

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

Imersão na Visualização Científica: Utilizando um Ambiente
Virtual Imersivo para Interação com Dados Climáticos

Raul Felipe de Moraes Fernandes

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Informática da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisi-
tos necessários para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Computação Distribuída

Tatiana Aires Tavares
(Orientador)

João Pessoa, Paraíba, Brasil

©Raul Felipe de Moraes Fernandes, Agosto de 2017

Catálogo na publicação
Setor de Catalogação e Classificação

F363i Fernandes, Raul Felipe de Moraes.
 Imersão na visualização científica: utilizando um ambiente virtual imersivo
 para interação com dados climáticos / Raul Felipe de Moraes Fernandes. – João
 Pessoa, 2017.
 111 f. : il.

 Orientador(a): Prof. Dr. Tatiana Aires Tavares.
 Dissertação (Mestrado) – UFPB/CI/PPGI

 1. Informática. 2. Computação distribuída. 3. Realidade virtual.
 4. Visualização científica. 5. Dados climáticos. 6. Interface imersiva. I. Título.

UFPB/BC

CDU - 004(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado de Raul Felipe de Moraes Fernandes, candidato ao título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de Computação, realizada em 29 de agosto de 2017.

1 Aos vinte e nove dias do mês de agosto, do ano de dois mil e dezessete, às oito horas, no
2 Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, em Mangabeira, reuniram-se os
3 membros da Banca Examinadora constituída para julgar o Trabalho Final do Sr. Raul Felipe
4 de Moraes Fernandes, vinculado a esta Universidade sob a matrícula nº 2015105002,
5 candidato ao grau de Mestre em Informática, na área de "Sistemas de Computação", na linha
6 de pesquisa "Computação distribuída", do Programa de Pós-Graduação em Informática, da
7 Universidade Federal da Paraíba. A comissão examinadora foi composta pelos professores:
8 Tatiana Aires Tavares (PPGI-UFPB), Orientadora e Presidente da Banca,
9 Alisson Vasconcelos de Brito (PPGI-UFPB), Examinador interno, Carlos Antônio Costa dos
10 Santos (UFCG), Examinador externo à instituição. Dando início aos trabalhos, o Presidente
11 da Banca, cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos a finalidade da reunião e
12 passou a palavra ao candidato para que o mesmo fizesse a exposição oral do trabalho de
13 dissertação intitulado "Imersão na Visualização Científica: utilizando um ambiente virtual
14 imersivo para interação com dados climáticos". Concluída a exposição, o candidato foi
15 arguido pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer: "**aprovado**". Do ocorrido,
16 eu, Claurton de Albuquerque Siebra, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
17 Informática, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da banca
18 examinadora. João Pessoa, 29 de agosto de 2017.

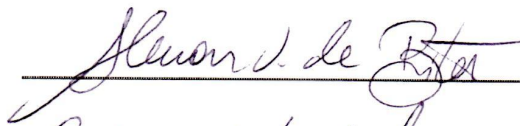

Prof. Dr. Claurton de Albuquerque Siebra

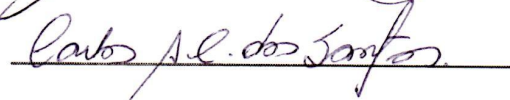
Prof. Dr. Tatiana Aires Tavares
Orientadora (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito
Examinador interno (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos
Examinador externo à instituição (UFCG)







“Não importa o que a vida fez de você, mas o que você faz com o que a vida fez de você.”

- Jean-Paul Sartre

Agradecimentos

Expresso por meio deste os meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse concebido.

Aos meus familiares pela confiança prestada, em especial aos meus pais José e Ana e ao meu irmão Fernandinho, que sempre estiveram ao meu lado apoiando as minhas decisões e trilhando junto a mim o caminho escolhido.

Dedico todo o meu esforço e aplicação à minha avó Tereza Chaves de Moraes, que nos deixou em eternas saudades durante a realização deste trabalho e sempre estará presente de forma positiva e carinhosa em minha memória.

