo adicionar informação digital sobre o mapa impresso da bacia hidrográfica do Rio Jacareí, no Estado do Paraná – Brasil. O mapa impresso utilizado nos experimentos é apresentado na Figura 8.2. Este mapa foi confeccionado apenas apresentando o contorno (limite ou divisor de águas) da Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí.

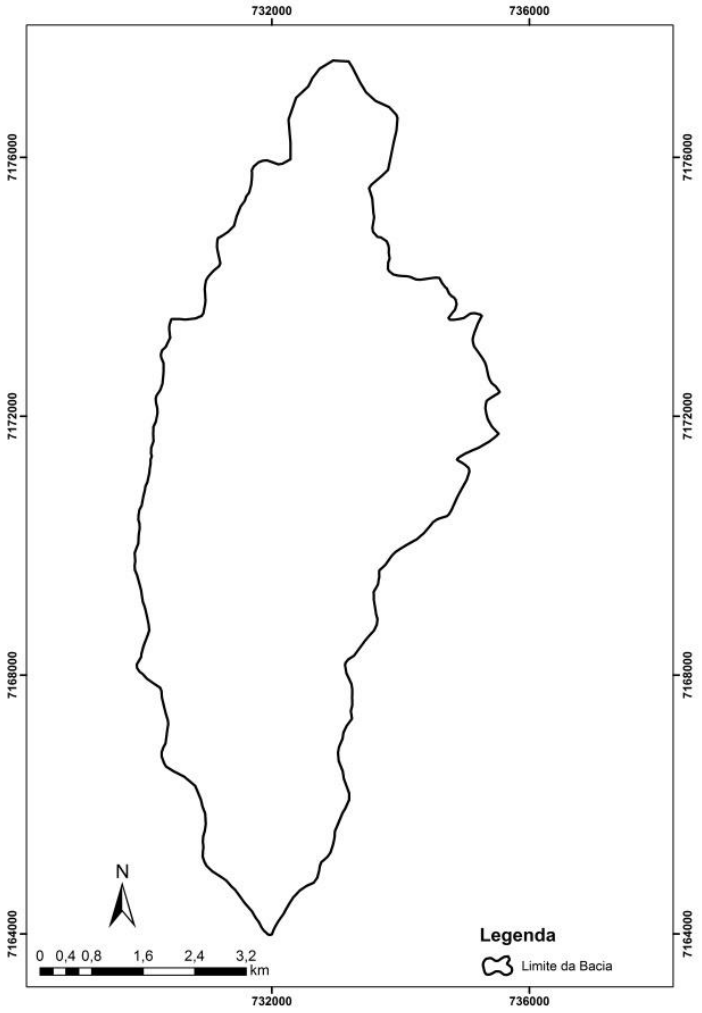



Figura 8.2 – Mapas impressos a serem utilizados com referência. (a) Contorno da Bacia hidrográfica do Jacareí; (b) Altimetria da Bacia hidrográfica do Jacareí.

Percebe-se que este mapa apresenta pouquíssima informação, sendo composto apenas da linha com o contorno da bacia hidrográfica, e poucas informações naturais de um mapa (como coordenadas, escala, norte e legenda). Com isso, pretendeu-se desenvolver e testar um sistema de RA que fosse possível de ser apoiado sobre um mapa com pouca informação, e

que fossem apresentadas as informações geográficas virtuais através do sistema de RA, com a abordagem de “lentes mágicas”.

As camadas de informação a serem dispostas pelo sistema de Realidade Aumentada são referentes à hidrografia, tipos de solo, assim como informações relativas ao relevo, como representações em curvas de nível, escalas de cinza ou de cores hipsométricas, declividade, formato das vertentes, informações com relação às áreas de risco a deslizamentos de terra e imagens de satélite referente ao pós-evento de deslizamento de terra da data 11/03/2011. Ainda, o Modelo Digital de Elevação (MDE) em 3D da área de estudo foi gerado para ser apresentado pelo sistema de Realidade Aumentada.

Desta forma, implementou-se o sistema de RA com a possibilidade de explorar diversos formatos de camadas de informação, como em formatos vetoriais (linhas e polígonos), imagens (formato *raster*) e elementos em 3D, como o MDE da área.

## 8.2 RESULTADOS

A seguir são apresentadas as Figura 8.3, Figura 8.4, Figura 8.5 e Figura 8.6 que apresentam detalhes do sistema de Realidade implementado.

A Figura 8.3 apresenta as camadas de informação virtual referentes aos recursos hídricos. A Figura 8.3a apresenta apenas o mapa impresso sem nenhuma camada de informação virtual sendo apresentada ainda pelo sistema de RA. As Figura 8.3 (b à d) mostram a camada virtual referente aos recursos hídricos sendo adicionada ao mapa. Nestas figuras é possível verificar que o mapa impresso apresenta apenas o contorno da bacia hidrográfica, enquanto no *tablet* é possível visualizar a informação digital sendo sobreposta ao mapa. Independente do ângulo ou atitude entre o *tablet* e o mapa, o sistema é capaz de sobrepor a informação digital sobre o mapa em tempo real, respondendo a mudança de posição, ângulo ou atitude do usuário.

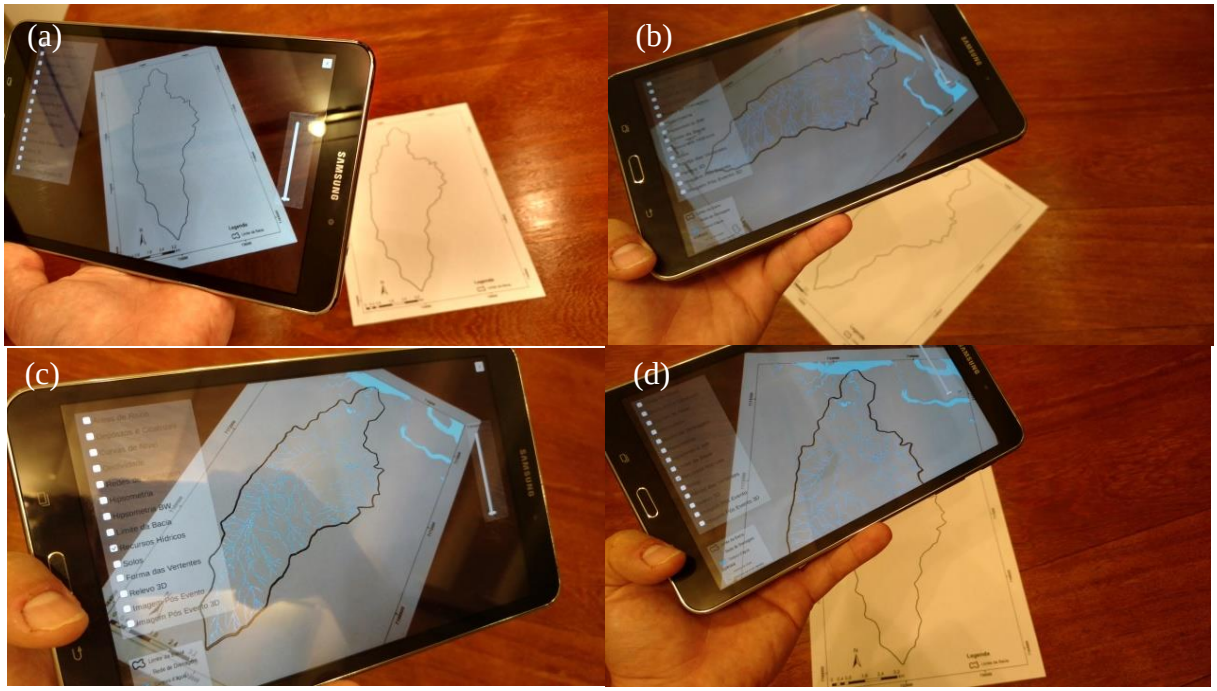



Figura 8.3 – Sistema de Realidade Aumentada com a apresentação de uma camada digital (camadas de Recursos Hídricos) sobre o mapa impresso. (a) sem nenhuma camada sendo apresentada. (b-d) vários ângulos entre *tablet* e mapa impresso.

Ainda, outras camadas de informação relacionadas à geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Jacareí foram implementados no sistema de Realidade Aumentada. As imagens do sistema de Realidade Aumentada sobrepondo estas camadas de informação digitais relacionadas à geomorfologia sobre o mapa impresso são apresentadas na Figura 8.4.

A Figura 8.4 (a e b) apresentam a camada de informação digital referente à hipsometria da bacia, em escala de color; Figura 8.4c apresenta a camada da hipsometria em escala de cinza; Figura 8.4d apresenta as curvas de nível da região; Figura 8.4e apresenta a declividade; Figura 8.4f apresenta as formas das vertentes; Figura 8.4g apresenta a camada referente aos tipos de solos; Figura 8.4h apresenta a camada sobre as áreas em função do risco ao deslizamento de terra; Figura 8.4i apresenta os polígonos referentes aos deslizamentos e depósitos de terra ocorridos no evento de 11/03/2011e a Figura 8.4j apresenta a imagem de satélite pós-evento de deslizamento de terra do dia 11/03/2011.

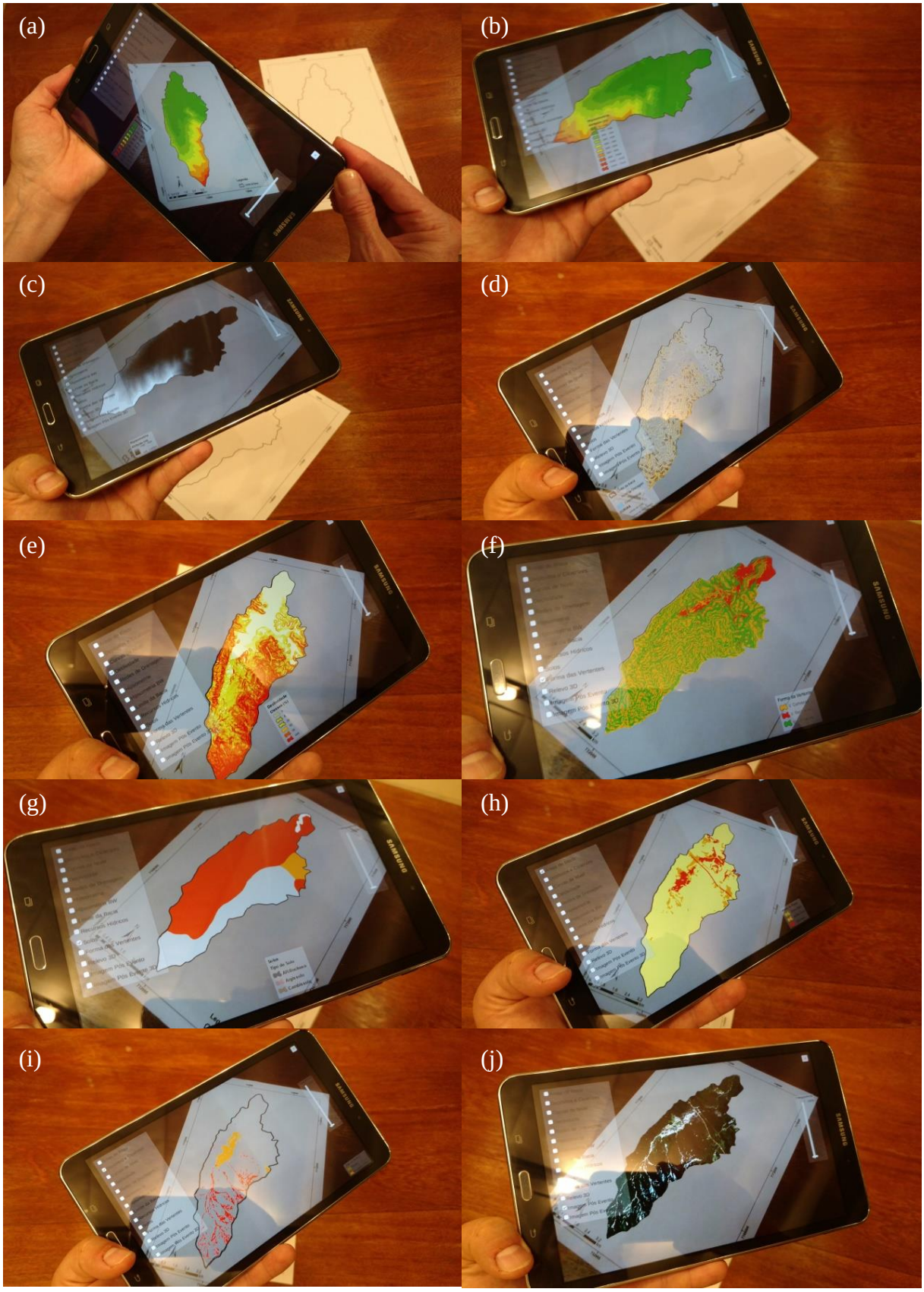



Figura 8.4 – Sistema de Realidade Aumentada – Camadas de informação digitais implementadas.

Ainda, o sistema de Realidade Aumentada desenvolvido é capaz de sobrepor as próprias camadas de informação digitais apresentadas. Com isso, seria possível análise da inter-relação entre essas camadas digitais, como no caso de sobreposição da camada de recursos hídricos sobre a camada da hipsometria ou declividade. Como forma de ilustrar essa característica, tem-se a Figura 8.5, onde é apresentada a sobreposição da camada de curvas de nível sobre a camada de hipsometria.

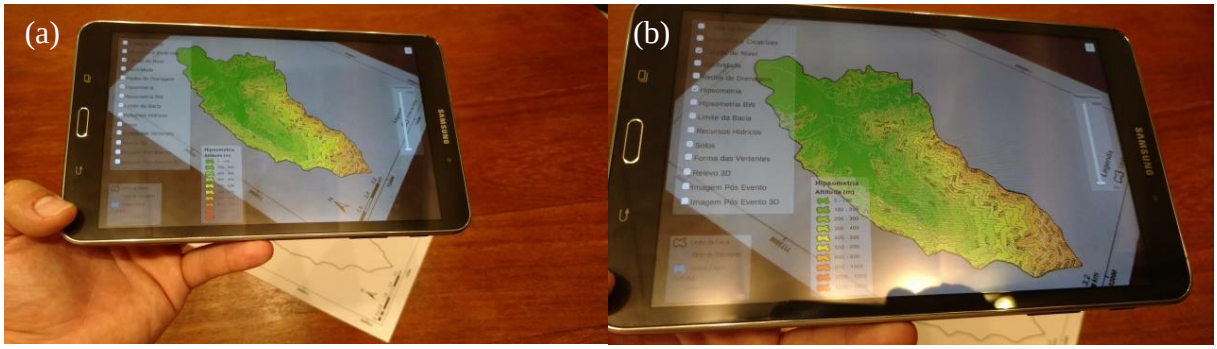



Figura 8.5 – Sistema de Realidade Aumentada - Sobreposição de camadas de informação digitais.

Entretanto, outra característica que pode impactar positivamente o trabalho dos usuários com dados geomorfológicos, mapas e Realidade Aumentada está na possibilidade de trabalhar com modelos em 3D diretamente sobre os mapas impressos. A Figura 8.6 apresenta as imagens do sistema de RA sobrepondo o mapa impresso com os Modelos Digitais do Terreno em 3D. As Figura 8.6 (a - d) apresentam o MDT em 3D com a camada em escala de cor da hipsometria, enquanto as Figura 8.6 (e - f) apresentando o mesmo MDT em 3D com a imagem pós-evento sobre o mesmo.

Com isso, o usuário tem a possibilidade de melhor entender o relevo, assim como o evento de deslizamento de terra, diminuindo o esforço cognitivo para a leitura dos dados, representando diversas variáveis, assim como na tradução mental das informações em 2D para 3D.

Figura 8.6– Camadas em 3D do sistema de Realidade Aumentada.

Após domínio do desenvolvimento e exploração de algumas potencialidades que os sistemas de RA podem oferecer, tem-se o Capítulo a seguir que trata dos testes dos sistemas de RA com usuários.

# Capítulo 5 - Avaliações do uso de Realidade Aumentada para interações com mapas e dados geográficos

# 9 AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA INTERAÇÃO COM MAPAS TEMÁTICOS

A seguir é apresentado um ensaio exploratório com testes com usuários de um sistema de Realidade Aumentada implementado para dispositivos móveis - utilizando a abordagem *markerless* - para interação com mapas e dados geográficos da Nova Zelândia. O objetivo deste trabalho foi avaliar se a utilização de sistemas de RA poderiam trazer melhorias na execução de tarefas por parte de seus usuários, em especial quando utilizando a abordagem "lente mágica", em dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones*. Também, parte desta avaliação decorre da comparação entre a utilização e leitura tradicional de mapas impressos e combinação mental dos dados geográficos ou se a utilização do sistema de RA poderia facilitar neste processo. Para isso, utilizou-se de testes com usuários em diversos cenários, formas e recursos de trabalho, para análise do espaço geográfico.

Neste trabalho utiliza-se de diversas abordagens exploradas e implementadas em seções anteriores, como a utilização de mapas temáticos impressos, dados de diversas fontes, em formato 2D e 3D. Desta forma, apoia-se na construção e desenvolvimento dos sistemas de RA apresentados nas seções anteriores e faz-se um estudo exploratório para análise das contribuições deste sistema de RA aos usuários. São apresentadas a seguir as informações referentes aos dados utilizados, sistema de RA desenvolvido, assim como a descrição da metodologia abordada nos testes com usuários e resultados obtidos neste experimento.

## 9.1 METODOLOGIA

### 9.1.1 O sistema de Realidade Aumentada

O sistema de Realidade Aumentada desenvolvido utiliza-se da abordagem *markerless*, através da utilização da biblioteca Qualcomm Vuforia. Também, este sistema de RA foi implementado para o sistema operacional Android, para ser usado em *tablets* e *smartphones*.

Para esta pesquisa, três mapas físicos impressos foram confeccionados e utilizados referentes à Nova Zelândia - mostrados na Figura 9.1. Estes mapas impressos com informações da Nova Zelândia são: somente o contorno (linha de costa) (Figura 9.1a), a

informação de altimetria (SRTM) (Figura 9.1b) e número de habitantes de cada autoridade territorial do censo de 2013 (Figura 9.1c). Estes mapas foram impressos em formato A4 (21 centímetros x 29,7 centímetros) e em escala 1:8.000.000.

A informação virtual utilizada neste trabalho e a ser apresentada pelo sistema de RA é mostrada na Figura 9.2. Estas informações geográficas virtuais consistem em: Modelo Digital do Terreno (MDT) em 3D (Figura 9.3a), o mapa do número de habitantes em 2D (Figura 9.2b), e o mapa do número de habitantes sobre o MDT em 3D (Figura 9.2c).

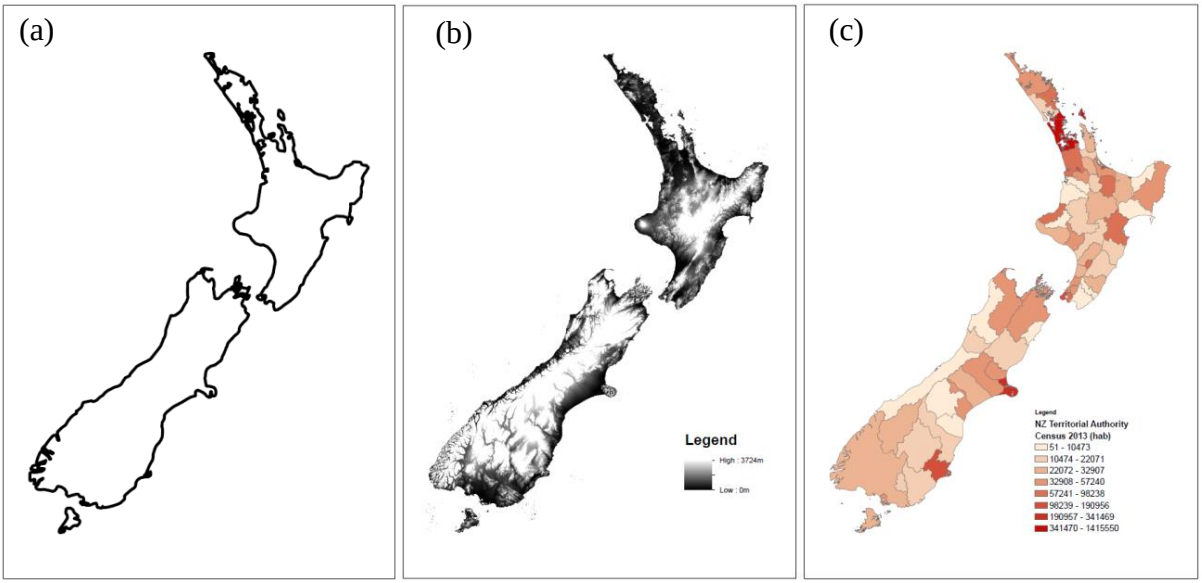



Figura 9.1 – Mapas impressos da Nova Zelândia utilizados. (a) Apenas o contorno (linha de costa); (b) Altimetria (dados SRTM); (c) Número de habitantes – censo 2013.

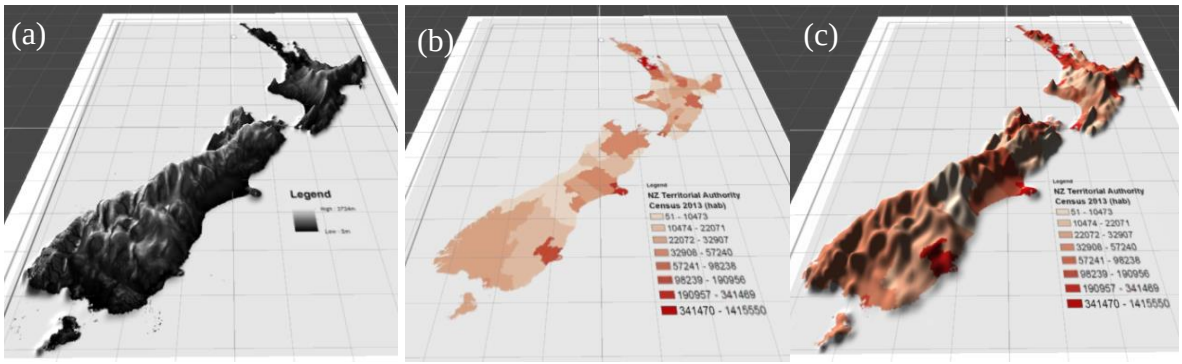



Figura 9.2 – Camadas Virtuais a serem apresentadas pelo sistema de RA. (a) Modelo Digital do Terreno em 3D; (b) Número de habitantes - Censo 2013 em 2D; (c) Número de habitantes sobre o Modelo Digital do Terreno em 3D.

### 9.1.2 Os usuários

Foram conduzidos testes e entrevistas com usuários a fim de analisar a interação dos mesmos com o sistema de RA para a tarefa de leitura de mapas. 40 pessoas foram entrevistadas, sendo: 4 professores da área de geoinformática, 17 alunos de graduação em Engenharia Cartográfica e 19 estudantes de pós-graduação em Ciências Geodésicas. Vale informar que a experiência dos usuários participantes foi a seguinte:

- Todos os alunos de graduação não tinham experiência com SIG ou sistemas de Realidade Aumentada (todos eram alunos do primeiro ano do curso);
- Todos os professores tinham experiência com SIG, e 2 deles tinham experiência com RA;
- A maioria dos alunos de pós-graduação tinha experiência na utilização de SIG (17 de 19), e um deles tinha familiaridade com RA (1 de 19).

Para fins de análise, os usuários foram então separados em grupos de acordo com a experiência em SIG, ao invés de grau acadêmico, uma vez que, neste caso, apenas o grau acadêmico não reflete realmente o conhecimento dos usuários sobre a familiaridade com trabalho com SIG e dados geográficos. Esta experiência com SIG, por outro lado, pode refletir melhor nas habilidades do usuário com mapas e dados geográficos. Verificou-se que alguns usuários de pós-graduação não tinham nenhuma experiência anterior com SIG ou manipulação de dados geográficos, o que pode colocá-los juntamente com os alunos de graduação, também sem experiência com SIG. Desta forma, separando-se os grupos em função da experiência com SIG e manipulação de dados geográficos: 21 usuários possuem experiência prévia com SIG e 19 não.

### 9.1.3 As entrevistas

Com relação ao teste, o mesmo consistiu em perguntar aos usuários a relação entre a paisagem e a população da Nova Zelândia. Eles também foram convidados a identificar a localização das áreas mais populosas e se havia alguma relação entre a concentração humana e a paisagem. Vale aqui ressaltar que nenhum dos usuários participantes havia estado ou possuía conhecimento prévio sobre a paisagem e população da Nova Zelândia.

Para execução dos testes, os usuários foram divididos aleatoriamente em 3 cenários distintos, de acordo com o material que poderiam usar na execução da tarefa. Com isso, o que se objetivou foi a análise se a quantidade ou possibilidade de recursos poderia influenciar nas análises feitas pelos usuários. Cada usuário participou de apenas um cenário, sendo apenas ao final do teste apresentado aos outros cenários, apenas para posterior análise de preferência.

No primeiro cenário (C01), os usuários tinham que executar a tarefa usando apenas os mapas impressos (Figura 9.3a). No segundo cenário (C02), os usuários foram instruídos a realizar a tarefa usando apenas o mapa impresso com o contorno de Nova Zelândia e o sistema de RA (Figura 9.3b). No terceiro cenário (C03), os usuários poderiam usar o sistema de Realidade Aumentada e/ou quaisquer mapas impressos (Figura 9.3c). Assim, em função de cada cenário, os usuários:

Cenário 01: Utilizaram apenas os mapas físicos impressos;

Cenário 02: Utilizaram apenas o mapa de contorno e o sistema de RA;

Cenário 03: Poderiam usar todos os mapas físicos impressos e o sistema de RA.

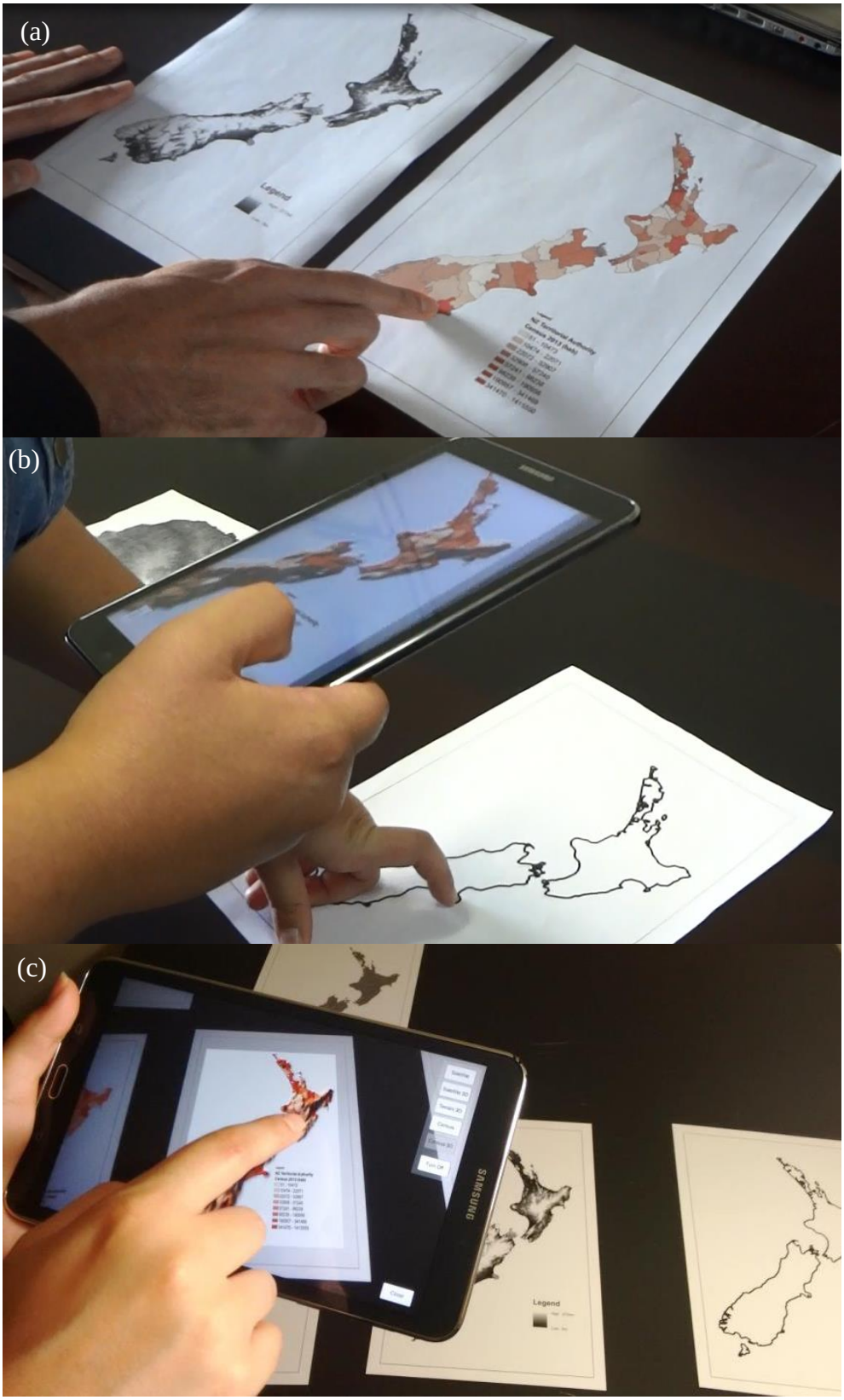



Figura 9.3 – Execução da tarefa em função de cada cenário. (a) Cenário 01 – apenas os mapas impressos; (b) Cenário 02 – apenas o mapa impresso do contorno e o sistema de RA; (c) Cenário 03 – todos os mapas impressos e o sistema de RA.

O número de usuários em cada cenário, em função da experiência com SIG, pode ser visto na Tabela 9.1. Os usuários em cada cenário foram separados de forma aleatória, mas atentando-se para que tivesse aproximadamente o mesmo número de usuários em cada cenário. Assim, o número de participantes, com ou sem experiência em SIG, em cada cenário foi semelhante, totalizando 13 usuários no C01, 13 no C02 e 14 no C03.

Tabela 9.1 – Número de participantes em cada cenário.

| | C01 | C02 | C03 | Total |
|---|---|---|---|---|
| Com experiência | 06 | 08 | 07 | 21 |
| Sem experiência | 07 | 05 | 07 | 19 |
| Total | 13 | 13 | 14 | 40 |

Ou seja, neste trabalho, os usuários foram distinguidos por 2 classes (com ou sem experiência em SIG) e executado a tarefa em um dos 3 cenários (C01, C02 ou C03).

Todos os testes foram gravados para posterior análise de tempo e das reações na execução das tarefas. Entretanto, os usuários não foram alertados previamente de que o tempo para execução das tarefas seria analisado, de modo a não fazer com que os usuários se sentissem pressionados em responder rapidamente ou tomar decisões rápidas e não executar corretamente as tarefas.

Ao fim, depois de terminar o experimento, foi explicado para cada usuário como os outros usuários, em outros cenários, poderiam executar a tarefa. Para análise de preferência dos usuários, foi perguntado se o usuário preferiria ter participado em um dos outros cenários, ou se o usuário considerava que algum outro cenário teria mais vantagens para execução das tarefas.

## 9.2 RESULTADOS

Os participantes foram convidados a identificar e analisar a relação entre população e da paisagem e o local com o maior número de habitantes da Nova Zelândia. Todas as entrevistas foram registradas para posterior análise e para determinar o tempo que cada usuário levou para responder as perguntas.

### 9.2.1 Usuários com experiência em SIG

Primeiramente, a análise do tempo utilizado para resolver a tarefa entre os usuários com experiência em SIG é apresentada. É importante mencionar que, embora o tempo de trabalho variasse de acordo com o usuário, todos os usuários com experiência em SIG responderam a pergunta corretamente. Ou seja, os usuários com experiência em SIG, independente do tempo que demoraram para executar o teste, tiveram 100% de acerto sobre a análise da paisagem e população da Nova Zelândia.

Os tempos mínimo, média e máximo para responder à pergunta de cada cenário (C01, C02 e C03) foram calculados e são apresentados na Tabela 03 e plotados na Figura 9.4.

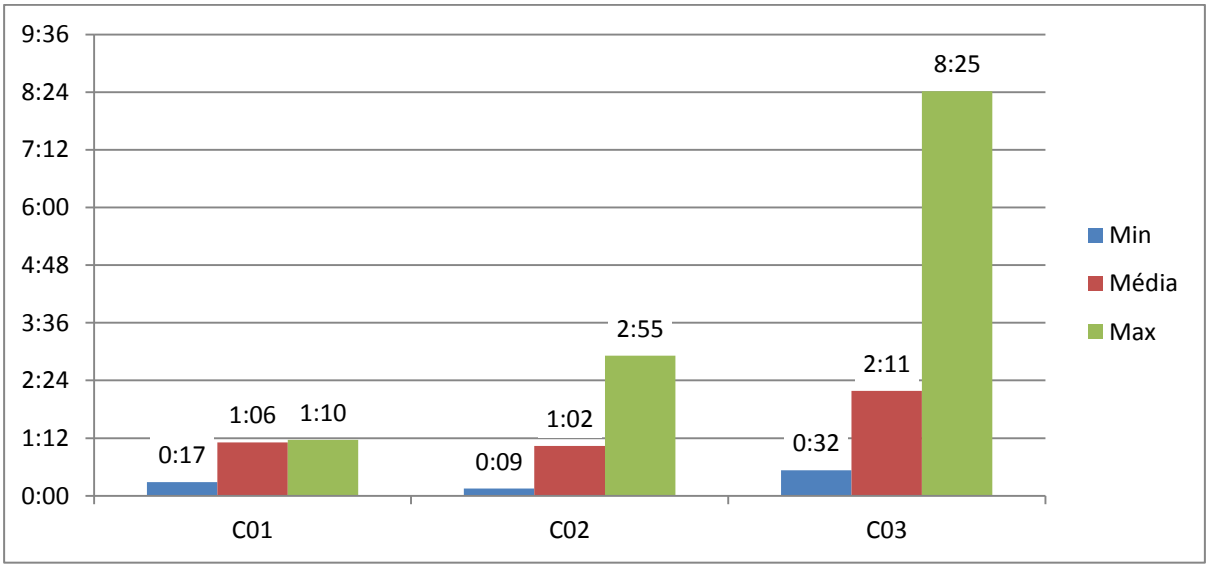



Figura 9.4 – Tempo mínimo, médio e máximo para responder a questão para cada cenário, pelos usuários com experiência em SIG.

De acordo com os resultados obtidos, e na Figura 9.4 apresentada, os usuários com experiência em SIG que só utilizaram os mapas impressos (Cenário 01) ou que utilizaram apenas a RA com o mapa do contorno da Nova Zelândia (Cenário 02), foram os mais rápidos. O Cenário 03 - onde foi permitido o uso de todas as informações (sistema de RA e todos os mapas impressos) - foi o mais lento. No entanto, a resposta mais rápida foi registrada no Cenário 02, com apenas 9 segundos. Isto pode ser explicado pelo fato de que o usuário que respondeu mais rapidamente do que todos possuía experiência tanto em SIG como em RA. Os usuários que demoraram mais tempo para responder as questões estavam nos grupos que

trabalharam com o sistema de RA – Cenário 02 e 03, com tempos de 2:55 e 8:25, respectivamente.

Ao final dos testes, todos os usuários eram informados como foram os outros cenários para execução do teste. Ou seja, quem trabalhou apenas com os mapas impressos era apresentado ao sistema da RA; quem trabalhou apenas com o mapa de contorno era apresentado aos outros mapas impressos; e quem trabalhou com todos os mapas e o sistema de RA era informado que havia quem tivesse trabalhado apenas com o mapa do contorno com RA, ou com todos os mapas mas sem o sistema de RA. Ao final, era perguntado então qual cenário os usuários achariam que teria vantagem ou se eles gostariam de ter realizado o teste em algum outro cenário. A Tabela 9.2 traz os valores referentes à preferência de cada usuário.

Tabela 9.2 – Preferência de usuários com experiência em SIG.

| Preferência dos usuários com experiência | C01 | C02 | C03 | C02-C03 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Quantidade de usuários | 02 | 08 | 06 | 05 | 21 |

Embora os Cenários 02 e 03 – que utilizaram o sistema de RA – foram os que tiveram os usuários mais lentos, quase todos os usuários com experiência em SIG prefeririam ter trabalhado em algum cenário onde poderiam utilizar-se do sistema de RA para executar as tarefas.

Apenas 2 usuários preferiram trabalhar da maneira tradicional, utilizando os mapas impressos. Seis usuários preferiram o Cenário 03, afirmando que “ter mais informações disponíveis para consulta seria melhor”. Entretanto, uma minoria dos usuários que executaram o teste no Cenário 03 consultou os mapas impressos durante a tarefa.

Oito usuários preferiram o Cenário 02, dizendo que se eles tivessem acesso ao sistema RA, eles não precisariam de mais mapas impressos. E cinco usuários disseram que preferiam qualquer cenário que trabalhasse com o sistema de RA (fosse o C02 ou C03). Portanto, pode-se concluir que estes cinco usuários podem ser adicionados aos que preferiram o Cenário 02, uma vez que eles usariam o sistema de RA para resolver o problema proposto utilizando o mapa impresso apenas como uma referência espacial no mundo real.

No entanto, um usuário relatou a necessidade de se ter, pelo menos, um mapa impresso para servir como referência espacial no espaço geográfico. Ele relatou que sua referência espacial poderia ser perdida se algum outro símbolo qualquer fosse usado em vez do mapa. Portanto, se houvesse apenas um símbolo a ser usado pelo sistema de RA, tais como

um marcador fiducial qualquer senão o mapa, o usuário poderia perder a referência espacial. Segundo este usuário, o mapa impresso permite uma referência geográfica no ambiente real, o que não seria possível se fosse utilizado apenas um marcador fiducial ou outro símbolo qualquer impresso.

Somente um participante utilizou apenas os mapas impressos para resolver o teste, apesar de estar no Cenário 03 – que poderia usar o sistema de RA e todos os mapas impressos. Só depois de terminar o teste este usuário começou a "brincar" com o sistema de RA para ver como ele funcionava. Este usuário afirmou que para ele é mais fácil de usar o mapa, porque ele passou muitos anos trabalhando diretamente com mapas. Ou seja, sua experiência anterior o fez preferir trabalhar da maneira como já estava habituado.

O bom desempenho desta classe de usuários com experiência em SIG pode ser atribuído a experiência anterior, sendo que eles estavam mais confortáveis no trabalho com os dados geográficos.

Entretanto, notou-se que alguns destes usuários com experiência precisavam de mais tempo quando trabalhando com o sistema de RA. Muitas vezes, estes usuários ficaram "brincando" com o sistema de RA antes de responder a pergunta, movendo o *tablet* para ver o modelo virtual, movimentando o mapa impresso, caminhando ao redor do mesmo, movendo o *tablet* de quase 90° em relação ao mapa impresso só para ver a paisagem 3D em perspectiva, ou tirando os mapas físicos fora de campo de visão do *tablet* para ver como o sistema RA reagiria. Muitos destes usuários, além de "brincar" com o sistema, ficavam tentando entender como funciona o sistema – se a informação virtual era realmente registrada aos mapas físicos, como era possível o registro da informação virtual sobre todos os mapas impressos, etc.

Em resumo, para este experimento, é possível afirmar que os usuários com experiência em SIG tiveram tempos para executar a tarefa menores quando trabalharam com os tradicionais mapas impressos, embora a preferência da maioria foram os cenários que poderiam usar o sistema de RA.

Foi notado também que, por vezes, estes usuários "perderam" algum tempo "brincando" com o sistema de RA, o que pode ter influenciado no tempo medido em cada cenário. Entretanto, isto demonstra que os usuários tiveram maior interesse e interagiram mais com os mapas e dados geográficos. Também, ressalta-se que todos os usuários com experiência responderam corretamente ao teste, indicando a relação entre os adensamentos populacionais e o relevo da Nova Zelândia.

### 9.2.2 Usuários sem experiência em SIG

Os resultados foram diferentes para a classe de usuários sem experiência em SIG. Primeiro, é importante ressaltar que três usuários nesta classe não responderam a pergunta, ou a responderam incorretamente. Uma vez que cada um desses usuários estava trabalhando em cada cenário, não é possível afirmar se o uso do sistema de RA ou do mapa impresso é que foi a fonte de dificuldade para o usuário resolver a tarefa. Com isso, o tempo de respostas destes três usuários não foi computado.

Os tempos mínimo, média e máximo para responder à pergunta de cada cenário para a classe de usuários sem experiência em SIG são apresentados na Figura 9.5. O cenário mais lento foi o que utilizou apenas os mapas impressos (Cenário 01). Cenários 02 e 03 tiveram um desempenho muito semelhante, mas o Cenário 02 teve a resposta mais rápida de todos, com 08 segundos.