Aos meus amigos, que representaram papel importante em diversas etapas da minha formação acadêmica e de caráter. Alguns mais presentes, outros mais distantes, mas todos prestando contribuição fundamental para que eu me tornasse quem sou.

Aos meus professores, que transmitiram conhecimentos e conselhos dos quais pude me beneficiar na realização desta pesquisa e seguirei e me beneficiando por quaisquer caminhos que decidir seguir.

À minha orientadora Tatiana Aires Tavares pela relação de companheirismo, mantida mesmo à distância, pelas oportunidades em apresentações, projetos, eventos e pelo suporte prestado desde a Graduação que me serviram de base para concepção desta dissertação.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite, dedicando parte do seu tempo e conhecimento para avaliar o caminho percorrido e os resultados alcançados por este trabalho.

Resumo

Os métodos de representação de dados cumprem função importante em qualquer área de estudo, uma vez que compreender as informações em um contexto de pesquisa é essencial para qualquer avanço científico. Neste sentido, a área de Visualização Científica ganha destaque ao propor meios eficientes de aprimorar a percepção do observador sobre um conjunto de dados. No campo da meteorologia, por exemplo, os conjuntos de dados são informações visuais complexas sobre diversos eventos climáticos distintos analisados em inúmeras pesquisas. A variedade de fenômenos climáticos complexos, que necessitam de representações visuais intuitivas para transmitir as impressões corretas, acabam trazendo alguns desafios para a Visualização Científica nesta área. Desta forma, é preciso investigar alternativas que possam aprimorar as formas de visualização dentro desse contexto. A Realidade Virtual tem sido cada vez mais utilizada como ferramenta alternativa para representações não-convencionais na medida que se torna mais acessível. O conceito de Ambientes Virtuais imersivos tem sido aplicado para melhorar a experiência de usuários em contexto de ensino e aprendizagem por proporcionar maior nível de concentração e liberdade para exploração das informações apresentadas. De acordo com esses fatos, este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização da Visualização Científica de Dados Climáticos em Ambientes Virtuais imersivos, a fim de identificar como a Realidade Virtual pode trazer benefícios para o entendimento representações dos dados complexos. Para isso, foi desenvolvida uma aplicação para visualização imersiva de informações meteorológicas, seguida por uma avaliação com especialistas relacionada ao uso desses conceitos no contexto da meteorologia.

Palavras-chave: Visualização Científica, Dados Climáticos, Realidade Virtual, Interface Imersiva, Experiência de Usuário.

Abstract

Data representation methods play an important role in any area of study, since understanding information in a research context is essential for any scientific advancement. In this sense, the area of Scientific Visualization is highlighted by proposing efficient means to improve the observer's perception of a dataset. In meteorology field, for example, complex visual information about distinct climatic events are analyzed as datasets in numerous surveys. The variety of complex climatic phenomena, each requiring its own intuitive visual representations to convey the correct impressions end up bringing some challenges to apply Scientific Visualization in this area. In this way, it is necessary to investigate alternatives that can improve the forms of visualization within this context. Virtual Reality has been increasingly used as an alternative tool for non-conventional representations as it becomes more accessible. The concept of immersive Virtual Environments has been applied to improve the experience of users in the context of teaching and learning by providing greater level of concentration and freedom to explore the information presented. According to these facts, this paper presents a study on the use of the Scientific Visualization of Climate Data in immersive Virtuals Environments, in order to identify how Virtual Reality can bring benefits to the understanding of complex data representations. For this, an application was developed for immersive visualization of meteorological information, followed by an evaluation with experts related to the use of these concepts in meteorology context.