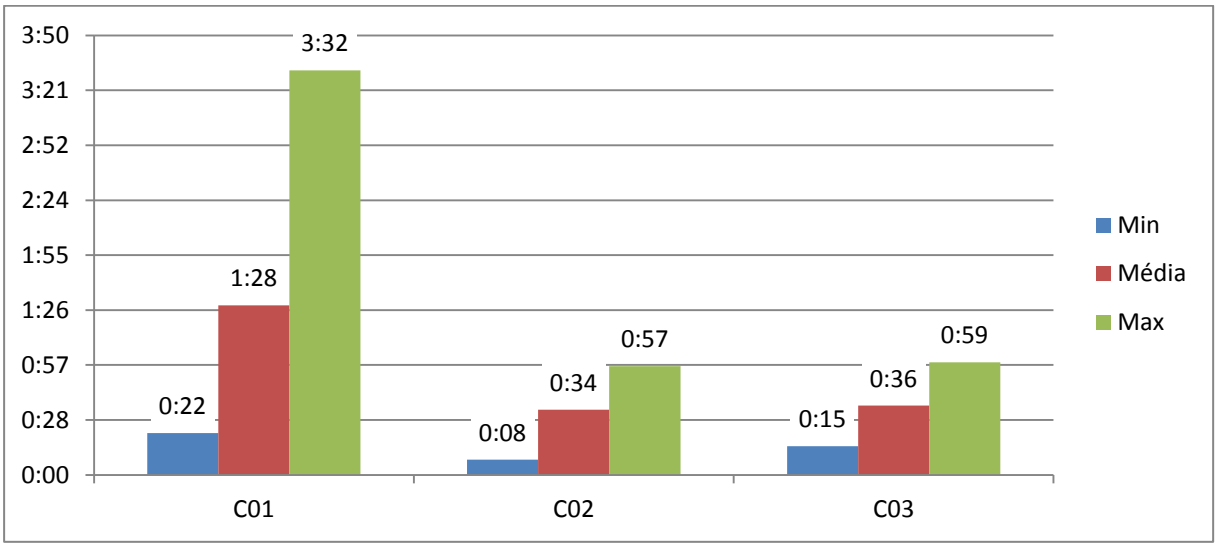



Figura 9.5 – Tempo mínimo, médio e máximo para responder a questão para cada cenário para os usuários sem experiência em SIG.

Para esta classe de utilizadores sem experiência com SIG, é possível verificar que o uso dos mapas impressos demandou mais tempo, uma vez que o usuário tinha de interpretar e combinar a informação, uma ação que requer um processamento cognitivo que talvez estes usuários não estejam acostumados. Por outro lado, quando os usuários utilizaram o sistema de Realidade Aumentada, a informação ficou mais facilmente disponível - especialmente quando

os usuários precisavam combinar os dados do censo e do relevo. De acordo com alguns relatos, o usuário "viu a informação de forma mais fácil do que ter que misturar as informações dos mapas impressos". Assim, é possível concluir que o sistema de RA diminuiu o esforço dos usuários para combinar a informação de diferentes mapas impressos, tornando o problema proposto mais fácil de resolver.

Em relação à preferência dos usuários sem experiência com SIG, quase 90% dos usuários preferiram os cenários que poderiam usar o sistema de RA. Estes resultados sobre a preferência dos usuários são sintetizados na Tabela 9.3.

Tabela 9.3 – Preferência dos usuários sem experiência em SIG.

| Preferência dos usuários sem experiência | C01 | C02 | C03 | C02-C03 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Quantidade de usuários | 02 | 03 | 11 | 03 | 19 |

Apenas dois destes usuários preferiram trabalhar com os mapas impressos. Três usuários preferiram o Cenário 02 – com o sistema de RA e o mapa com apenas com o contorno da Nova Zelândia. Três usuários responderam que preferem qualquer cenário que pudesse usar o sistema de RA (estes usuários poderiam, portanto, usar apenas o mapa do contorno para resolver o problema – como no Cenário 02).

Além disso, onze usuários disseram que preferiam trabalhar com todas as informações juntas, o sistema de RA e todos os mapas – Cenário 03. No entanto, na prática, os usuários presentes no Cenário 03 usaram apenas o sistema RA sobre apenas um mapa (qualquer mapa, normalmente o mais próximo). Apenas alguns usuários no Cenário 03 consultaram os mapas impressos; a maioria deles consultou apenas o sistema de RA. Estes usuários usaram o mapa impresso apenas como uma referência no mundo real, mas não utilizaram o mapa impresso como fonte de informação para chegar à resposta. É possível afirmar, portanto, que o comportamento desses utilizadores é semelhante ao do Cenário 02, que utilizaram apenas o contorno da Nova Zelândia, apenas para ter uma referência espacial. Ou seja, esses usuários não consultaram os mapas impressos como uma fonte de informação para resolver a questão, estes usuários utilizavam o mapa impresso apenas para registrar a informação virtual sobre uma referência geográfica impressa em um objeto real.

### 9.2.3 Análise geral

A Tabela 9.4 resume os resultados com relação ao tempo que os usuários tomaram para responder as perguntas, dos cenários C01, C02 e C03, e das classes de usuários com e sem experiência em SIG. Como pode ser observado, a resposta mais rápida (8 segundos) foi por um utilizador sem experiência em SIG, no Cenário 02; a segunda resposta mais rápida também estava no Cenário 02, mas na classe de usuários com experiência em SIG, com 9 segundos.

Tabela 9.4 – Tempo mínimo, médio e máximo (minutos e segundos) para responder as perguntas por cada cenário de teste.

| | Com experiência | | | Sem experiência | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | C01 | C02 | C03 | C01 | C02 | C03 |
| Mínimo | 0:17 | 0:09 | 0:32 | 0:22 | 0:08 | 0:15 |
| Média | 1:06 | 1:02 | 2:11 | 1:28 | 0:34 | 0:36 |
| Máximo | 1:10 | 2:55 | 8:25 | 3:32 | 0:57 | 0:59 |

Ao comparar o tempo médio de cada cenário de execução do teste e classe de experiência dos usuários, é possível visualizar que os usuários com experiência em SIG que usaram todas as informações (Cenário 03 – todos os mapas impressos e o sistema de RA) foram os mais lentos, seja comparando a média dos tempos, como o mínimo e máximo. Os usuários sem experiência foram os mais rápidos quando utilizando o sistema de RA (Cenário 02 ou 03). Os usuários com experiência em SIG foram os mais rápidos utilizando os mapas impressos (Cenário 01).

Portanto, é possível verificar que os usuários com experiência em SIG, executaram esta tarefa proposta mais rápido usando os mapas impressos, e aqueles sem experiência anterior com SIG executaram esta tarefa proposta mais rápido usando o sistema de RA.

No entanto, deve-se salientar que os usuários com experiência em SIG, por vezes, “perderam” tempo “brincando” com o sistema de RA, tentando compreendê-lo mais profundamente antes de responder a pergunta, o que pode ter tornado esta classe de usuários mais lenta em responder a pergunta.

Entretanto, esta interação entre os usuários e o sistema de RA não pode ser considerada uma “perda de tempo”, ou um “desperdício”, uma vez que indica que os usuários estavam desfrutando do sistema de RA e tentando explorar mais o mapa, dados geográficos e

o próprio sistema de RA. Contudo, como o tempo era uma variável analisada neste estudo, os usuários levaram mais tempo para responder à pergunta, aumentando assim o tempo global para o cenário em que executaram a tarefa.

Com relação à preferência dos usuários, a Tabela 9.5 fornece um resumo dos resultados encontrados nesta pesquisa. Apenas quatro usuários preferiram trabalhar com os mapas impressos (10% dos usuários entrevistados). Os outros 90% preferiram trabalhar com o sistema de Realidade Aumentada juntamente com os mapas impressos.

Tabela 9.5 – Preferência de todos os usuários.

| Preferência dos usuários | C01 | C02 | C03 | C02-C03 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Com experiência | 02 | 08 | 06 | 05 | 21 |
| Sem experiência | 02 | 03 | 11 | 03 | 19 |
| Total | 04 | 11 | 17 | 08 | 40 |

Alguns usuários relataram que prefeririam trabalhar com todos os mapas impressos e o sistema de RA (Cenário 03), explicando que eles preferem o cenário com mais informações disponíveis. No entanto, enquanto alguns usuários estavam trabalhando no Cenário 03, eles utilizaram apenas um mapa impresso, apenas para apoiar o sistema de RA. Portanto, é possível concluir que, por mais que dissessem que prefeririam ter todas as informações disponíveis caso quisessem consultá-las, na prática, os usuários no Cenário 03 (que poderiam explorar todas as possibilidades) acabavam por utilizar apenas um mapa impresso como referência espacial e consultando apenas as informações apresentadas pelo sistema de RA para chegar a solução e responder a pergunta.

Ainda, 11 usuários (27,5% do total) disseram que prefeririam trabalhar no Cenário 02, afirmando que apenas o mapa do contorno da Nova Zelândia poderia ser suficiente, desde que eles tivessem acesso às informações oferecidas pelo sistema de RA.

Além disso, alguns usuários disseram que preferem qualquer cenário desde que pudessem utilizar o sistema de RA (08 usuários, 20% do total). É possível assumir que estes usuários estivessem mais interessados nas camadas virtuais e possibilidades oferecidas pelo sistema de RA do que na consulta às informações nos mapas impressos em si. Portanto, esses usuários provavelmente utilizariam o mapa impresso apenas como uma referência espacial. Para esses usuários, apenas o mapa do contorno da Nova Zelândia poderia ser suficiente, uma vez que eles prefeririam consultar as informações digitais apresentadas no sistema de RA.

É possível concluir que o sistema de RA desenvolvido ajudou os usuários a compreender melhor a topografia local e os dados estatísticos populacionais - em especial, a relação entre a população e a paisagem.

No geral, observou-se que o sistema de RA desenvolvido neste estudo ajudou os usuários a resolver as tarefas, especialmente para aqueles sem experiência com SIG e manipulação de mapas e dados geográficos.

Comparando apenas dois cenários, um com a utilização apenas de mapas impressos e outro onde o sistema de Realidade Aumentada desenvolvido foi disponibilizado aos usuários, verificou-se que, majoritariamente, os usuários preferiram usar a interface de Realidade Aumentada desenvolvida para completar a tarefa que lhes foi dada (90% dos usuários). Os usuários que tinham mais experiência com a manipulação de dados geográficos e SIG foram mais eficientes em trabalhar com os mapas tradicionais impressos, enquanto os sem experiência anterior em SIG tenderam a trabalhar melhor com o sistema de Realidade Aumentada.

Uma observação comum era que um mapa impresso real é necessário como base e útil para fins de orientação e referência espacial física. Quando trabalhando com o sistema de RA, a maioria dos usuários não usaram os mapas impressos como fonte de informação, estes usuários utilizavam os mapas impressos apenas como referência espacial para apoiar o sistema de RA.

Além disso, notou-se que apenas o mapa do contorno da Nova Zelândia já seria suficiente para fornecer a referência espacial, enquanto o sistema de Realidade Aumentada poderia fornecer todas as informações geográficas que eles precisariam para a execução da tarefa.

Embora mais testes devam ser feitos, é possível afirmar que este sistema RA desenvolvido despertou o interesse dos usuários. Observou-se também que algumas pessoas executaram as tarefas propostas demostrando grande entusiasmo, às vezes sorrindo ao trabalhar com o sistema de RA desenvolvido, assim como outros usuários que fizeram elogios ao sistema de RA ou exclamações como "Uau!" e "Que demais!".

Às vezes, os usuários levaram mais tempo para responder a pergunta porque estavam “brincando” com o sistema de RA. Por mais que isto possa ter influenciado no tempo global computado para o seu grupo, pois o tempo para resolver a tarefa foi uma das variáveis analisadas neste trabalho, eles não estavam “perdendo” tempo para responder a pergunta, mas

sim estavam desfrutando do sistema de RA, interagindo ainda mais com o sistema de RA, com os mapas e com os dados geográficos da área de estudo.

Embora esses experimentos e resultados representam um estudo mais aprofundado com usuários, também é considerado como exploratório, sendo encontradas algumas reflexões iniciais sobre o sistema RA desenvolvido, bem como as variáveis e os testes a serem feitos. A seguir aprofunda-se mais nos testes com usuários de maneira a quantificar as interações e melhorias na execução de tarefas com mapas por usuários quando auxiliados por sistemas de Realidade Aumentada.

# 10 AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PARA INTERAÇÃO COM MAPAS TOPOGRÁFICOS

Por fim, é apresentado este último ensaio empírico com os sistemas desenvolvidos de Realidade Aumentada, mapas impressos e dados geográficos, fazendo-se uso de tarefas de leitura de mapas e testes com usuários. Neste trabalho apresentado nesta seção são feitas análises tanto quantitativas como qualitativas a respeito de fatores como motivação, demandas metais e físicas, eficácia, aceitação e preferências por parte dos usuários na interação com os sistemas de RA, mapas impressos e dados geográficos.

Vários trabalhos e avaliações empíricas que analisaram os efeitos de tecnologias sobre práticas educacionais produziram resultados encorajadores. Na verdade, tecnologias com abordagens diferentes das habituais foram identificadas como um dos fatores que podem melhorar a motivação dos alunos (SPECHT, TERNIER e GRELLER, 2011).

No campo educacional, a motivação pode ser definida como o desejo do aluno de se engajar em um ambiente de aprendizagem (KELLER e LITCHFIELD, 2002). Pesquisadores e professores concordam que os alunos motivados a aprender têm maior probabilidade de se envolverem, persistirem e disporem maiores esforços para a realização de tarefas do que aqueles que estão desmotivados (CSIKSZENTMIHALYI, 1991; EFKLIDES, KUHL e SORRENTINOM, 2001).

Schunk (1991) afirma que a motivação tem potencial para influenciar o que, quando e como aprender, e aumenta a probabilidade de se engajar em atividades que ajudarão os alunos a aprender e alcançar um melhor desempenho. A tese oposta também é verdadeira, uma vez que a falta de motivação pode ser um grande obstáculo que impede o sucesso do aluno (JEAMU, KIM e LEE, 2008).

Houve algumas tentativas de usar RA para fins educacionais e de formação, à exemplo de Billinghurst, Kato e Poupyrew (2001); Nejdl, et al. (2006); Platonov et al. (2006), entre outros. No entanto, o potencial de RA na educação permanece com várias lacunas e há uma quantidade limitada de estudos investigando a motivação dos alunos com o uso de RA.

Com isso, desenvolveu-se este trabalho a fim de avaliar características como motivação, aceitação, demandas físicas e mentais, preferência e eficácia através de testes com usuários de um dos sistemas de Realidade Aumentada desenvolvido e apresentado anteriormente. O Sistema de RA a ser utilizado nos testes com usuários foi o desenvolvido para interação com o mapa topográfico oficial do IBGE, denominado Colônia Pereira,

apresentado no Capítulo 4 - Seção 6, página 108. A seguir é apresentada a metodologia abordada nos testes com os usuários do sistema de RA, seguida pelos resultados obtidos na execução destes testes.

## 10.1 METODOLOGIA DOS TESTES

Fez-se, inicialmente, um pré-teste com alguns especialistas em trabalho com dados geográficos e SIG e, por vezes, com certa experiência e familiaridade com sistemas de RA. Este grupo constava de 6 alunos do curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, com experiência em trabalhar com mapas topográficos, dados geográficos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Para avaliar quesitos com relação à eficácia, motivação, aceitação e preferência por parte dos usuários ao se trabalhar com Realidade Aumentada e mapas, 46 usuários foram entrevistados. Destes 46 usuários, 6 eram alunos de Pós Graduação como relatado acima e os demais 40 usuários entrevistados eram alunos de cursos de graduação em Eng. Cartográfica, Eng. Civil e Eng. Ambiental. Deu-se preferência para esses cursos por serem cursos que demandam que seus profissionais saibam ler mapas topográficos assim como terem um bom entendimento do espaço geográfico. Todos os alunos de graduação entrevistados já haviam passado pelas disciplinas iniciais dos cursos, assim como já haviam tido as disciplinas referentes às leituras de mapas, em especial mapas topográficos.

Entretanto, foi feita a separação na execução e análise dos resultados entre alunos da Pós-Graduação e Graduação por reconhecermos algumas diferenças nas atitudes e leitura dos mapas e entendimento do espaço geográfico. Os alunos da pós-graduação normalmente possuíam uma leitura de forma mais holística do mapa topográfico e região geográfica, conseguindo fazer análises mais complexas sobre o espaço geográfico.

Desta forma, o pré-teste com os alunos da pós-graduação foram utilizados como parâmetro de referência para como os testes deveriam ser aplicados com os alunos da graduação. Este princípio segue a metodologia abordada por vários autores (incluindo Swan et al. (2003)), uma vez que ao se executar o teste inicialmente com usuários com maior experiência ajudaria a melhor estruturar os testes, verificar possíveis falhas na metodologia, assim como nortear as análises a serem desenvolvidas.

Durante os testes, fez-se a separação dos usuários em dois grupos, os que utilizariam apenas os mapas topográficos e os que poderiam utilizar tanto o mapa topográfico como o protótipo de Realidade Aumentada desenvolvido. Os usuários foram distribuídos aleatoriamente em cada grupo, atentando-se para que houvesse a mesma quantidade de usuários em cada grupo. Desta forma, os usuários foram distribuídos conforme a Tabela 10.1.

Tabela 10.1 – Distribuição dos usuários nos Grupos conforme a experiência.

| | Mapa (média de idade) | Realidade Aumentada (média de idade) |
|---|---|---|
| Pós-Graduação | 3 (29,00) | 3 (31,5) |
| Graduação | 20 (21,45) | 20 (22,75) |

De forma a abordar uma vasta quantidade de metodologias assim como parâmetros de usabilidade do sistema de Realidade Aumentada para mapas, fez-se uso de metodologias de entrevista, observação do usuário, *think aloud* e aplicação de questionário. Estas metodologias foram aplicadas de forma mais direcionada para análise de quesitos como acurácia das respostas, preferências, ergonomia e demandas físicas e mentais, atenção, relevância, confiança e satisfação dos usuários.

Para execução dos testes, foram propostas 7 questões para os usuários responderem de maneira a instigar a interação dos usuários com o mapa topográfico e/ou o protótipo de RA. Estas perguntas estão de acordo com as tarefas de leituras de mapas de Board (1978) (Tabela 2.3, pág. 65) e van Elzakker (2004) (Tabela 2.4, pág. 66), que representam diferentes graus de envolvimento, níveis de complexidade e formas de interações e de leitura do mapa, dos dados e do espaço geográfico. As questões foram:

1. Onde estão as áreas mais altas e baixas desta área? Como você as identificou?
2. Você diria que esta área está mais para característica montanhosa ou de depressão? Como você identificou?
3. Identifique o ponto mais alto desta área. Como você identificou?
4. Identifique o ponto mais baixo desta área. Como você identificou?
5. A hidrografia desta área está fluindo, predominantemente, no sentido Leste-Oeste ou Oeste-Leste? Como você identificou?
6. Onde está a porção de urbanização desta área? Qual o tipo de relevo em que esta se encontra? Como você identificou?

7. Então, quais são as características geográficas da região?

Ou seja, com estas 7 questões, são abordadas tarefas de leitura de mapa - segundo Board (1978) (Tabela 2.3, pág. 65) - como navegação, mensuração e visualização, representados por ações de Identificar; Comparar/reconhecer, Contrastar, Discriminar/distinguir, Verificar.

Ou ainda, como em van Elzakker (2004) (Tabela 2.4, pág. 66), estas questões abrangem alguns níveis de complexidade em termos de tarefas classificadas em categorias como: básico, intermediário e globais, como: Reconhecer objetos; Encontrar ordem, padrões ou anomalias espaciais; Quantificar anomalias espaciais; Delimitar uma distribuição; Conectar uma região; Recapitular padrões encontrados; Descobrir correlações/dependências/conflitos; Obter compreensão sobre uma região.

Seguindo a metodologia do *Think Aloud*, os usuários foram assistidos durante todo o teste, sendo gravado o áudio de todas as entrevistas e para posterior análise das respostas. Todos os testes foram executados individualmente, de forma a possibilitar a análise das reações de cada indivíduo, sem influências ou ruídos externos.

Posteriormente a execução do teste com estas 7 questões, os usuários foram convidados a responder um questionário sobre como foi, para eles, a execução do teste. Neste questionário estavam presentes as questões referentes à metodologia IMMS-ARCS e NASA-TLX. Estes questionários utilizados seguindo a metodologia IMMS-ARCS e NASA-TLX podem ser encontrados na seção dos Anexos deste trabalho.

### 10.1.1 Metodologia IMMS – ARCS

Keller (1987) propõe uma abordagem à motivação que se baseia diretamente em quatro componentes: Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação (ARCS). O modelo de Keller ilustra um processo de design motivacional onde o primeiro passo é ganhar e sustentar a atenção dos estudantes e estimular sua curiosidade para aprender. O segundo passo deve garantir que as atividades de aprendizagem tenham sido alinhadas com as metas e necessidades pessoais dos alunos para serem percebidas como relevantes.

De acordo com este modelo, os alunos devem construir a confiança por sentirem-se no controle e ter expectativa de sucesso. Isto porque o grau de expectativa alcançado irá

determinar a quantidade de esforço que os alunos investem para realizar as atividades. O esforço orientado por objetivos também será influenciado por fatores externos, como entusiasmo do professor, valores sociais, qualidade da instrução e disponibilidade de recursos (KELLER, 2008). Por fim, a avaliação cognitiva e a reflexão dos alunos sobre seu desempenho determinam seus níveis de satisfação. Níveis adequados de satisfação os ajudam a manter a motivação (RODGERS e WITHROW-THORTON, 2005). Assim, cada componente do modelo ARCS desempenha um papel crítico na motivação dos alunos ao longo do processo de aprendizagem.

O *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS) foi o instrumento desenvolvido para medir a motivação do aluno seguindo o modelo ARCS (KELLER, 2010). O IMMS contém 36 perguntas com itens de escala de preferência de 5 pontos (5-*point Likert-scale items*). O IMMS tem um coeficiente de confiabilidade documentado de 0,96 (KELLER, 2010) e foi validado e utilizado em vários estudos utilizando a tecnologia como um fator motivacional na aprendizagem, como em Wei et al., (2015); Di Serio, Ibáñez e Kloos (2013); Bolliger, Supanakorn e Boggs (2010); Green e Sulbaran (2006); Rodgers e Withrow-Thorton (2005); Huang et al. (2004).

As questões e os formulários IMMS-ARCS aplicados neste trabalho podem ser encontrados na seção dos Anexos (Anexo 1 e Anexo 2). Vale aqui ressaltar que cada um desses questionários foi adaptado para os usuários que executaram a tarefa apenas utilizando o mapa topográfico ou o mapa e o sistema de RA.

### 10.1.2 Metodologia NASA-TLX

Outra abordagem que se utiliza dos fatores humanos é a avaliação por critérios ergonômicos, como a carga de trabalho mental e a consciência da situação. Charlton e O'Brien (2008) definem a carga de trabalho mental como a quantidade de recursos cognitivos ou de atenção que são gastos em um dado instante. A consciência da situação pode ser definida como um conteúdo momentâneo destes recursos, um estado subjetivo que é adquirido pelo objeto de atenção de alguém. Os autores citam que não há um consenso dentro da comunidade científica acerca dos mecanismos cognitivos que são responsáveis por estes estados subjetivos, bem como acerca das medições que podem quantificar da melhor forma o

nível de carga de trabalho vivenciado ou o grau de consciência da situação que uma pessoa possui.

Porém, Young e Stanton (2001) afirmam que a carga de trabalho mental pode ser definida por meio de dois componentes: o esforço (demandas da tarefa) e o stress (o impacto resultando sobre o indivíduo). Existem vários métodos para determinação da carga de trabalho mental, sendo um deles o NASA *Task Load Index* (NASA-TLX).

NASA-TLX permite aos usuários realizar avaliações subjetivas sobre carga de trabalho com vários sistemas homem-máquina. NASA-TLX é um procedimento classificação multi-dimensional que deriva uma pontuação global da carga de trabalho com base em seis sub-escalas. Estas sub-escalas incluem: demanda mental, demanda física, demanda temporal, desempenho próprio, esforço e frustração.

Este teste já foi utilizado por vários autores, inclusive para a utilização de sistemas de RA, como em Tang et al. (2002); Tang et al. (2003); Wang e Dunston (2006); Dunston (2009); Pielot et al. (2011); Dixon et al. (2011); Datcu, Lukosch e Lukosch (2013); Kang et al. (2013); Grubert et al. (2015), entre outros.

O formulário do NASA-TLX utilizado nesta pesquisa pode ser visualizado na seção dos Anexos (Anexo 3).

## 10.2 RESULTADOS

Vale aqui destacar, novamente, que fez-se a distinção entre dois grupos de usuários, os alunos da pós graduação e os alunos da graduação, dada a forma diferente de interpretação ou interação com os mapas e dados geográficos pelos mesmos. Ainda, dois cenários para a execução dos testes foram analisados: através da utilização apenas do mapa topográfico, ou do uso do mapa topográfico e sistema de RA desenvolvido.

De forma a melhor organizar, apresentar e analisar os resultados obtidos durante os testes executados, os mesmos foram agrupados em 4 tópicos apresentados a seguir. Estes tópicos são os resultados referentes à: IMMS-ARCS, NASA-TLX, acurácia nas respostas as 7 perguntas geográficas, e análise geral.

### 10.2.1 IMMS-ARCS

O IMMS-ARCS contém 36 perguntas, com escala de 5 pontos de preferência cada. Cada pergunta pertence a um parâmetro avaliado dentre Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação. Estas perguntas foram apresentadas para os usuários de maneira não sequencial em função do parâmetro avaliado. Ou seja, as perguntas tanto de Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação, apresentavam-se misturadas entre si, como é possível verificar no Anexo 1 e Anexo 2.

Entretanto, como forma de apresentar os resultados obtidos para cada parâmetro de avaliação, estas perguntas foram organizadas e apresentadas sequencialmente nas Tabela 10.2, Tabela 10.3, Tabela 10.4 e Tabela 10.5. Ainda, estas tabelas apresentam a média e desvio padrão das respostas de todos os usuários para cada uma das questões, sendo os usuários divididos entre os de Pós Graduação e Graduação, assim como os que utilizaram o sistema de RA ou apenas o mapa topográfico oficial do IBGE da Colônia Pereira.

Inicialmente, a Tabela 10.2 traz os resultados referentes ao parâmetro Confiança do IMMS-ARCS. Nesta tabela é possível visualizar as perguntas referentes a este parâmetro - assim como a ordem na qual ela foi apresentada aos usuários no questionário - e os resultados obtidos em função de cada grupo de usuários ou cenário utilizado. Ainda, em algumas perguntas é possível verificar a notação “(inv.)”, que representa quando a pergunta está com seu sentido invertido.

A Tabela 10.3 apresenta os resultados referentes ao parâmetro Atenção do IMMS-ARCS; a Tabela 10.4 apresenta os resultados referentes ao parâmetro Satisfação; e a Tabela 10.5 é referente ao parâmetro Relevância.

Tabela 10.2 – Resultados referentes ao parâmetro Confiança do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico.

| **Perguntas** | **Pós Graduação** | | | | **Graduação** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **RA** | | **Mapa** | | **RA** | | **Mapa** | |
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 1. Quando olhei pela primeira vez a tarefa, eu tinha a impressão de que seria fácil para mim. | 4,00 | 0,82 | 4,25 | 0,43 | 3,95 | 0,86 | 3,50 | 0,87 |
| 3. Este material era mais difícil de entender do que eu gostaria que ele fosse. (inv.) | 1,67 | 0,94 | 2,50 | 1,66 | 1,55 | 0,59 | 2,55 | 0,92 |
| 4. Após a informação introdutória, senti-me confiante de que eu deveria aprender com esta tarefa. | 4,33 | 0,94 | 4,00 | 0,71 | 4,15 | 0,57 | 3,95 | 1,02 |
| 7. A informação que eu estava explorando era tanta que era difícil lembrar os pontos importantes. (inv.) | 1,33 | 0,47 | 2,25 | 0,83 | 1,90 | 0,70 | 2,25 | 0,99 |
| 13. Enquanto trabalhava sobre esta tarefa, eu estava confiante de que eu poderia aprender o conteúdo. | 4,33 | 0,47 | 3,50 | 1,12 | 4,45 | 0,67 | 3,85 | 0,57 |
| 19. Foi difícil associar que a informação digital era relacionada à imagem real. (inv.) | 1,00 | 0,00 | 2,75 | 1,48 | 1,35 | 0,65 | 2,00 | 1,00 |
| 25. Depois de trabalhar sobre esta tarefa, eu estava confiante de que eu seria capaz de passar por um teste sobre ele. | 4,33 | 0,47 | 4,00 | 1,22 | 3,90 | 0,70 | 3,90 | 0,83 |
| 34. Eu não pude realmente compreender o material desta tarefa. (inv.) | 1,00 | 0,00 | 1,50 | 0,87 | 1,25 | 0,43 | 1,45 | 0,59 |
| 35. A boa organização do material me ajudou a ter certeza de que eu iria aprender este material. | 4,33 | 0,94 | 3,50 | 1,12 | 4,20 | 0,60 | 3,50 | 0,67 |

Tabela 10.3 – Resultados referentes ao parâmetro Atenção do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico.

| **Perguntas** | **Pós Graduação** | | | | **Graduação** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **RA** | | **Mapa** | | **RA** | | **Mapa** | |
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 2. Havia algo interessante no início da tarefa com Realidade Aumentada que me chamou a atenção. | 5,00 | 0,00 | 4,25 | 0,43 | 4,95 | 0,22 | 3,95 | 0,86 |
| 8. A tecnologia de Realidade Aumentada chama a atenção. | 5,00 | 0,00 | 4,00 | 0,71 | 5,00 | 0,00 | 4,10 | 0,70 |
| 11. A qualidade do material de Realidade Aumentada ajudou a manter minha atenção. | 4,33 | 0,47 | 3,75 | 1,09 | 4,80 | 0,40 | 3,85 | 0,91 |
| 12. O material é tão abstrato que era difícil manter a atenção sobre ele. (inv.) | 1,67 | 0,47 | 1,75 | 0,83 | 1,15 | 0,36 | 1,75 | 0,83 |
| 15. O material digital que eu trabalhei através desta tarefa é desagradável. | 1,00 | 0,00 | 2,00 | 1,00 | 1,05 | 0,22 | 1,75 | 0,89 |
| 17. A forma como a informação é organizada usando esta tecnologia ajudou a manter minha atenção. | 4,00 | 0,00 | 3,50 | 0,87 | 4,60 | 0,58 | 3,70 | 0,71 |
| 20. As informações descobertas através desta experiência estimularam minha curiosidade. | 5,00 | 0,00 | 4,00 | 1,22 | 4,40 | 0,58 | 4,00 | 0,55 |
| 22. A quantidade de repetições das atividades fez com que me sentisse entediado. (inv.) | 1,00 | 0,00 | 2,00 | 1,22 | 1,25 | 0,62 | 2,20 | 1,12 |
| 24. Eu aprendi algumas coisas com a Realidade Aumentada que foram surpreendentes ou inesperados. | 3,00 | 0,00 | 2,25 | 0,83 | 3,75 | 0,77 | 3,25 | 0,77 |
| 28. A variedade de material na Realidade Aumentada ajudou a manter minha atenção na tarefa. | 4,00 | 0,00 | 3,50 | 0,50 | 4,30 | 0,64 | 3,45 | 0,67 |
| 29. O material da Realidade Aumentada é chato. (inv.) | 1,33 | 0,47 | 1,75 | 0,83 | 1,10 | 0,30 | 1,95 | 0,86 |
| 31. Há muito conteúdo irritante. (inv.) | 1,00 | 0,00 | 2,00 | 1,22 | 1,10 | 0,30 | 1,35 | 0,57 |

Tabela 10.4 – Resultados referentes ao parâmetro Satisfação do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico.

| **Perguntas** | **Pós Graduação** | | | | **Graduação** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **RA** | | **Mapa** | | **RA** | | **Mapa** | |
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 5. Completando os exercícios desta tarefa me deu uma sensação gratificante de realização. | 4,67 | 0,47 | 4,50 | 0,50 | 4,50 | 0,59 | 4,40 | 0,73 |
| 14. Eu gostei desta tarefa tanto que eu gostaria de saber mais sobre este assunto. | 5,00 | 0,00 | 4,25 | 0,83 | 4,25 | 0,70 | 3,75 | 0,77 |
| 21. Eu realmente gostei de estudar este tema. | 5,00 | 0,00 | 4,25 | 0,83 | 4,40 | 0,66 | 3,90 | 0,83 |
| 27. O *feedback* após os exercícios, ou outras observações durante esta tarefa, me ajudaram a sentir-me recompensado pelo meu esforço. | 4,33 | 0,47 | 4,25 | 0,83 | 3,70 | 0,56 | 3,70 | 1,05 |
| 32. Senti-me bem para completar com sucesso esta tarefa. | 4,67 | 0,47 | 3,75 | 1,09 | 4,40 | 0,49 | 4,05 | 0,80 |
| 36. Foi um prazer trabalhar em tal tarefa bem concebida. | 4,67 | 0,47 | 4,50 | 0,50 | 4,60 | 0,49 | 3,85 | 0,79 |

Tabela 10.5 – Resultados referentes ao parâmetro Relevância do IMMS-ARCS. Perguntas relacionadas, médias e desvio padrão das respostas dos usuários da Pós Graduação e Graduação, dos grupos que utilizaram RA ou o mapa topográfico.

| **Perguntas** | **Pós Graduação** | | | | **Graduação** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **RA** | | **Mapa** | | **RA** | | **Mapa** | |
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 6. Está claro para mim como o conteúdo deste material está relacionado com as coisas que eu já sei. | 4,67 | 0,47 | 4,50 | 0,50 | 4,40 | 0,73 | 4,35 | 0,65 |
| 9. Havia conteúdo digital que me mostrou como este material poderia ser importante para algumas pessoas. | 4,67 | 0,47 | 4,25 | 0,83 | 4,65 | 0,65 | 4,05 | 0,74 |
| 10. Completar esta tarefa com êxito foi importante para mim. | 4,33 | 0,47 | 4,75 | 0,43 | 4,10 | 0,62 | 3,95 | 0,74 |
| 16. O conteúdo deste material é relevante para os meus interesses. | 4,00 | 0,82 | 4,25 | 0,83 | 4,20 | 1,03 | 4,05 | 0,86 |
| 18. Há explicações ou exemplos de como as pessoas usam o conhecimento desta tarefa. | 4,00 | 0,82 | 3,75 | 0,83 | 3,80 | 0,98 | 3,45 | 0,80 |
| 23. O conteúdo e o material da Realidade Aumentada transmitiu a impressão de que o seu conteúdo vale a pena aprender. | 4,67 | 0,47 | 4,00 | 0,71 | 4,50 | 0,67 | 4,10 | 0,62 |
| 26. Esta tarefa não era relevante para as minhas necessidades, porque eu já conhecia a maior parte dela. (inv.) | 3,00 | 1,41 | 2,75 | 1,30 | 1,90 | 0,99 | 2,40 | 0,86 |
| 30. Eu poderia relacionar o conteúdo desta tarefa com coisas que eu vi, fiz ou pensei na minha vida. | 5,00 | 0,00 | 4,00 | 1,00 | 4,70 | 0,56 | 4,20 | 0,68 |
| 33. O conteúdo desta tarefa será útil para mim. | 3,67 | 0,47 | 3,50 | 0,50 | 4,15 | 0,96 | 4,10 | 0,94 |

De forma a sintetizar os valores apresentados nas Tabela 10.2, Tabela 10.3, Tabela 10.4 e Tabela 10.5, é apresentada a Tabela 10.6, que traz os valores de média e desvio padrão de todas as respostas às perguntas, separadas em função dos parâmetros Confiança, Atenção, Satisfação e Relevância. A Figura 10.1 traz esses valores plotados no gráfico para melhor comparação dos desempenhos. As Tabela 10.6 e Figura 10.1 apresentam os resultados obtidos tanto para o grupo de pós-graduação como o de graduação, usando o sistema de Realidade Aumentada ou apenas o mapa topográfico.

Tabela 10.6 – Resultados do IMMS-ARCS

| **Parâmetro** | **Pós Graduação** | | | | **Graduação** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **RA** | | **Mapa** | | **RA** | | **Mapa** | |
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Confiança | 4,48 | 0,27 | 3,81 | 0,34 | 4,29 | 0,25 | 3,83 | 0,25 |
| Atenção | 4,53 | 0,50 | 3,81 | 0,38 | 4,68 | 0,28 | 3,94 | 0,28 |
| Satisfação | 4,72 | 0,19 | 4,25 | 0,17 | 4,31 | 0,22 | 3,94 | 0,19 |
| Relevância | 4,22 | 0,49 | 4,03 | 0,36 | 4,29 | 0,24 | 3,98 | 0,21 |

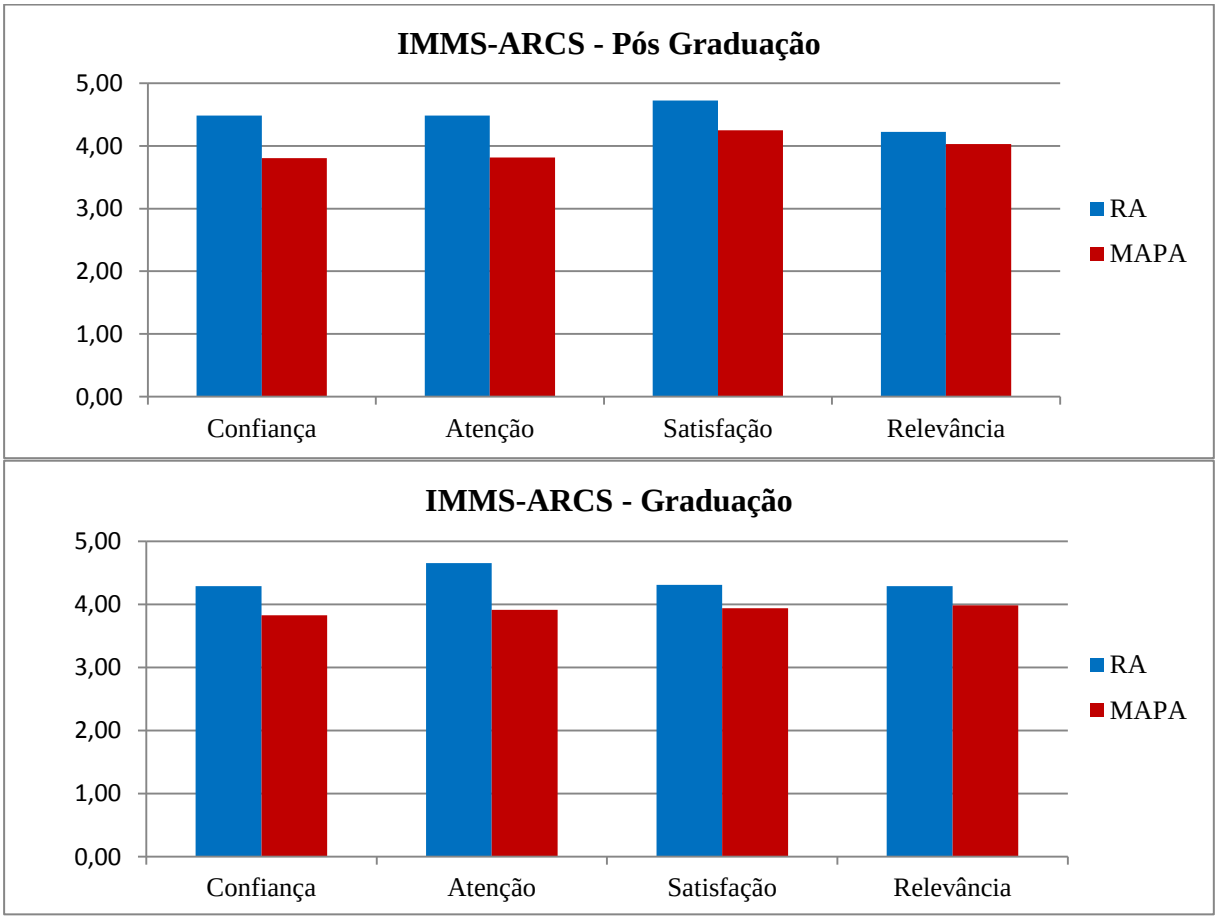



Figura 10.1 – Resultados do IMMS-ARCS.

Como é possível verificar pela Tabela 10.6 e Figura 10.1, em todos os parâmetros medidos pela metodologia IMMS-ARCS (Confiança, Atenção, Satisfação, Relevância), o uso do sistema de RA obteve melhores valores em comparação com o uso do mapa topográfico para execução do teste, tanto para a pós-graduação como para a graduação.

Com isso, é possível afirmar que os usuários se sentiram mais confiantes, tiveram mais atenção, sentiram maior satisfação e acharam maior relevância sobre o assunto abordado utilizando o protótipo de Realidade Aumentada, do que através da utilização apenas do mapa topográfico.

Para verificar se, além deste ganho oferecido pelo sistema de RA nestes parâmetros analisados, houve uma diferença significativa entre os valores para o uso da RA ou apenas do mapa topográfico, fez-se uso da ANOVA (Análise de Variância). A Análise de Variância compara médias de diferentes populações para verificar se essas populações possuem médias iguais ou não. Em outras palavras, a Análise de Variância é utilizada quando se quer decidir se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significativas nas populações observadas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral). Assumindo-se como margem de segurança 5% de chances de erro, ou 95% de chances de acerto, considerou-se nesta pesquisa o valor de confiabilidade ($p = 0,05$). Com isso, valores de p menores que 0,05 demonstrariam uma diferença significativa entre as médias das amostras com 95% de confiabilidade de que as diferenças resultantes seriam significativas em função do teste executado, e não necessariamente um acaso.