Keywords: Scientific Visualization, Climate Data, Virtual Reality, Immersive Interface, User Experience.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Parcerias de Pesquisa	3
1.4	Estrutura da Dissertação	4
2	Fundamentação Teórica	6
2.1	Visualização de Dados	6
2.1.1	Visualização de Informações	7
2.1.2	Visualização Científica	8
2.2	Dados Climáticos	9
2.2.1	Técnicas de Visualização Climática	10
2.2.2	Tipos de Projeção	12
2.3	Educação em Ciência Climática	16
2.3.1	Desafios	16
2.3.2	Perspectivas	18
2.4	Realidade Virtual	19
2.4.1	Estereoscopia	21
2.4.2	Dispositivos de Realidade Virtual	23
2.4.3	Benefícios da Realidade Virtual na Educação	28
3	Mapeamento Sistemático sobre Representação Climática	30
3.1	Mapeamento Sistemático	30
3.1.1	Metodologia Utilizada	31

3.1.2	Definição do Protocolo	32
3.1.3	Resultados Quantitativos	34
3.1.4	Discussão	40
3.2	Trabalhos Relacionados	41
3.2.1	Conteúdo Abordado	42
3.2.2	Comparativo entre as Abordagens	48
4	Avaliação Experimental	50
4.1	Definição do Público-Alvo	50
4.2	Métodos	51
4.2.1	Experimento	51
4.3	Materiais	52
4.3.1	Dispositivos e Plataformas Utilizadas	53
4.3.2	Aplicação para Visualização Imersiva	54
4.3.3	Instrumentos de Avaliação	61
4.4	Execução dos Experimentos	64
4.5	Resultados Obtidos	65
4.5.1	Resultados para Perfil dos Voluntários	66
4.5.2	Resultados para Experiência do Usuário	67
4.5.3	Resultados para Impressão dos Voluntários	72
4.6	Discussão	73
5	Conclusão	74
5.1	Contribuições	75
5.2	Trabalhos Futuros	76
	Referências Bibliográficas	81
A	Representações Climáticas da Aplicação	82
B	Trechos de Código-Fonte da Aplicação	85
C	Questionários da Avaliação	92

Lista de Símbolos

2D : *Bidimensional*

3D : *Tridimensional*

VisCi : *Visualização Científica*

RV : *Realidade Virtual*

VR : *Virtual Reality*

RA : *Realidade Aumentada*

AR : *Augmented Reality*

AV : *Ambiente Virtual*

SIG : *Sistemas de Informação Geográfica*

UX : *User Experience*

Lista de Figuras

2.1	Representações distintas para um mesmo conjunto de dados. Fonte: [Nascimento e Ferreira 2005].	7
2.2	Níveis de ozônio na atmosfera sem (esq.) e com (dir.) a representação apropriada. Fonte: MayaVi	9
2.3	Representação da pressão a nível do mar. Fonte: COLA	9
2.4	Exemplos de (A) Color Mapping, (B) Isolines, (C) Streamlines e (D) Glyphs. Fontes: COLA , [Brainerd e Pang 2001] e Unidata	12
2.5	Projeções (A) Cilíndrica, (B) Cônica e (C) Plana. Fonte: [Brainerd e Pang 2001].	13
2.6	Projeção Cilíndrica Equidistante (esq.) e Projeção Cônica (dir.) Fonte: [Brainerd e Pang 1998].	13
2.7	Projeção Equirectangular. Fonte: [Beccario 2013].	14
2.8	Projeção Ortográfica. Fonte: [Beccario 2013].	15
2.9	Projeção Estereográfica. Fonte: [Beccario 2013].	15
2.10	Representação da imersão em Ambiente Virtual.	21
2.11	Representação da visão estereoscópica. Fonte: [Costa e Cosme 2008]. . . .	22
2.12	Luvas sensoriais para RV.	23
2.13	Dispositivos hápticos para sensação tátil.	24
2.14	<i>Cavernas virtuais</i> ou ' <i>Caves</i> ' para projeções em RV. Fonte: [El-Wageeh 2011].	25
2.15	Dispositivos para captar movimentação do usuário.	26
2.16	Dispositivos de visualização com processamento próprio: Playstation VR (Esq.) e Oculus Rift (Dir.).	27
2.17	Dispositivos de visualização com processamento pelo smartphone: Google Cardboard (Esq.) e Samsung Gear VR(Dir.).	28