Para os usuários da pós-graduação foram constatados ganhos na utilização de RA com diferença significativa para os parâmetros Confiança (diferença de 0,68, $p = 0,001525$), Atenção (diferença de 0,72, $p = 0,007256$) e Satisfação (diferença de 0,47, $p = 0,010983$). Contudo, apenas o parâmetro Relevância (diferença de 0,19, $p = 0,467609$) não houve uma diferença significativa, por mais que a média deste parâmetro ainda tenha sido maior com a utilização do sistema de RA do que com o mapa topográfico impresso. Ou seja, mesmo a média das respostas referentes à relevância tenham sido maiores para os usuários que utilizaram o sistema de RA do que para os usuários que utilizaram o mapa topográfico impresso, a diferença não foi constatada como significativa. Talvez isto se deva à prévia experiência e habilidade destes usuários, uma vez que houve sim um ganho quando utilizado

o sistema de RA, mas para estes usuários mais experientes a utilização de mapas topográficos impressos também seria relevante.

Já para os usuários da graduação, foi constatado que os ganhos quando utilizando o sistema de RA foram significativos em todos os parâmetros. O parâmetro com maior ganho significativo foi a Atenção (diferença de 0,74, p = 0,0000721), seguido por Confiança (diferença de 0,46, p = 0,007844), Satisfação (diferença de 0,37, p = 0,03423) e Relevância (diferença de 0,31, p = 0,039909). Ou seja, pode-se afirmar que o sistema de Realidade Aumentada apresentou maior impacto sobre os usuários da graduação, apresentando ganhos significativos em todos os parâmetros ARCS.

Ainda, como uma avaliação geral dos resultados encontrados com esta metodologia, é possível analisar globalmente as respostas dadas pelos usuários, por todos os usuários sobre todos os parâmetros. Como este teste trata-se de 36 questões com escala de 1 a 5, o valor mínimo possível para cada teste seria de valor 36 (36x1) e o máximo de 180 (36x5).

Para os usuários de graduação utilizando apenas o mapa topográfico impresso, o valor médio dos testes foi de 141,25; para os usuários da pós-graduação utilizando o mapa impresso, foi de 141,75. Para os usuários da graduação que utilizaram o sistema de RA, o valor médio dos testes foi de 159,20; e para os alunos da pós-graduação usando do sistema de RA foi de 161,00.

Ainda, a diferença entre o uso do sistema de RA ou o mapa topográfico impresso foi constatada como significativa através do teste ANOVA, apresentando $p = 3{,}63 \times 10^{-8}$, para a diferença entre as médias das respostas dos usuários da graduação, e também significativa para os usuários da pós-graduação com valor de $p = 2{,}37 \times 10^{-5}$.

Com isso, percebe-se grande variação entre os valores se comparados os grupos que realizaram os testes utilizando o mapa topográfico impresso ou o sistema de Realidade Aumentada para execução das tarefas de leitura de mapas. A metodologia IMMS-ARCS demonstrou ganhos significativos em confiança, atenção, satisfação e relevância por parte dos usuários quando trabalhando com o sistema de RA desenvolvido para as tarefas de leitura de mapas, em especial, para a interação com mapas e dados geográficos topográficos.

### 10.2.2 NASA-TLX

Com relação à metodologia do NASA-TLX, os resultados são apresentados na Tabela 10.7 e Figura 10.2.

Tabela 10.7 – Resultados do questionário NASA – TLX.

| **Parâmetro** | **Pós Graduação** | | | | **Graduação** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **RA** | | **Mapa** | | **RA** | | **Mapa** | |
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Demanda Mental | 8,00 | 1,63 | 12,00 | 2,74 | 10,55 | 4,20 | 10,45 | 2,31 |
| Demanda Física | 3,00 | 1,41 | 3,25 | 2,28 | 3,30 | 2,51 | 3,85 | 2,83 |
| Pressionado | 1,67 | 0,47 | 9,00 | 6,60 | 4,65 | 3,57 | 6,85 | 5,16 |
| Bem Sucedido | 17,33 | 2,49 | 15,00 | 3,39 | 15,90 | 2,81 | 14,60 | 3,37 |
| Dificuldade | 2,33 | 0,47 | 9,75 | 5,72 | 4,90 | 2,79 | 7,25 | 3,31 |
| Insegurança | 2,00 | 0,82 | 5,50 | 5,59 | 2,70 | 2,53 | 5,45 | 4,84 |

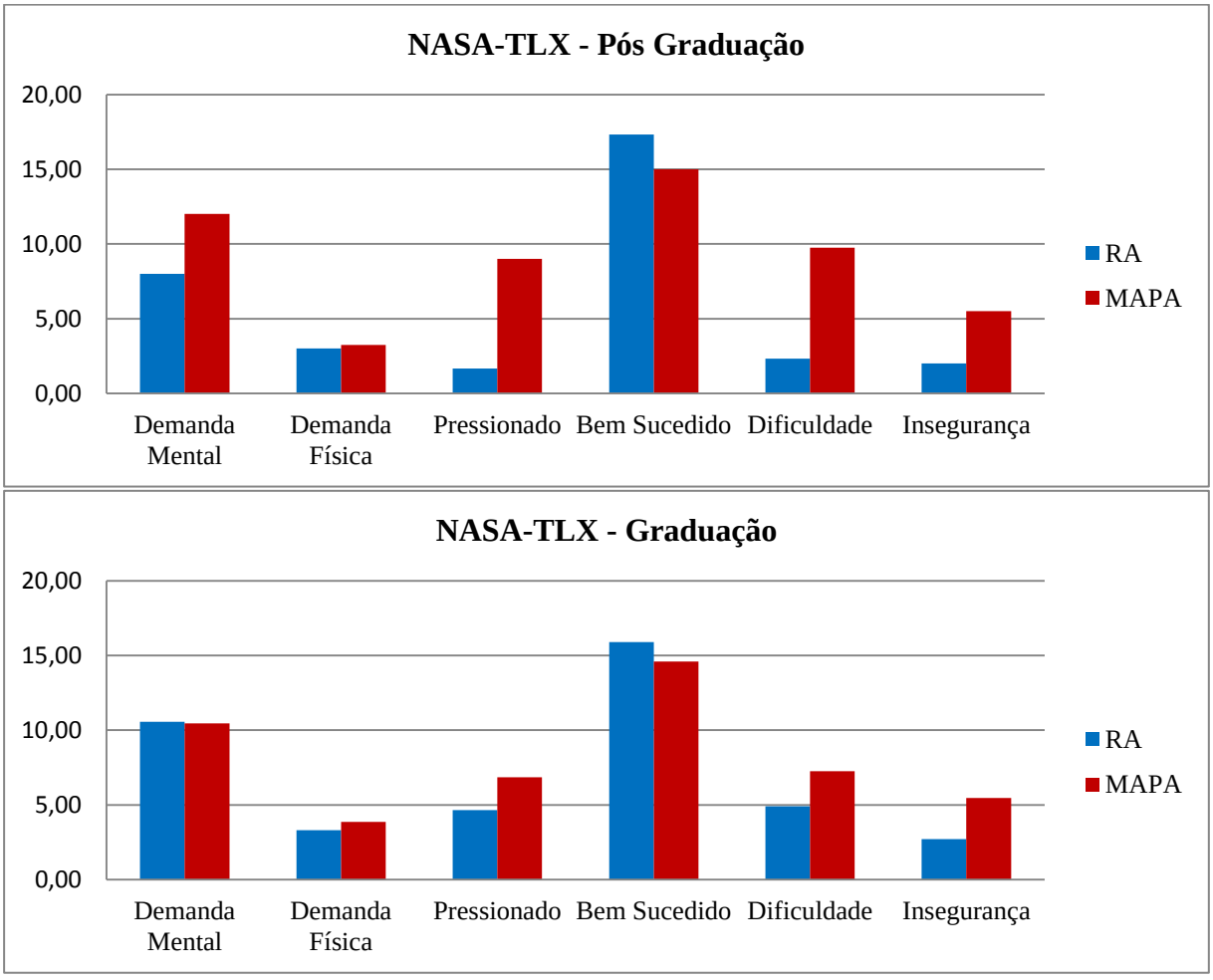



Figura 10.2 – Resultados do questionário NASA – TLX.

Como é possível verificar na Tabela 10.7 e Figura 10.2, segundo o NASA-TLX o uso do sistema de RA prevaleceu com melhores resultados se comparado ao uso do mapa topográfico.

Apenas no parâmetro de demanda mental para alunos da graduação é que o sistema de RA apresentou valores piores do que a utilização do mapa topográfico impresso. Ou seja, os alunos responderam que apresentaram maior demanda mental para executar o teste utilizando-se do sistema de RA do que apenas utilizando-se do mapa topográfico impresso. Entretanto, esta diferença foi pouca, sendo que a demanda mental para alunos de graduação foi de 10,55 enquanto que para o uso do mapa foi de 10,45.

Para todos os outros parâmetros, os usuários acharam que com o sistema de RA, tiveram menor demanda física, se sentiram menos pressionados, foram mais bem sucedidos, tiveram menor dificuldade e se sentiram menos inseguros.

Entretanto, três parâmetros chamam a atenção nesta análise utilizando o NASA-TLX, que são o quanto os usuários se sentiram pressionados, a dificuldade e insegurança em resolver a tarefa. Ao contrário do que se esperava, estes valores chamaram mais atenção para os alunos da pós-graduação do que para os de graduação. Os resultados indicam que a diferença nesses parâmetros foi muito maior para os alunos da pós-graduação. Os alunos da pós-graduação se sentiram muito menos pressionados, encontraram menor dificuldade e se sentiram menos inseguros ao trabalhar com o sistema de RA do que com os mapas. Devido a experiência destes usuários, esperava-se que estas diferenças não fossem tão grandes, uma vez que os mesmos já estariam mais habituados a executar tarefas semelhantes sobre mapas topográficos tradicionais impressos.

Ainda assim, é possível perceber na Figura 10.2 que existiu a mesma tendências de distribuição das respostas, para alunos de graduação ou pós-graduação, para o uso do sistema de Realidade Aumentada ou para o uso apenas mapa topográfico impresso.

Com isso, pode-se dizer que os alunos, tanto da pós-graduação como da graduação, se sentiram mais confiantes, tiveram mais atenção, sentiram maior satisfação e acharam maior relevância sobre o assunto abordado, assim como tiveram menor demanda física, se sentiram menos pressionados, foram mais bem sucedido, tiveram menor dificuldade e se sentiram menos inseguros quando utilizando o protótipo de Realidade Aumentada. Os usuários da pós-graduação acharam que tiveram menor demanda mental quando utilizando a Realidade

Aumentada do que com o mapa topográfico, enquanto os resultados dos usuários da graduação indicam que a demanda mental foi praticamente a mesma.

### 10.2.3 Acurácia

Além dos parâmetros medidos pelas metodologias IMMS-ARCS e NASA-TLX, a acurácia dos usuários em responder as 7 questões propostas para o teste também foi analisada. Os resultados da acurácia são apresentados na Tabela 10.8, Tabela 10.9 e Figura 10.3.

Tabela 10.8 – Acurácia dos usuários da Pós-Graduação

| **Pergunta** | **RA** | **MAPA** | **RELAÇÃO** |
|---|---|---|---|
| 1. Onde estão as áreas mais altas e baixas desta área? Como você as identificou? | 100,00% | 50,00% | 2,00 |
| 2. Você diria que esta área está mais para característica montanhosa ou de depressão? Como você identificou? | 100,00% | 100,00% | 1,00 |
| 3. Identifique o ponto mais alto desta área. Como você identificou? | 100,00% | 75,00% | 1,33 |
| 4. Identifique o ponto mais baixo desta área. Como você identificou? | 100,00% | 50,00% | 2,00 |
| 5. A hidrografia desta área está fluindo, predominantemente, no sentido Leste-Oeste ou Oeste-Leste? Como você identificou? | 100,00% | 75,00% | 1,33 |
| 6. Onde está a porção de urbanização desta área? Qual o tipo de relevo em que esta se encontra? Como você identificou? | 100,00% | 75,00% | 1,33 |
| 7. Então, quais são as características geográficas da região? | 100,00% | 100,00% | 1,00 |

Tabela 10.9 – Acurácia dos usuários da Graduação

| **Pergunta** | **RA** | **MAPA** | **RELAÇÃO** |
|---|---|---|---|
| 1. Onde estão as áreas mais altas e baixas desta área? Como você as identificou? | 100,00% | 75,00% | 1,33 |
| 2. Você diria que esta área está mais para característica montanhosa ou de depressão? Como você identificou? | 100,00% | 75,00% | 1,33 |
| 3. Identifique o ponto mais alto desta área. Como você identificou? | 75,00% | 15,00% | 5,00 |
| 4. Identifique o ponto mais baixo desta área. Como você identificou? | 60,00% | 20,00% | 3,00 |
| 5. A hidrografia desta área está fluindo, predominantemente, no sentido Leste-Oeste ou Oeste-Leste? Como você identificou? | 90,00% | 80,00% | 1,12 |
| 6. Onde está a porção de urbanização desta área? Qual o tipo de relevo em que esta se encontra? Como você identificou? | 100,00% | 90,00% | 1,11 |
| 7. Então, quais são as características geográficas da região? | 100,00% | 100,00% | 1,00 |

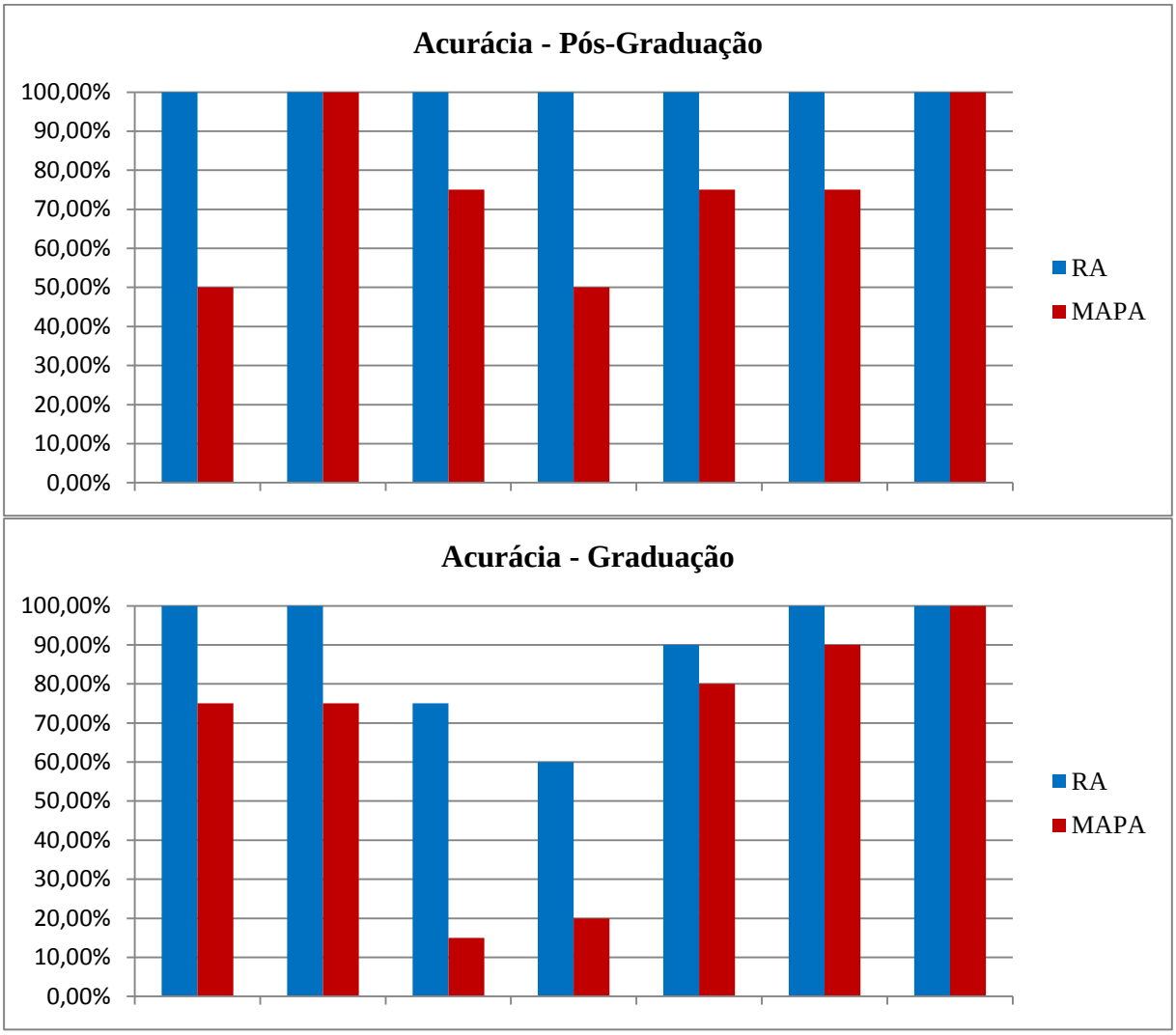



Figura 10.3 – Acurácia dos usuários em responder as 7 questões propostas para o teste.

Novamente, é possível verificar que os usuários que trabalharam com o sistema de Realidade Aumentada para as tarefas de leitura de mapas obtiveram resultados superiores em relação aos usuários que trabalharam apenas com o mapa topográfico, tanto para usuários da pós-graduação como da graduação.

Como exemplo, é possível verificar que todos os usuários da Pós-Graduação (100%) que usaram a Realidade Aumentada responderam assertivamente a primeira questão, enquanto apenas 50% dos usuários da Pós-Graduação que utilizaram o mapa impresso acertaram a primeira questão. Isto representa que a Realidade Aumentada teve um uma quantidade de acertos 2 vezes maior que o uso do mapa topográfico. Ou seja, o sistema de RA auxiliou os usuários a acertarem esta questão em 2 vezes a mais do que no uso apenas do mapa topográfico impresso.

Com relação aos usuários da graduação, ainda para a primeira questão, com a RA todos os usuários acertaram a questão, enquanto apenas 75% dos que utilizaram somente o mapa topográfico impresso responderam adequadamente. Com isso, a RA obteve um rendimento de 1,33 vezes sobre o uso do mapa para esta questão. Esta relação entre os acertos dos usuários para cada questão pode ser visto nas Tabela 10.8 e Tabela 10.9.

Entretanto, percebe-se maior diferença nas questões com relação a identificação dos pontos mais baixo e mais alto, principalmente para os usuários da graduação (questões 3 e 4). Para os alunos de graduação, a taxa de acerto quando utilizando-se do sistema de RA para a identificação dos pontos mais baixo e mais altos foi de 5 e 3 vezes maior, respectivamente. Ou seja, para estas questões, por mais que nem todos os usuários conseguiram responder corretamente a questão, o sistema de RA trouxe contribuições significativas para estes usuários, uma vez que chegou a aumentar a quantidade de respostas corretas em até 5 vezes.

Isto se deve, provavelmente, a necessidade de interpretação das informações das curvas de nível presentes na carta topográfica em face da visualização da informação em 3D a partir do sistema de RA. Quando os usuários tiveram que analisar minunciosamente as informações das curvas de nível, muitas vezes não procuraram exaustivamente até ter certeza que passaram por todos os pontos ou curvas para encontrar a maior ou menor cota, muitas vezes parando suas análises quando encontravam um ponto que seria “alto o suficiente” (ou “baixo o suficiente”) para responder a questão, como relatado por alguns usuários. Já com o uso do sistema de RA, esta informação se tornava mais facilmente disponível, onde a comparação entre as cotas da região poderia ser mais facilmente executada, e permitindo ao usuário proceder a uma melhor análise, não se cansando tão rapidamente da procurar pelo menor ou maior ponto, não necessitando recorrer à resposta “alto o suficiente” ou “baixo o suficiente”.

Por mais que nem todos os usuários tenham respondido as questões acertadamente, percebe-se que a taxa de eficiência dos usuários que se utilizaram do sistema de RA foi sempre igual ou maior do que a dos usuários que se utilizaram apenas do mapa topográfico impresso. Com isso, pode-se afirmar que o sistema de RA auxiliou seus usuários a executar a tarefa proposta de leitura de mapas, obtendo uma taxa de acerto sempre de forma igual ou superior a dos usuários que utilizaram-se apenas do mapa topográfico impresso.

### 10.2.4 Análise dos experimentos, usuários e seus comportamentos

Ao final, após responderem os questionários, os usuários eram apresentados à forma como o outro grupo executou os testes, ou seja, se haviam trabalhado apenas com o mapa topográfico impresso, o sistema de RA era apresentado a eles; se trabalharam com o sistema de RA e mapa, era informado que o outro grupo havia trabalhado apenas com o mapa topográfico.

Todos os usuários foram perguntados qual grupo achariam que se sairia melhor ou qual a preferencia deles. 39 usuários (84,78% do total) foram categóricos ao responder que o grupo que utilizou o sistema de RA se sairia melhor; 6 (13,04%) disseram que dependeria da experiência do usuário, mas que muito provavelmente os com a possibilidade de uso do sistema de RA sairiam melhor; e apenas 1 usuário (2,17%) disse que o grupo com o mapa topográfico se sairia melhor, pois as pessoas já teriam maior intimidade com mapas do que sistemas de Realidade Aumentada.

Também, foi observado, tanto durante os testes, como na posterior análise das gravações, que a maioria dos usuários, quando trabalhando com o sistema de RA, se mostraram mais empolgados na execução dos testes. Normalmente, quando os usuários executaram a tarefa utilizando apenas no mapa topográfico impresso, foi verificado que a atitude dos mesmos era mais séria, como resolvendo a tarefa de maneira mais objetiva, tentando focar diretamente na solução da questão utilizando o mapa impresso. Entretanto, quanto os usuários utilizavam-se do sistema de RA, foi possível verificar que, inicialmente, quando viam o sistema de RA, já se mostravam mais empolgados, “brincando” com o sistema, tentando entender como o mesmo funcionava, explorando mais a área e os recursos. Na solução das tarefas, foi verificado também que os usuários faziam suas análises explorando mais a área e os dados geográficos disponíveis, fazendo análises baseadas em comparações mais holísticas, como se entendessem melhor a área.

Apesar de ter sido verificado parte dessas diferenças através dos testes IMMS-ARCS, NASA-TLX, acurácia e preferência, foi possível também verificar através da observação direta que a atitude dos usuários era outra, quando trabalhando com o sistema de RA ou o mapa impresso. Normalmente, era visível a diferença de atitude, muitas vezes os usuários fazendo comentários positivos com relação ao sistema de RA, suas possibilidades e como se deu o teste, às vezes apenas com um sorriso, ou simplesmente na forma de se portar durante a execução da tarefa.

É possível afirmar que, seja com a utilização de métricas específicas, ou apenas com a observação direta dos usuários ao interagirem com o sistema de RA ou com os mapas tradicionais impressos, percebeu-se uma diferença de atitude e análises por parte dos usuários, onde se mostraram muito mais envolvidos na execução da tarefa quando apoiados pelo sistema de Realidade Aumentada desenvolvido.

Com isso, seja através da metodologia IMMS-ARCS, NASA-TLX, através da verificação da acurácia das respostas, preferência, ou simplesmente pela observação direta do comportamento dos usuários, foi possível verificar que a utilização do sistema de Realidade Aumentada apresentou melhores resultados que o uso dos mapas topográficos para execução das tarefas de leitura de mapas propostas.

Foi possível verificar que, tanto da pós-graduação como da graduação, os usuários se sentiram mais confiantes, tiveram mais atenção, sentiram maior satisfação e maior relevância sobre o assunto abordado, assim como tiveram menor demanda física, se sentiram menos pressionados e mais bem sucedido, tiveram menor dificuldade e se sentiram menos inseguros quando utilizando o protótipo de Realidade Aumentada. Os usuários da pós-graduação acharam que tiveram menor demanda mental quando utilizando o protótipo de Realidade Aumentada do que com o mapa topográfico, enquanto os resultados dos usuários da graduação indicam que a demanda mental foi praticamente a mesma.

Por mais que nem todos os usuários tenham respondido as questões acertadamente, percebe-se que a taxa de acurácia dos usuários que fizeram uso do sistema de RA foi sempre igual ou maior do que os que fizeram uso apenas do mapa topográfico. Por exemplo, para algumas questões, como a identificação dos pontos mais altos ou mais baixos, a taxa de acerto dos usuários que utilizaram-se dos sistema de RA chegou a ser de 3 a 5 vezes maior do que dos usuários que utilizaram apenas o mapa topográfico impresso.

E, ainda, que 45 usuários (97,83%) entrevistados responderam que o sistema de Realidade Aumentada beneficiaria os usuários que trabalhariam com o mesmo. Também, através da observação direta dos usuários, foi notada uma diferença de postura e atitude na execução das tarefas de leitura de mapas, uma vez que ao utilizarem o sistema de RA, os usuários mostravam-se mais animados, “brincando” com o sistema de RA, respondendo às questões fazendo análises mais holísticas, demonstrando estarem mais confiantes e com maior domínio e entendimento dos dados e espaço geográfico.

# Capítulo 6 - Conclusão Geral

Esta tese de doutorado teve como objetivo principal analisar a utilização de Realidade Aumentada no campo específico da Cartografia, com enfoque em dados geográficos virtuais sobrepostos aos mapas impressos tradicionais. Em especial, pretendeu-se avaliar como estes sistemas de Realidade Aumentada podem contribuir no entendimento e leitura de dados espaciais, e como suas vantagens – como a maior imersividade e interatividade – podem trazer melhores ganhos de conhecimento em relação à utilização apenas dos tradicionais mapas impressos para entendimento do espaço geográfico.

A hipótese que se levantou foi de que se a Realidade Aumentada tem elementos suficientes para resultar em uma visualização mais eficaz, então, o usuário seria capaz de resolver tarefas de leitura de mapas com maior facilidade, com maior interatividade e motivação. Também, outra questão relacionada foi avaliar se a experiência anterior do usuário com manipulação de dados geográficos alteraria a interação e contribuições que os sistemas de Realidade Aumentada poderiam oferecer aos mesmos, uma vez que usuários mais experientes tenderiam a já estar mais familiarizados com ferramentas tradicionais, como a utilização do próprio mapa impresso.

Inicialmente, um extenso levantamento sobre a história e estado da arte deste tipo de sistemas de RA foi apresentado, apresentando aplicações, funcionalidades e testes explorados por diversos autores. A seguir, descreveu-se o desenvolvimento de protótipos de RA para ambientes fixos (como *Desktop*) e dispositivos móveis (como *tablets/smartphones*), utilizando-se de diferentes abordagens de Realidade Aumentada (com e sem a utilização de elementos externos aos mapas, como marcadores fiduciais), tanto para trabalho com mapas oficiais, topográficos, ou temáticos. Ainda, experimentou-se o desenvolvimento diferentes funcionalidades para os protótipos de RA, como dados em 2D e 3D, sobreposição de camadas digitais, funções como transparência, animação, *timelapse*, imagens obliquas, etc.

Por fim, atentou-se para análises dos protótipos com execução de testes com usuários, assim como a avaliação da influência de conhecimento prévio dos usuários sobre a interação com sistemas de RA, e também análises relacionadas à questões como motivação, atenção, esforços, eficiência, acuraria e preferência por parte dos usuários ao trabalharem com sistemas de Realidade Aumentada em relação à utilização de mapas impressos tradicionais.

Primeiramente, verificou-se que, seja utilizando-se das abordagens com ou sem marcadores fiduciais, em versão desktop ou para dispositivos móveis, com os sistemas de RA é possível interagir com um mapa físico e informações geográficas virtuais, em tempo real.

Porém, destaca-se que o desenvolvimento para dispositivos móveis e sem a utilização de marcadores fiduciais externos apresenta-se altamente atrativo, uma vez que este sistema de RA pode ser considerado como uma “lente mágica” ou uma “janela” para o mundo virtual, onde o usuário pode ter acesso a outras informações geoespaciais digitais sobrepostas ao ambiente real através destes dispositivos móveis.

Através da implementação de vários protótipos de RA ao longo deste trabalho, foi possível verificar a diversidade de abordagens e sistemas possíveis. Obviamente, não foi possível a implementação de todas as abordagens de sistemas de RA, mas foi possível explorar alguns, como a implementação de sistemas para ambiente desktop ou para dispositivos móveis, com ou sem marcadores fiduciais, para mapas temáticos ou topográficos, com dados em formato raster ou vetorial, em 2D ou 3D, animações, etc.

Ou seja, com sistemas de RA, pode-se explorar muitos outros formatos, além dos que seriam suportados em mapas impressos. Além disso, a adição de tais recursos, além de tornar o ambiente mais interativo, é possível facilitar a leitura de dados e diminuição do esforço cognitivo por parte de seus usuários na interpretação dos dados. Fenômenos em 3D não precisam ser mais “traduzidos” para 2D para que possam ser impressos em mapas tradicionais, ou mesmo na sobreposição de informações, assim como é possível análises espaço-temporais mais dinâmicas. Desta forma, não haveria a necessidade de impressão de vários mapas, um para cada evento, atualização ou diferentes camadas de informação.

Ainda, é possível a utilização de, provavelmente, todos os tipos de mapas, de mapas específicos para determinada análise (como os estudos criando mapas temáticos, mesmo apenas com o contorno limite de uma bacia hidrográfica, fronteiras de países e estados, ou linhas de costa), ou mesmo mapas tradicionais topográficos, oficiais, ou já existentes e/ou impressos. Tal flexibilidade faz com que sistemas de RA possam chegar ainda mais longe, atendendo os mais diferentes usuários, com diferentes interesses, em diferentes cenários, para diferentes análises.

Neste trabalho foram executados testes com usuários, abordando diversas metodologias para os testes e análises (seja através da metodologia IMMS-ARCS, NASA-TLX, através da verificação da acurácia das respostas, preferência, ou simplesmente pela observação direta do comportamento dos usuários), e comparando os sistemas de RA desenvolvidos e o uso tradicional dos mapas impressos. Através destes testes, verificou-se que os sistemas de RA desenvolvidos para interação com a Cartografia, mapas e dados

geográficos trouxeram significativas melhorias para seus usuários na execução das tarefas, assim como ganhos em quesitos como motivação, confiança, diminuição de demandas físicas e mentais, etc. Foi possível verificar que, para a maioria dos usuários (sejam os mais experientes ou inexperientes) se sentiram mais confiantes, tiveram mais atenção, sentiram maior satisfação e maior relevância sobre o assunto abordado, assim como tiveram menor demanda física, se sentiram menos pressionados e mais bem sucedido, tiveram menor dificuldade e se sentiram menos inseguros quando utilizando o protótipo de Realidade Aumentada. De maneira quantitativa, verificou-se melhorias de até 5 vezes na taxa de acerto das respostas dos usuários quando apoiados pelos sistemas de RA.

Também, com relação à preferencia dos usuários, a grande maioria dos usuários entrevistados preferiu trabalhar com estes sistemas de RA do que com os métodos tradicionais através de mapas impressos. Nos testes onde a preferência dos usuários foi diretamente analisada, mais de 90% dos usuários entrevistados preferiram trabalhar com os sistemas de RA do que somente com mapas impressos.

Estudos também sobre se o conhecimento prévio do usuário poderia influenciar na execução das tarefas indicaram que, por mais que os sistemas de RA tenham auxiliado a grande maioria dos usuários, foi possível constatar que os sistemas possuíram maior aceite e trouxeram maiores contribuições aos usuários não especialistas na execução das tarefas.

Além disso, através da observação direta dos usuários, foi notada uma diferença de postura e atitude na execução das tarefas de leitura de mapas, uma vez que ao utilizarem o sistema de RA, os usuários mostravam-se mais animados, “brincando” com o sistema de RA, respondendo às questões fazendo análises mais holísticas, demonstrando estarem mais confiantes e com maior domínio e entendimento dos dados e espaço geográfico. Também, por ter sido verificada esta tendência dos usuários “brincarem” mais com o sistema de RA, percebeu-se que os usuários utilizando-se da RA passaram mais tempo analisando determinada área ou fenômeno geográfico, demonstrando assim maior interação com os dados geográficos.

Desta forma, pode-se concluir que, além da utilização dos sistemas de RA trazerem auxílios e benefícios aos seus usuários na execução de suas tarefas, os mesmos trazem possibilidades de um ambiente mais interativo, além de motivar mais os usuários a interagirem com o espaço ou dado geográfico, possibilitando, assim, melhor entendimento e

compreensão, assim como melhores análises geográficas, por vezes ainda mais complexas do que fariam utilizando-se apenas dos mapas impressos.

Em todos os testes executados foi possível verificar que os usuários se mostravam mais interessados em executar suas tarefas quando apoiados pelos sistemas de RA, por vezes executando as tarefas sorrindo ou fazendo exclamações e comentários positivos, o que também leva a conclusão de que os sistemas de RA para Cartografia e interação com mapas e dados geográficos desenvolvidos neste trabalho tiveram avaliação positiva.

Desta forma, pode-se concluir que aplicações de Realidade Aumentada, como a descrita neste trabalho, se tornam importantes ferramentas no auxílio às questões como compreensão, planejamento e gestão do espaço geográfico. Porém, como afirmado também por diversos autores, para áreas como a educação, ensino e aprendizagem estes sistemas de RA podem trazer contribuições significativamente positivas. E, mais especificamente para Cartografia e Geografia, estes sistemas de RA podem contribuir de maneira expressiva, uma vez que a integração dos dados do ambiente real e virtual – e em um ambiente mais interativo – pode auxiliar seus usuários no processo de entendimento e compreensão do espaço geográfico.

É possível afirmar, então, que Realidade Aumentada é uma área promissora, e pode estar relacionada com vários outras áreas, como o turismo, entretenimento, saúde, militar, indústria, etc. Porém, talvez as maiores contribuições da RA estariam em áreas voltadas ao ensino e aprendizagem. Além disso, RA relacionadas com os produtos cartográficos, como os impressos mapas e os dados geográficos, pode ser usado para melhorar a compreensão dos usuários algum fenômeno, dados ou área, uma vez RA pode criar um ambiente mais interativo para trabalhar, o ensino e a aprendizagem. RA pode oferecer para os usuários dos produtos cartográficos outras maneiras de trabalhar, aprender, interagir, atualizar e visualizar os dados geográficos. Como afirmado por vários pesquisadores deste campo do conhecimento, pode-se afirmar que a Realidade Aumentada associada aos produtos cartográficos, mapas e dados geográficos foi, e continuará a ser, uma área bastante interessante e promissora, que pode abrir várias possibilidades de trabalhos, pesquisas, desenvolvimentos, contribuições para a ciência e, mais do que isso, melhorias nas atividades dos usuários e os processos de aprendizagem.

# Referências Bibliográficas

ADITHYA, C., KOWSIK, K., NAMRATA, D., NAGELI, V. S., SHRIVASTAVA, S., RAKSHIT, S. Augmented reality approach for paper map visualization. In: Communication and Computational Intelligence (INCOCCI), International Conference on. IEEE, 2010. p. 352-356. 2010.

AMIN, D., GOVILKAR, S. (2015). Comparative study of augmented reality SDKs. *Int. J. Comput. Sci. Appl.(IJCSA), 5*(1).

ARNING, K., ZIEFLE, M., LI, M., KOBBELT, L. Insights into user experiences and acceptance of mobile indoor navigation devices. In: Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. ACM, 2012. p. 41.

ARTH, C., GRASSET, R., GRUBER, L., LANGLOTZ, T., MULLONI, A., WAGNER, D. (2015). The history of mobile augmented reality. . Technical Report. ICG 2015. Graz, November 11, 2015

ARVANITIS, T. N., PETROU, A., KNIGHT, J. F., SAVAS, S., SOTIRIOU, S., GARGALAKOS, M., GIALOURI, E. Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities. Personal and ubiquitous computing, v. 13, n. 3, p. 243-250, 2009.

ASAI, K., KONDO, T., KOBAYASHI, H., MIZUKI, A. A geographic surface browsing tool using map-based augmented reality. In: Visualisation, 2008 International Conference. IEEE, p. 93-98. 2008.

AVERY, B., PIEKARSKI, W., WARREN, J., THOMAS, B. H. Evaluation of user satisfaction and learnability for outdoor augmented reality gaming. In: Proceedings of the 7th Australasian User interface conference-Volume 50. Australian Computer Society, Inc., 2006. p. 17-24.

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. Presence, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.

AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S., MACINTYRE, B. Recent advances in augmented reality. Computer Graphics and Applications, IEEE, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

BACH C., SCAPIN, D. L., Adaptation of Ergonomic Criteria to Human-Virtual Environments Interactions," In *Proceed-ings of Interact'03. IOS Press*, pp. 880-883, 2003.

BÁLINT, Z., KISS, B., MAGYARI, B., SIMON, K. (2012, September). Augmented reality and image recognition based framework for treasure hunt games. In *2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics* (pp. 147-152). IEEE.

BALOG, A.; PRIBEANU, C.; IORDACHE, D.. Augmented reality in schools: Preliminary evaluation results from a summer school.International Journal of Social Sciences, v. 2, n. 3, p. 163-166, 2007.

BARTIE, P., MACKANESS, W., (2006) Development of a speech-based augmented reality system to support exploration of cityscape, *Transactions in GIS*, 10 (1), pp. 63-86.

BENFORD, S., GREENHALGH, C., REYNARD, G., BROWN C., e KOLEVA, B.. Understanding and constructing shared spaces with mixed-reality boundaries. ACM Trans. Computer-Human Interaction, 5(3):185– 223, Sep. 1998.

BERGIG, O., HAGBI, N., EL-SANA, J., KEDEM, K., BILLINGHURST, K., In-Place Augmented Reality. Virtual Reality. v. 15, p. 201–212. 2011

BILLINGHURST, M., KATO, H., POUPYREV, I. (2001, August). Collaboration with tangible augmented reality interfaces. In HCI International (Vol. 1, pp. 5-10).

BOARD, C. Map reading tasks appropriate in experimental studies in cartographic communication. The Canadian Cartographer, vol. 15, 1978.

BOBRICH, J. "An Immersive Environment Based on Paper Maps." Proceedings of ICC 2003. 2003.

BOBRICH, Joachim; OTTO, Steffen. Augmented maps. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 34, n. 4, p. 502-505, 2002.

BOLLIGER, D. U., SUPANAKORN, S., BOGGS, C. (2010). Impact of podcasting on student motivation in the online learning environment. Computers Education, 55(2), 714–722, Elsevier Ltd.

BUCHMANN, V., VIOLICH, S., BILLINGHURST, M., COCKBURN, A. (2004, June). FingARtips: gesture based direct manipulation in Augmented Reality. In *Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia* (pp. 212-221). ACM.

CAUDELL T. P., MIZELL D. W. (1992) Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: Proceedings of Hawaii international conference on system sciences, pp 659–669

CAVALLARO, R.. The FoxTrax hockey puck tracking system. IEEE Computer Graphics and Applications, 17 (2):6–12, Mar./Apr. 1997.

CHARLTON, S. G.; O'BRIEN, T. G. Handbook of Human Factors testing and evaluation. 2° edição. Taylor Francis e-Library, 2008.

CHARSKY, D., RESSLER, W. (2011). "Games are made for fun": Lessons on the effects of concept maps in the classroom use of computer games. *Computers Education, 56*(3), 604-615.

CHENG, Kun-Hung; TSAI, Chin-Chung. Affordances of augmented reality in science learning: suggestions for future research. Journal of Science Education and Technology, v. 22, n. 4, p. 449-462, 2013.

ČOPIČ PUCIHAR, K., COULTON, P., ALEXANDER, J. (2013, December). Evaluating dual-view perceptual issues in handheld augmented reality: device vs. user perspective rendering. In *Proceedings of the 15th ACM on International conference on multimodal interaction* (pp. 381-388). ACM.

Csikszentmihalyi, M. (1991). Flow: The psychology of optimal experience. Harper Perennial.

DAIBER, F., KOSMALLA, F., KRÜGER, A. (2013, April). BouldAR: using augmented reality to support collaborative boulder training. In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 949-954). ACM.

DALGARNO, B., LEE, M. J.W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? British Journal of Educational Technology, 41(1), 10–32, Blackwell Publishing Ltd.

DAMALA, A., CUBAUD, P., BATIONO, A., HOULIER, P., MARCHAL, I. Bridging the gap between the digital and the physical: design and evaluation of a mobile augmented reality guide for the museum visit. In: Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts. ACM, 2008. p. 120-127.

DATCU, D., LUKOSCH, S. G., LUKOSCH, H. K. (2013, October). Comparing presence, workload and situational awareness in a collaborative real world and augmented reality scenario. In *IEEE ISMAR Workshop on Collaboration in Merging Realities (CiMeR), Adelaide, Australia, 1 October 2014*.

DAVIES, C., MEDYCKYJ-SCOTT, D. (1996). GIS users observed. *International Journal of Geographical Information Systems*, *10*(4), 363-384.

DE WINTER, J. C. F. (2014). Controversy in human factors constructs and the explosive use of the NASA-TLX: a measurement perspective. *Cognition, technology work*, *16*(3), 289-297.

DELIKOSTIDIS, I. (2007). Methods and techniques for field-based usability testing of mobile geo-applications. *Master's thesis, Twente University, Netherland*.

DI SERIO, Ángela; IBÁÑEZ, María Blanca; KLOOS, Carlos Delgado. Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. Computers Education, v. 68, p. 586-596, 2013.

DIXON, B. J., DALY, M. J., CHAN, H., VESCAN, A., WITTERICK, I. J., IRISH, J. C. (2011). Augmented image guidance improves skull base navigation and reduces task workload in trainees: a preclinical trial. *The Laryngoscope*, *121*(10), 2060-2064.