3.1	Número de trabalhos abordando cada técnica de visualização.	37
3.2	Número de trabalhos abordando cada método de representação.	38
3.3	Gráfico de Bolha representando a relação entre Métodos de Representação (Vertical) com Técnicas de Visualização (Horizontal). Fonte: Plotly	39
3.4	Ferramenta interativa para representação de projeções cartográficas. Fonte: [Brainerd e Pang 2001].	43
3.5	Representação topográfica através da AR Sandbox. Fonte: [Darley 2017].	44
3.6	Interfaces tangíveis sendo aplicadas à visualização de cenários climáticos. Fonte: [Wall 2010].	45
3.7	Ferramenta interativa para visualização com RA em ambiente aberto. Fonte: [Liestøl, Morrison e Stenarson 2014].	45
3.8	Ferramenta interativa para visualização com RA em ambiente fechado. Fonte: [Pettersson, Wesslén e Seipel 2004].	46
3.9	Domo inflável para exibição de informações climáticas em ambiente imersivo. Fonte: [Johansson, Neset e Linnér 2010].	47
3.10	Proposição de dispositivo háptico para exploração de cenário com informações climáticas. Fonte: [Yannier et al. 2008].	48
4.1	Fluxograma representando as etapas do experimento.	52
4.2	Dispositivos utilizados no experimento.	54
4.3	Efeito da visualização estereoscópica nos óculos RV.	55
4.4	Projeção Equirectangular sendo representada na aplicação.	57
4.5	Projeção Ortográfica sendo representada na aplicação.	58
4.6	Projeção Esterográfica sendo representada na aplicação.	58
4.7	Representações das projeções (A) Equirectangular, (B) Ortográfica e (C) Estereográfica na aplicação.	59
4.8	Professores da UACA interagindo com a aplicação através dos óculos de RV e joystick.	65
4.9	Contextos onde a Realidade Virtual poderia ser aplicada.	66
4.10	Média das respostas para Relevância da Imersão.	68
4.11	Média das respostas para Relevância da Interação.	69

4.12	Média das respostas para Relevância das Projeções.	70
4.13	Média das respostas para Potencial como Ferramenta de Ensino.	71
A.1	Velocidade de Ventos c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].	82
A.2	Temperatura c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].	83
A.3	Umidade Relativa do Ar c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].	83
A.4	Volume de Água Precipitável c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].	83
A.5	Volume de Nuvens de Chuva c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].	84
A.6	Pressão ao Nível do Mar c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].	84
A.7	Concentração de Dióxido de Carbono c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013]. .	84
B.1	Trechos de código-fonte para reprodução dos vídeos.	85
B.2	Trecho de código-fonte para rotação na projeção ortográfica.	86
B.3	Trecho de código-fonte para troca entre as projeções.	87
B.4	Trecho de código-fonte para troca entre as representações climáticas (Parte I).	88
B.5	Trecho de código-fonte para troca entre as representações climáticas (Parte II).	89
B.6	Trecho de código-fonte para troca entre os dias representados (Parte I). . . .	90
B.7	Trecho de código-fonte para troca entre os dias representados (Parte II). . .	91

Lista de Tabelas

3.1	Critérios de inclusão utilizados.	34
3.2	Critérios de exclusão utilizados.	34
3.3	Resultados após cada etapa de refinamento pelos critérios.	35
3.4	Técnicas de Visualização de Dados Climáticos.	36
3.5	Métodos de Representação de Dados Climáticos.	38
3.6	Trabalhos selecionados após novo refinamento.	42
3.7	Comparação entre as Abordagens.	49
4.1	Total das respostas para Relevância da Imersão.	68
4.2	Total das respostas para Relevância da Interação.	69
4.3	Total das respostas para Relevância das Projeções.	70
4.4	Total das respostas para Potencial como Ferramenta de Ensino.	71

Capítulo 1

Introdução

A visualização de dados representa fator de grande importância para diversas áreas de estudo onde elementos visuais são cruciais para a representação de informações. Em [John N.W. e Leng 2001] é apontado que esse termo pode apresentar as variações 'Visualização de Informações' e 'Visualização Científica', que são utilizadas para conjuntos de dados mais específicos, apresentando maior complexidade de representação. Segundo estudos feitos em [Bahar 2014], o termo Visualização Científica foi cunhado por cientistas da computação para referir-se ao processo que envolve técnicas de interação, representação de dados, algoritmos de processamento, representações visuais e quaisquer outras representações sensoriais.