DUNLEAVY, M., DEDE, C., MITCHELL, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. Journal of Science Education and Technology, 18(1), 7–22, Springer Netherlands

DÜNSER, A., BILLINGHURST, M. (2011). Evaluating augmented reality systems. In *Handbook of augmented reality* (pp. 289-307). Springer New York.

DUNSTON, P. S. (2009). Evaluation of augmented reality in steel column inspection. *Automation in Construction*, *18*(2), 118-129.

EDSALL, R., ANDRIENKO, G., ANDRIENKO, N., BUTTENFIELD, B. (2008). Interactive maps for exploring spatial data. *ASPRS Manual of GIS*.

EFKLIDES, A., KUHL, J., SORRENTINO, R. M. (2001). Trends and prospects in motivation research. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academia.

ERICSSON, K.A.; SIMON, H.A. Protocol Analysis: Verbal Reports as Data. Revised Edition. Cambridge, MA: MIT Press. 1993.

FIALA, Mark. Comparing artag and artoolkit plus fiducial marker systems. In:Haptic Audio Visual Environments and their Applications, IEEE International Workshop on. IEEE,. p. 6 pp. 2005.

KUCHERIAVY, A., revista Forbes, data 06/10/2016: <http://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2016/10/06/six-ways-to-use-augmented-reality-that-arent-pokemon-go/2/#1bd97c687697>.

GOLDBERG, N. A., INGRAM, K. W. (2011). Improving Student Engagement in a Lower-Division Botany Course. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, *11*(2), 76-90.

GORDON, G., BILLINGHURST, M., BELL, M., WOODFILL, J., KOWALIK, B., ERENDI, A., TILANDER, J. (2002, September). The use of dense stereo range data in augmented reality. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (p. 14). IEEE Computer Society.

GRAMMENOS, D., ZABULIS, X., MICHEL, D., ARGYROS, A. A. (2011). Augmented Reality Interactive Exhibits in Cartographic Heritage: An implemented case-study open to the general public. e-Perimetron, 6(2), 57-67.

GRAVDAL, E. (2012). Augmented Reality and Object Tracking for Mobile Devices.

GREEN, M., SULBARAN, T. (2006). Motivation assessment instrument for virtual reality scheduling simulator. In T. Reeves, S. Yamashita (Eds.), Proceedings of world conference on e-learning in corporate, government, healthcare, and higher education 2006 (pp. 45–59). Chesapeake,.

GRUBERT, J., PAHUD, M., GRASSET, R., SCHMALSTIEG, D., SEICHTER, H. (2015). The utility of magic lens interfaces on handheld devices for touristic map navigation. *Pervasive and Mobile Computing*, *18*, 88-103.

HAGBI, N., BERGIG, O., EL-SANA, J., KEDEM, K., BILLINGHURST, K., In-Place Augmented Reality. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008.

HARROWER, M., SHEESLEY, B. (2005). Designing better map interfaces: A framework for panning and zooming. *Transactions in GIS*, *9*(2), 77-89.

HART, S. G. (2006, October). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 50, No. 9, pp. 904-908). Sage Publications.

HART, S. G., STAVELAND, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, *52*, 139-183.

HARVIAINEN, T., KORKALO, O., WOODWARD, C. (2009, October). Camera-based interactions for augmented reality. In Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (pp. 307-310). ACM.

HAYDAR, M., ROUSSEL, D., MAÏDI, M., OTMANE, S., MALLEM, M. (2011). Virtual and augmented reality for cultural computing and heritage: a case study of virtual exploration of underwater archaeological sites (preprint). Virtual Reality, 15(4), 311-327.

HE, Z., XIA, Z., CHANG, Y., CHEN, W., HU, J., WEI, X. Research on underground pipeline augmented reality system based on ARToolKit. In: Geoinformatics 2006: Geospatial Information Technology. International Society for Optics and Photonics, p. 642112-642112-18. 2006.

HECHT, B., ROHS, M., SCHÖNING, J., KRÜGER, A. (2007, May). Wikeye–using magic lenses to explore georeferenced Wikipedia content. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Pervasive Mobile Interaction Devices (PERMID)*.

HEDLEY, N. R. (2003, August). Empirical evidence for advanced geographic visualization interface use. In International cartographic congress, Durban, South Africa.

HEDLEY, N. R., BILLINGHURST, M., POSTNER, L., MAY, R., KATO, H. (2002). Explorations in the use of augmented reality for geographic visualization. PRESENCE: Teleoperators and virtual environments, 11(2), 119-133.

HENRYSSON, A., OLLILA, M. (2004, October). UMAR: Ubiquitous mobile augmented reality. In Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia (pp. 41-45). ACM.

HÖLLERER, T., FEINER, S. (2004). Mobile augmented reality. *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services. Taylor and Francis Books Ltd., London, UK*, *21*.

HÖLLERER, T., FEINER, S., AND PAVLIK, J.. Situated documentaries: Embedding multimedia presentations in the real world. ISWC'99: Proc. 3rd Int'l Symp. on Wearable Computers, San Francisco, CA, USA, Oct. 18-19 1999. pp. 79–86.

HUANG, D. W., DIEFES-DUX, H., IMBRIE, P. K., DAKU, B., KALLIMANI, J. G. (2004). Learning motivation evaluation for a computer-based instructional tutorial using ARCS model of motivational design. In 34th ASEE/IEEE frontiers in education conference T1E.

HUYNH, D. N. T., RAVEENDRAN, K., XU, Y., SPREEN, K., MACINTYRE, B. Art of defense: a collaborative handheld augmented reality board game. In: Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH symposium on video games. ACM, 2009. p. 135-142.

IBGE - www.ibge.br

IMBERT, N., VIGNAT, F., KAEWRAT, C., BOONBRAHM, P. (2013). Adding Physical Properties to 3D Models in Augmented Reality for Realistic Interactions Experiments. *Procedia Computer Science*, *25*, 364-369.

IORDACHE, Dragoş Daniel; PRIBEANU, Costin. Comparison of Quantitative and Qualitative Data from a Formative Usability Evaluation of an Augmented Reality Learning Scenario. Informatica Economică, v. 13, n. 3, p. 67-74, 2009.

IPARDES - www.ipardes.br

ISHII, H., BEN-JOSEPH, E., UNDERKOFFLER, J., YEUNG, L., CHAK, D., KANJI, Z., PIPER, B. (2002, September). Augmented urban planning workbench: overlaying drawings, physical models and digital simulation. In Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality (p. 203). IEEE Computer Society.

ISHII, H., ULLMER, B. (1997, March). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (pp. 234-241). ACM.

ISO 9241-11. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part 11: Guidance on usability. 1998.

ITCG - www.itcg.pr.gov.br

JEAMU, L., KIM, Y., LEE, Y. (2008). A web-based program to motivate underachievers learning number sense. International Journal of Instructional Media, 35(2), 185–194.

JUANES, J. A., HERNÁNDEZ, D., RUISOTO, P., GARCÍA, E., VILLARRUBIA, G., PRATS, A. (2014, October). Augmented reality techniques, using mobile devices, for learning human anatomy. In *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 7-11). ACM.

KÁN, Peter; KAUFMANN, Hannes. High-quality reflections, refractions, and caustics in augmented reality and their contribution to visual coherence. In:Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2012 IEEE International Symposium on. IEEE, 2012. p. 99-108.

KANG, B., CHOI, E., KWON, S., CHUNG, M. K. (2013). UFO-Zoom: A new coupled map navigation technique using hand trajectories in the air. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *43*(1), 62-69.

KELLER, J. M. (1987a). Development and use of the ARCS model of motivational design. Journal of Instructional Development, 10(3), 2–10.

KELLER, J. M. (2008). An integrative theory of motivation, volition, and performance. Technology Instruction Cognition and Learning, 6(2), 79–104.

KELLER, J. M. (2010). Motivational design for learning and performance. Science + Business Media227–286, Springer.

KELLER, J. M., LITCHFIELD, B. C. (2002). Motivation and performance. *Trends and issues in instructional design and technology*, *2*, 89-92.

KERAWALLA L, LUCKIN R, SELJEFLOT S, WOOLARD A (2006) ‘‘Making it real’’: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. Virtual Real 10(3–4):136–174

KESIM, M., OZARSLAN, Y. (2012). Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *47*, 297-302.

KIM, SeungJun; DEY, Anind K. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation. In:Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2009. p. 133-142.

KIM, Y. G., KIM, W. J. (2014). Implementation of augmented reality system for smartphone advertisements. *International journal of multimedia and ubiquitous engineering*, *9*(2), 385-392.

KINCADE, K. "Cityscape: An Augmented Reality Application for Displaying 3D Maps on a Mobile Device," MS Project report, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Colorado School of Mines, 2014

KOUA, E. L., MACEACHREN, A., KRAAK, M. J. (2006). Evaluating the usability of visualization methods in an exploratory geovisualization environment. *International Journal of Geographical Information Science*, *20*(4), 425-448.

KUMAR R (1999) Research methodology. A step-by-step guide for beginners. SAGE Publications, London.

LAKOFF, G. Woman, fire, and dangerous things: what categories reveal about the mind. Chicago: University of Chicago Press, 1987.

LEHIKOINEN, J., SUOMELA, R. (2002). WalkMap: developing an augmented reality map application for wearable computers. *Virtual Reality*, *6*(1), 33-44.

LIAROKAPIS, F., GREATBATCH, I., MOUNTAIN, D., GUNESH, A., BRUJIC-OKRETIC, V., RAPER, J. (2005, July). Mobile augmented reality techniques for geovisualisation. In Information Visualization, 2005. Proceedings. Ninth International Conference on (pp. 745-751). IEEE.

LIAROKAPIS, Fotis. An exploration from virtual to augmented reality gaming.Simulation Gaming, v. 37, n. 4, p. 507-533, 2006.

LIU, T. Y., CHU, Y. L. (2010). Using ubiquitous games in an English listening and speaking course: Impact on learning outcomes and motivation. *Computers Education*, *55*(2), 630-643.

LLOYD, R. E., BUNCH, R. L. (2008). Explaining map-reading performance efficiency: gender, memory, and geographic information. *Cartography and Geographic Information Science*, *35*(3), 171-202.

LOOSER, J., BILLINGHURST, M., COCKBURN, A. (2004, June). Through the looking glass: the use of lenses as an interface tool for Augmented Reality interfaces. In *Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia* (pp. 204-211). ACM.

LOW, C. G., LEE, Y. L. (2014, November). SunMap+: An intelligent location-based virtual indoor navigation system using augmented reality. In *Frontiers of Communications, Networks and Applications (ICFCNA 2014-Malaysia), International Conference on* (pp. 1-6). IET.

MACEACHREN, A. M. How maps work: representation, visualization, and design. New York: The Guilford Press, 1995.

MAHADZIR, N. N., PHUNG, L. F. (2013). The use of augmented reality pop-up book to increase motivation in english language learning for national primary school. *IOSR-Journal of Research Method in Education*, *1*(1), 26-38.

MARCHAND, E., UCHIYAMA, H., SPINDLER, F. (2016). Pose estimation for augmented reality: a hands-on survey. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 22, no. 12, December 2016.

MARNEANU, I., EBNER, M., ROESSLER, T. (2014). Evaluation of Augmented Reality Frameworks for Android Development. *iJIM*, *8*(4), 37-44.

MARTÍN-GUTIÉRREZ J., LUÍS SAORÍN J., CONTERO M., ALCAÑIZ M., PÉREZ-LÓPEZ D. C., ORTEGA M. (2010) Design and validation of na augmented book for spatial abilities development in engineering students. Comput Graph 34(1):77–91

MCGEE, D. R., COHEN, P. R. (2001, January). Creating tangible interfaces by augmenting physical objects with multimodal language. In Proceedings of the 6th international conference on Intelligent user interfaces (pp. 113-119). ACM.

MCGEE, D. R., COHEN, P. R., WESSON, R. M., HORMAN, S. (2002, April). Comparing paper and tangible, multimodal tools. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 407-414). ACM.

MCGEE, D. R., COHEN, P. R., WU, L. (2000, April). Something from nothing: augmenting a paper-based work practice via multimodal interaction. In Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments (pp. 71-80). ACM.

MCGUINNESS, C. (1994), Expert/novice use of visualization tools. In: A.M. MacEachren D.R.F. Taylor (eds.), Visualization in modern cartography. Modern Cartography 2. Oxford: Elsevier Science Ltd. / Pergamon. Chapter 10, pp. 185-199.

MENDONÇA, ANDRÉ LUIZ ALENCAR DE, AVALIAÇÃO DE INTERFACES CARTOGRÁFICAS PARA DISPOSITIVOS COM TELA SENSÍVEL AO MULTITOQUE. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2013.

MENDONÇA, ANDRÉ LUIZ ALENCAR DE, AVALIAÇÃO DE INTERFACES PARA MAPAS FUNCIONAIS NA WEB. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2009.

MERTEN, D. E. (1997). The meaning of meanness: Popularity, competition, and conflict among junior high school girls. *Sociology of Education*, 175-191.

MILGRAM, P., TAKEMURA, H., UTSUMI, A., KISHINO, F. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. SPIE Proceedings Vol. 2351: Telemanipulator and Telepresence Technologies, Boston, 282-292. 1994.

MOORE, A., REGENBRECHT, H. (2005, December). The tangible augmented street map. In *Proceedings of the 2005 international conference on Augmented tele-existence* (pp. 249-250). ACM.

MORRISON, A., MULLONI, A., LEMMELÄ, S., OULASVIRTA, A., JACUCCI, G., PELTONEN, P., SCHMALSTIEG, D., REGENBRECHT, H. (2011). Collaborative use of mobile augmented reality with paper maps. Computers Graphics, 35(4), 789-799.

MORRISON, A., OULASVIRTA, A., PELTONEN, P., LEMMELA, S., JACUCCI, G., REITMAYR, G., NÄSÄNEN, J., JUUSTILA, A. (2009, April). Like bees around the hive: a comparative study of a mobile augmented reality map. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1889-1898). ACM.

MOSSEL, A., SCHÖNAUER, C., GERSTWEILER, G., KAUFMANN, H. (2013). Artifice-augmented reality framework for distributed collaboration. *International Journal of Virtual Reality*.

MOTA, J. M., RUIZ-RUBE, I., DODERO, J. M., FIGUEIREDO, M. (2016). Visual environment for designing interactive learning scenarios with augmented reality. In *Proceedings of 12 th International Conference on Mobile Learning*.

MULLONI, A., SEICHTER, H., SCHMALSTIEG, D. (2011, August). Handheld augmented reality indoor navigation with activity-based instructions. In *Proceedings of the 13th international conference on human computer interaction with mobile devices and services* (pp. 211-220). ACM.

NARZT, W., POMBERGER, G., FERSCHA, A., KOLB, D., MÜLLER, R., WIEGHARDT, J., HÖRTNER, H., AND LINDINGER, C.. Pervasive information acquisition for mobile ar-navigation systems. In WMCSA'03: Proc. 5th Workshop on Mobile Computing Systems and Application. 2003.

NARZT, W., POMBERGER, G., FERSCHA, A., KOLB, D., MÜLLER, R., WIEGHARDT, J., HÖRTNER, H., AND LINDINGER, C. Augmented reality navigation systems. Universal Access in the Information Society, 4(3):177–187, Mar. 2006.

NBR: 9241-11: requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores: parte 11 – orientações sobre usabilidade. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 1998.

NEJDL, W., TOCHTERMANN, K., BOGEN, M., WIND, J., GIULIANO, A. (2006). ARISE – Augmented Reality in School Environments. In Nejdl, W., Tochtermann, K. (eds.), pp. 709–714.

NEWTON, O. N., DESHAN, C., PANG, N., NAKATSU, R. (2012, December). Mobile augmented reality for Bukit Brown cemetery navigation. In *Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry* (pp. 59-62). ACM.

NGUYEN, D. H., HENDERSON, L., CHACKO, J., SAHIN, C., PAATELMA, A., SAARNISAARI, H., ... DANDEKAR, K. R. (2016, April). BeamViewer: Visualization of dynamic antenna radiation patterns using Augmented Reality. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2016 IEEE Conference on* (pp. 794-795). IEEE.

NIELSEN, J. Usability Engineering. 1993.

NILSSON, Susanna; JOHANSSON, Björn. Acceptance of augmented reality instructions in a real work setting. In: CHI'08 extended abstracts on Human factors in computing systems. ACM, 2008. p. 2025-2032.

NIVALA, A. M., SARJAKOSKI, L. T., SARJAKOSKI, T. (2007). Usability methods' familiarity among map application developers. *International journal of human-computer studies*, *65*(9), 784-795.

NIVALA, A-M.; SARJAKOSKI, L. T. Preventing Interruptions in Mobile Map Reading Process by Personalisation. Proceedings of The 3rd Workshop on'HCI in Mobile Guides, p. 13-16. 2004.

NORMAN, D. A. Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things. Basic Books. 2004.

NORRIE, M., SIGNER, B. (2005). Overlaying paper maps with digital information services for tourists. Information and Communication Technologies in Tourism 2005, 23-33.

NÚÑES M., QUIROS R., NÚÑEZ I., CARDA J. B., CAMAHORT E. (2008) Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. In: Proceedings of the 5th WSEAS/IASME international conference on engineering education, July 22–24, 2008. Heraklion, pp 271–277

NYERGES, T. L. (1991). Analytical Map Use. *Cartography and Geographic Information Systems*, *18*(1), 11-22.

OLSSON, T., KÄRKKÄINEN, T., LAGERSTAM, E., VENTÄ-OLKKONEN, L. User evaluation of mobile augmented reality scenarios. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, v. 4, n. 1, p. 29-47, 2012.

OLSSON, Thomas; SALO, Markus. Narratives of satisfying and unsatisfying experiences of current mobile augmented reality applications. In:Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. ACM, 2012. p. 2779-2788.

OLSSON, Thomas; SALO, Markus. Online user survey on current mobile augmented reality applications. In: Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium on. IEEE, 2011. p. 75-84.

OLWAL, A. (2006, October). Lightsense: enabling spatially aware handheld interaction devices. In *Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 119-122). IEEE Computer Society.

ORTMAN, E., SWEDLUND, K. (2012). Guidelines for user interactions in mobile augmented reality.

PAELKE, Volker; SESTER, Monika. Augmented paper maps: Exploring the design space of a mixed reality system. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 65, n. 3, p. 256-265, 2010.

PAPAGIANNAKIS G, SINGH G, MAGNENAT-THALMANN N (2008) A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. Comput Animat Virtual Worlds 19(1):3–22

PIELOT, M., POPPINGA, B., HEUTEN, W., BOLL, S. (2011, November). 6th senses for everyone!: the value of multimodal feedback in handheld navigation aids. In *Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces* (pp. 65-72). ACM.

PINTO, R. C., PASSOS, E., CANEPARO, S. C. (2014). Movimentos de Massa como Processos Naturais de Evolução das Encostas, Estudo de Caso: Bacia do Rio Jacareí, Municípios de Morretes e Paranaguá–PR. Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, 6(1), 23-45.

PLATONOV, J., HEIBEL, H., MEIER, P., GROLLMANN, B. (2006, October). A mobile markerless AR system for maintenance and repair. In *Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006. IEEE/ACM International Symposium on* (pp. 105-108). IEEE.

RAUHALA, Malinda; GUNNARSSON, Ann-Sofie; HENRYSSON, Anders. A novel interface to sensor networks using handheld augmented reality. In:Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services. ACM, 2006. p. 145-148.

REILLY, D., RODGERS, M., ARGUE, R., NUNES, M., INKPEN, K. Marked-up maps: combining paper maps and electronic information resources. Personal and Ubiquitous Computing, v. 10, n. 4, p. 215-226, 2006.

REITMAYR, G., EADE, E., DRUMMOND, T. (2005, October). Localization and interaction for augmented maps. In Proceedings of the 4th IEEE/ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality (pp. 120-129). IEEE Computer Society.

REKIMOTO, J.. Transvision: A hand-held augmented reality system for collaborative design. In VSMM'96: Proc. Virtual Systems and Multimedia, pp. 85–90, Gifu, Japan, 1996. Int"l Soc. Virtual Systems and Multimedia. [134]J. Rekimoto.

ROBERTSON, P. K. (1994, September). Interactive visualization: its role in enabling specialists' expertise. In *Resource Technology* (Vol. 94, pp. 26-30).

RODGERS, D. L., WITHROW-THORTON, B. J. (2005). The effect of instructional media on learner motivation. *International Journal of Instructional Media*, *32*(4), 333.

ROHS, M., SCHÖNING, J., RAUBAL, M., ESSL, G., KRÜGER, A. (2007, November). Map navigation with mobile devices: virtual versus physical movement with and without visual context. In Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces (pp. 146-153). ACM.

RUBIN, J.; CHISNELL,D.. Handbook of usability testing: how to plan, design, and conduct effective tests. Segunda Edição. Wiley. 2008.

SANTIL, F. L. de P.; SLUTER, C. R.; BRAVO, J. V. M. Mental Categorisation and Classification Process of Information in Maps. The Cartographic Journal, v. 48, n. 2, p. 146-152, 2011.

SAREIKA, M., SCHMALSTIEG, D. (2010, May). Bimanual handheld mixed reality interfaces for urban planning. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces* (pp. 189-196). ACM.

SCHALL, G., SCHÖNING, J., PAELKE, V., GARTNER, G. (2011). A survey on augmented maps and environments: approaches, interactions and applications. *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications*, *9*, 207.

SCHMALSTIEG, D., WAGNER, D. (2007, November). Experiences with handheld augmented reality. In *Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium on* (pp. 3-18). IEEE.

SCHMIDT, M. A. R. Uso de mapas 3D para navegação virtual: uma abordagem cognitiva. Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

SCHNEIDERMAN, B., PLAISANT, C. (1998). Designing the user interface.

SCHÖNING, J., HECHT, B., ROHS, M., STAROSIELSKI, N. (2007). WikEar– Automatically generated location-based audio stories between public city maps. adjunct Proc. of Ubicomp'07, 128-131.

SCHÖNING, J., ROHS, M., KRATZ, S., LÖCHTEFELD, M., KRÜGER, A. (2009, April). Map torchlight: a mobile augmented reality camera projector unit. In CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 3841-3846). ACM.

SCHÖNING, Johannes; KRÜGER, Antonio; MÜLLER, Hans Jörg. Interaction of mobile camera devices with physical maps. In: Adjunct proceeding of the fourth international conference on pervasive computing. p. 121-124. 2006.

SCHUNK, D. H. (1991). Self-efficacy and academic motivation. *Educational psychologist*, *26*(3-4), 207-231.

SEFFAH, A.; DONYAEE, M.; KLINE, R.B.; PADDA, H.K. Usability measurement and metrics: A consolidated model. Software Qual. Journal. n.14. Springer Science. p. 159-178.2006.

SHATTE, A., HOLDSWORTH, J., LEE, I. (2014). Mobile augmented reality based context-aware library management system. *Expert Systems with Applications*, *41*(5), 2174-2185.

SHELLNUT, B., KNOWLTION, A., SAVAGE, T. (1999). Applying the ARCS model to the design and development of computer-based modules for manufacturing engineering courses. *Educational Technology Research and Development*, *47*(2), 100-110.

SHELTON, B., STEVENS, R. (2004) Using coordination classes to interpret conceptual change in astronomical thinking. In: Kafai, Y., Sandoval, W., Enyedy, N., Nixon, A., Herrera, F. (eds) Proceedings of the 6th international conference for the learning sciences.Lawrence Erlbaum Associates, Mahweh, NJ

SIMEPAR - www.simepar.br.

SLOCUM, T. A. (1999). Thematic cartography and visualization. Prentice Hall, Upper Saddle River.

SLOCUM, T. A.; MCMASTER, R. B.; KESSLER, F. C.; HOWARD, H. H. Thematic Cartography and Geovisualization. 3rd ed. USA: Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 2009.

SLOCUM, T.A; BLOK, C.; JIANG, B.; KOUSSOULAKOU,A.; MONTELLO,D.R.; FUHRMANN,S.; HEDLEY,N. R. Representation and its relationship with cartographic visualization: a research agenda . In: Cartography and Geographic Information Science. Vol. 28 (1). 2001. p. 61-75

SODNIK, J., TOMAZIC, S., GRASSET, R., DUENSER, A., BILLINGHURST, M. Spatial sound localization in an augmented reality environment. In: Proceedings of the 18th Australia conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments. ACM, 2006. p. 111-118.

SOMMERVILLE, I. Software Engineering. 4th ed. Wokingham: Addison-Wesley, 649p. 1992.

SPECHT, M.,TERNIER, S.,GRELLER, W. Journal of the Research Center for Educational Technology (RCET) Vol. 7, No. 1, Spring 2011. p. 117-127.

STARNER, T., MANN, S., RHODES, B., LEVINE, J., HEALEY, J., KIRSCH, D., PICARD, R., AND PENTLAND, A.. Augmented reality through wearable computing. Presence, 6(4): 386–398, 1997.

SUCHAN, T. A., BREWER, C. A. (2000). Qualitative methods for research on mapmaking and map use. *The Professional Geographer*, *52*(1), 145-154.

SUMADIO, Desi Dwistratanti; RAMBLI, Dayang Rohaya Awang. Preliminary evaluation on user acceptance of the augmented reality use for education. In:Computer Engineering and Applications (ICCEA), 2010 Second International Conference on. IEEE, 2010. p. 461-465.

SWAN, J. E., GABBARD, J. L., HIX, D., SCHULMAN, R. S., KIM, K. P. A comparative study of user performance in a map-based virtual environment. In: Virtual Reality, 2003. Proceedings. IEEE. IEEE, 2003. p. 259-266.

SWAN, J. Edward; GABBARD, Joseph L. Survey of user-based experimentation in augmented reality. In: Proceedings of 1st International Conference on Virtual Reality. 2005. p. 1-9.

TANG, A., OWEN, C. B., BIOCCA, F., MOU, W. (2002, September). Experimental Evaluation of Augmented Reality in Object Assembly Task. In *ISMAR* (Vol. 2, p. 265).

TANG, A., OWEN, C., BIOCCA, F., MOU, W. (2003, April). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 73-80). ACM.

TERNIER, S., KLEMKE, R., KALZ, M., VAN ULZEN, P., SPECHT, M. . ARLearn: Augmented Reality Meets Augmented Virtuality. J. UCS, v. 18, n. 15, p. 2143-2164, 2012.

WINKENBACH, M., e GULICK., The Wall Street Journal, 12/12/2016 - <http://www.wsj.com/articles/augmented-reality-hologram-like-images-enter-the-workplace-1481551202>.

THEALL, M. (1999). New directions for theory and research on teaching: A review of the past twenty years. *New directions for teaching and learning*, *1999*(80), 29-52.

TONNIS, M., SANDOR, C., LANGE, C., BUBB, H. (2005, October). Experimental evaluation of an augmented reality visualization for directing a car driver's attention. In *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 56-59). IEEE Computer Society.

TOURÉ- TILLERY, M., FISHBACH, A. (2014). How to measure motivation: A guide for the experimental social psychologist. *Social and Personality Psychology Compass*, *8*(7), 328-341.

TSAI, C. H., KUO, Y. H., CHU, K. C., YEN, J. C. (2015). Development and evaluation of game-based learning system using the Microsoft Kinect sensor. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, *2015*, 6.

UCHIYAMA, H., SAITO, H., NIVESSE, V., SERVIÈRES, M., MOREAU, G., IRSTV, E. (2008, December). AR representation system for 3D GIS based on camera pose estimation using distribution of intersections. In *Proc. ICAT* (pp. 218-225). Uchiyama, H., Saito, H., Servières, M., Moreau, G. (2011). Camera tracking by online learning of keypoint arrangements using LLAH in augmented reality applications. Virtual reality, 15(2-3), 109-117.

UCHIYAMA, H., SAITO, H., SERVIÈRES, M., MOREAU, G. (2011). Camera tracking by online learning of keypoint arrangements using LLAH in augmented reality applications. *Virtual reality*, *15*(2-3), 109-117.

ULLMER, B., ISHII, H. (1997, October). The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces. In *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 223-232). ACM.

USGS – www.usgs.gov

VAN ELZAKKER, C. P. J. M.. The Use of Maps in the Exploration of Geographic Data. PhD thesis, Netherlands Geographical Studies 326, ITC, Utrecht/Enschede. 2004.

VAN KREVELEN, D. W. F.; POELMAN, R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. International Journal of Virtual Reality, v. 9, n. 2, p. 1, 2010.

VAN SOMEREN, M. W., BARNARD, Y.F., SANDBERG, J. A. C. (1994) The think aloud method: a practical guide to modelling cognitive processes. Academic Press, London.

VANONI, D., SERACINI, M., KUESTER, F. (2012, December). ARtifact: tablet-based augmented reality for interactive analysis of cultural artifacts. In *Multimedia (ISM), 2012 IEEE International Symposium on* (pp. 44-49). IEEE.

VAZQUEZ-ALVAREZ, Yolanda; OAKLEY, Ian; BREWSTER, Stephen A. Auditory display design for exploration in mobile audio-augmented reality.Personal and Ubiquitous computing, v. 16, n. 8, p. 987-999, 2012.

VERBREE, E., MAREN, G. V., GERMS, R., JANSEN, F., KRAAK, M. J. (1999). Interaction in virtual world views-linking 3D GIS with VR. International Journal of Geographical Information Science, 13(4), 385-396.

VLAHAKIS, V., KARIGIANNIS, J., TSOTROS, M., GOUNARIS, M., ALMEIDA, L., STRICKER, D., GLEUE, T., CHRISTOU, I. T., CARLUCCI, R., e IOANNIDIS, N.. Archeoguide: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites. In VAST'01: Proc. Conf. on Virtual reality, archaeology, and cultural heritage, pp. 131–140, Glyfada, Greece, 2001. ACM Press. 2001

VOGT, S., KHAMENE, A., AND SAUER, F., Reality augmentation for medical procedures: System architecture, single camera marker tracking, and system evaluation. Int'l J. of Computer Vision, 70(2):179–190, 2006.

WANG, X., DUNSTON, P. S. (2006). Compatibility issues in Augmented Reality systems for AEC: An experimental prototype study. *Automation in construction*, *15*(3), 314-326.

WANG, X., KIM, M. J., LOVE, P. E., KANG, S. C. Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. Automation in Construction, v. 32, p. 1-13, 2013.

WARE, C. Information Visualization: Perception for Design. 2nd ed., Morgan Kaufmann, San Francisco, CA. 2004.

WEI, X., WENG, D., LIU, Y., WANG, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers Education*, *81*, 221-234.

WIGDOR, D.; WIXON, D. Brave NUI World: Designing natural user interfaces for touch and gesture. Morgan Kauffman, 2011.

WOOD, S., MCCRINDLE, R. J. (2012). Augmented reality discovery and information system for people with memory loss.

WU, H. K., LEE, S. W. Y., CHANG, H. Y., LIANG, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers Education*, *62*, 41-49.

XU, Y., GANDY, M., DEEN, S., SCHRANK, B., SPREEN, K., GORBSKY, M., WHITE, T., BARBA, E., RADU, I., BOLTER,J., MacIntyre, B. BragFish: exploring physical and social interaction in co-located handheld augmented reality games. In: Proceedings of the 2008 international conference on advances in computer entertainment technology. ACM, 2008. p. 276-283.

YOUNG, M. S.; STANTON, N. A. Mental workload: theory, measurement, and application. In W. Karwowski (Ed.) International encyclopedia of ergonomics and human factors: Volume 1, p. 507-509, London: Taylor Francis. 2001.

YUEN, S., YAOYUNEYONG, G., JOHNSON, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, *4*(1), 119-140.

ZARZUELA, M. M., PERNAS, F. J. D., MARTÍNEZ, L. B., ORTEGA, D. G., RODRÍGUEZ, M. A. (2013). Mobile serious game using augmented reality for supporting children's learning about animals. *Procedia Computer Science*, *25*, 375-381.

ZOELLNER, M., KEIL, J., WUEST, H., PLETINCKX, D. (2009). An augmented reality presentation system for remote cultural heritage sites. In Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (pp. 112-116).

# Anexos

# ANEXO 1 – TESTE IMMS-ARCS UTILIZADO PARA USUÁRIOS DO MAPA TOPOGRÁFICO

Curso: _____

Idade: _____

Questionário sobre o uso de mapas topográficos.

Favor assinalar a resposta que mais se aproxima da sua opinião, considerando que:

1 - Discordo Plenamente; 2 - Discordo; 3 - Neutro; 4 - Concordo; 5 - Concordo Plenamente.

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Quando olhei pela primeira vez a tarefa, eu tinha a impressão de que seria fácil para mim. | 1 2 3 4 5 |
| 2 | Havia algo interessante no início da tarefa com o mapa que me chamou a atenção. | 1 2 3 4 5 |
| 3 | Este material era mais difícil de entender do que eu gostaria que ele fosse. | 1 2 3 4 5 |
| 4 | Após a informação introdutória, senti-me confiante de que eu deveria aprender com esta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 5 | Completando os exercícios desta tarefa me deu uma sensação gratificante de realização. | 1 2 3 4 5 |
| 6 | Está claro para mim como o conteúdo deste material está relacionado com as coisas que eu já sei. | 1 2 3 4 5 |
| 7 | A informação que eu estava explorando era tanta que era difícil lembrar os pontos importantes. | 1 2 3 4 5 |
| 8 | O mapa topográfico chama a atenção. | 1 2 3 4 5 |
| 9 | Havia conteúdo impresso que me mostrou como este material poderia ser importante para algumas pessoas. | 1 2 3 4 5 |
| 10 | Completar esta tarefa com êxito foi importante para mim. | 1 2 3 4 5 |
| 11 | A qualidade do material do mapa ajudou a manter minha atenção. | 1 2 3 4 5 |
| 12 | O material é tão abstrato que era difícil manter a atenção sobre ele. | 1 2 3 4 5 |
| 13 | Enquanto trabalhava sobre esta tarefa, eu estava confiante de que eu poderia aprender o conteúdo. | 1 2 3 4 5 |
| 14 | Eu gostei desta tarefa tanto que eu gostaria de saber mais sobre este assunto. | 1 2 3 4 5 |
| 15 | O material que eu trabalhei através desta tarefa é desagradável. | 1 2 3 4 5 |
| 16 | O conteúdo deste material é relevante para os meus interesses. | 1 2 3 4 5 |
| 17 | A forma como a informação é organizada no mapa ajudou a manter minha atenção. | 1 2 3 4 5 |

| | | |
|---|---|---|
| 18 | Há explicações ou exemplos de como as pessoas usam o conhecimento desta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 19 | Foi difícil associar as informações do mapa ao tema da tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 20 | As informações descobertas através desta experiência estimularam minha curiosidade. | 1 2 3 4 5 |
| 21 | Eu realmente gostei de estudar este tema. | 1 2 3 4 5 |
| 22 | A quantidade de repetições das atividades fez com que me sentisse entediado. | 1 2 3 4 5 |
| 23 | O conteúdo e o material nesta tarefa transmitiu a impressão de que o seu conteúdo vale a pena aprender. | 1 2 3 4 5 |
| 24 | Eu aprendi algumas coisas com o mapa que foram surpreendentes ou inesperados. | 1 2 3 4 5 |
| 25 | Depois de trabalhar sobre esta tarefa, eu estava confiante de que eu seria capaz de passar por um teste sobre ele. | 1 2 3 4 5 |
| 26 | Esta tarefa não era relevante para as minhas necessidades, porque eu já conhecia a maior parte dela. | 1 2 3 4 5 |
| 27 | O *feedback* após os exercícios, ou outras observações durante esta tarefa, me ajudaram a sentir-me recompensado pelo meu esforço. | 1 2 3 4 5 |
| 28 | A variedade de material ajudou a manter minha atenção na tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 29 | O material é chato. | 1 2 3 4 5 |
| 30 | Eu poderia relacionar o conteúdo desta tarefa com coisas que eu vi, fiz ou pensei na minha vida. | 1 2 3 4 5 |
| 31 | Há muito conteúdo irritante. | 1 2 3 4 5 |
| 32 | Senti-me bem para completar com sucesso esta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 33 | O conteúdo desta tarefa será útil para mim. | 1 2 3 4 5 |
| 34 | Eu não pude realmente compreender o material desta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 35 | A boa organização do material me ajudou a ter certeza de que eu iria aprender este material. | 1 2 3 4 5 |
| 36 | Foi um prazer trabalhar em tal tarefa bem concebida. | 1 2 3 4 5 |

# ANEXO 2 – TESTE IMMS-ARCS UTILIZADO PARA USUÁRIOS DO SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA E MAPA TOPOGRÁFICO

Curso:

_____

Idade: _____

Questionário sobre o uso de Realidade Aumentada e mapas topográficos.

Favor assinalar a resposta que mais se aproxima da sua opinião, considerando que:

1 - Discordo Plenamente; 2 - Discordo; 3 - Neutro; 4 - Concordo; 5 - Concordo Plenamente.

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Quando olhei pela primeira vez a tarefa, eu tinha a impressão de que seria fácil para mim. | 1 2 3 4 5 |
| 2 | Havia algo interessante no início da tarefa com Realidade Aumentada que me chamou a atenção. | 1 2 3 4 5 |
| 3 | Este material era mais difícil de entender do que eu gostaria que ele fosse. | 1 2 3 4 5 |
| 4 | Após a informação introdutória, senti-me confiante de que eu deveria aprender com esta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 5 | Completando os exercícios desta tarefa me deu uma sensação gratificante de realização. | 1 2 3 4 5 |
| 6 | Está claro para mim como o conteúdo deste material está relacionado com as coisas que eu já sei. | 1 2 3 4 5 |
| 7 | A informação que eu estava explorando era tanta que era difícil lembrar os pontos importantes. | 1 2 3 4 5 |
| 8 | A tecnologia de Realidade Aumentada chama a atenção. | 1 2 3 4 5 |
| 9 | Havia conteúdo digital que me mostrou como este material poderia ser importante para algumas pessoas. | 1 2 3 4 5 |
| 10 | Completar esta tarefa com êxito foi importante para mim. | 1 2 3 4 5 |
| 11 | A qualidade do material de Realidade Aumentada ajudou a manter minha atenção. | 1 2 3 4 5 |
| 12 | O material é tão abstrato que era difícil manter a atenção sobre ele. | 1 2 3 4 5 |
| 13 | Enquanto trabalhava sobre esta tarefa, eu estava confiante de que eu poderia aprender o conteúdo. | 1 2 3 4 5 |
| 14 | Eu gostei desta tarefa tanto que eu gostaria de saber mais sobre este assunto. | 1 2 3 4 5 |
| 15 | O material digital que eu trabalhei através desta tarefa é desagradável. | 1 2 3 4 5 |
| 16 | O conteúdo deste material é relevante para os meus interesses. | 1 2 3 4 5 |
| 17 | A forma como a informação é organizada usando esta tecnologia ajudou a manter minha atenção. | 1 2 3 4 5 |

| | | |
|---|---|---|
| 18 | Há explicações ou exemplos de como as pessoas usam o conhecimento desta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 19 | Foi difícil associar que a informação digital era relacionada à imagem real. | 1 2 3 4 5 |
| 20 | As informações descobertas através desta experiência estimularam minha curiosidade. | 1 2 3 4 5 |
| 21 | Eu realmente gostei de estudar este tema. | 1 2 3 4 5 |
| 22 | A quantidade de repetições das atividades fez com que me sentisse entediado. | 1 2 3 4 5 |
| 23 | O conteúdo e o material da Realidade Aumentada nesta tarefa transmitiu a impressão de que o seu conteúdo vale a pena aprender. | 1 2 3 4 5 |
| 24 | Eu aprendi algumas coisas com a Realidade Aumentada que foram surpreendentes ou inesperados. | 1 2 3 4 5 |
| 25 | Depois de trabalhar sobre esta tarefa, eu estava confiante de que eu seria capaz de passar por um teste sobre ele. | 1 2 3 4 5 |
| 26 | Esta tarefa não era relevante para as minhas necessidades, porque eu já conhecia a maior parte dela. | 1 2 3 4 5 |
| 27 | O *feedback* após os exercícios, ou outras observações durante esta tarefa, me ajudaram a sentir-me recompensado pelo meu esforço. | 1 2 3 4 5 |
| 28 | A variedade de material na Realidade Aumentada ajudou a manter minha atenção na tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 29 | O material da Realidade Aumentada é chato. | 1 2 3 4 5 |
| 30 | Eu poderia relacionar o conteúdo desta tarefa com coisas que eu vi, fiz ou pensei na minha vida. | 1 2 3 4 5 |
| 31 | Há muito conteúdo irritante. | 1 2 3 4 5 |
| 32 | Senti-me bem para completar com sucesso esta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 33 | O conteúdo desta tarefa será útil para mim. | 1 2 3 4 5 |
| 34 | Eu não pude realmente compreender o material desta tarefa. | 1 2 3 4 5 |
| 35 | A boa organização do material me ajudou a ter certeza de que eu iria aprender este material. | 1 2 3 4 5 |
| 36 | Foi um prazer trabalhar em tal tarefa bem concebida. | 1 2 3 4 5 |

**ANEXO 3 – NASA TLX**

Assinale com um X a escala que mais se aproxima da sua resposta.

Quanto foi a demanda mental para executar a tarefa?

Muito Baixa Muito Alta

Quanto foi a demanda física para executar a tarefa?

Muito Baixa Muito Alta

Quanto me senti pressionado para executar a tarefa em tempo?

Muito Baixa Muito Alta

Quanto fui bem sucedido em executar a tarefa?

Muito Baixa Muito Alta

Quão difícil foi executar a tarefa?

Muito Baixa Muito Alta

Quanto inseguro, desencorajado, irritado, estressado ou incomodado fiquei para executar a tarefa?

Muito Baixa Muito Alta