A aplicação desse termo e seus conceitos envolvendo dados meteorológicos ganha importância na medida em que diversos dados na área são representados através de técnicas de visualização distintas para simular eventos climáticos específicos. Em [Nocke et al. 2008] os autores abordam que a 'visualização' funciona como uma tecnologia chave para analisar e apresentar simulações climáticas e observações, bem como dados sociais e ecológicos relacionados. Os autores apontam também para dificuldades em manter a intuitividade dos modelos de representação quando os dados são referentes a diversos fenômenos climáticos, cada um com características próprias. Compreende-se que os modelos convencionais de representar as informações meteorológicas estejam ficando ultrapassados, ou de alguma maneira não acompanham as inovações tecnológicas, como visto em [MacEachren et al. 1999].

Desta forma, há necessidade em encontrar ferramentas ou conceitos não-convencionais que tentem contribuir de alguma forma para amenizar essas dificuldades na representação desses dados, ou mesmo facilitar o entendimento de quem os analisa. Pode ser vista em

[Ziegeler et al. 2001] uma abordagem para representar dados meteorológicos em ambiente virtual imersivo. Os autores argumentam que há diversos benefícios no uso desses conceitos, tais como representações que aproximam mais o usuário do mundo real, aprimoramento nas capacidades interativas, melhor percepção de profundidade, mais graus de liberdade para explorar o cenário, etc. Há outros trabalhos como [Helbig 2014], onde são abordados meios imersivos para a representação de informação atmosférica, aliando conceitos de Visualização Científica e Realidade Virtual para produzir uma experiência imersiva ao usuário. Os autores afirmam que o uso de dispositivos avançados de visualização, como ambientes de realidade virtual, permitem uma melhor visão a conjuntos de dados complexos tais como os dados atmosféricos que eles utilizam em seu escopo.

A partir do que foi visto, foram identificados problemas, dificuldades e/ou desafios em re-produzir informações climáticas de maneira intuitiva para públicos de níveis variados, além de indícios de defasagem na utilização abordagens não-convencionais de representação como alternativa para tentar resolver esse problema. Aliando-se a esses fatos, estão as boas perspectivas de utilização imersiva para ampliar a capacidade cognitiva de usuários e interferir positivamente no entendimento de informações visuais em geral. Esta dissertação seguiu por esse caminho para explorar conceitos ou ferramentas que pudessem proporcionar uma experiência imersiva a usuários, com a ideia de realizar uma avaliação dessas capacidades e entender quais benefícios tal aplicação poderia representar no entendimento das informações climáticas.

1.1 Motivação

A construção da motivação deste trabalho se deu ao longo de algumas etapas, tendo como ponto de partida as análises preliminares da pesquisa, por onde foram identificadas algumas dificuldades na representação intuitiva de informações climáticas em [Nocke et al. 2008] e [Gordin, Polman e Pea 1994], além de limitações que indicavam defasagem aliadas à argumentos citando falta de exploração relacionada ao desenvolvimento de alternativas inovadoras nesse mesmo contexto em [MacEachren et al. 1999].

Após o desenvolvimento de um mapeamento sistemático envolvendo visualização e representação de dados climáticos com intuito de explorar as relações existentes entre essas

duas áreas, foi possível observar algo também constatado por [MacEachren et al. 1999], com a presença visível de lacunas na abordagem de métodos não-convencionais para representar as informações climáticas.

Desta forma, decidiu-se por investigar essas lacunas, buscando ou desenvolvendo alguma ferramenta para aplicar conceitos não-convencionais nessa área e, por fim, avaliar se isso traria de fato algum benefício para o entendimento dessas informações podendo, quem sabe, ser aplicado para no âmbito de ensino-aprendizagem nessa área.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é investigar os impactos da imersão na visualização de dados climáticos, ou seja, utilizar tecnologias de Realidade Virtual junto a métodos interativos para proporcionar uma experiência imersiva na visualização e manipulação de dados climáticos.

Como objetivos específicos do trabalho, podem ser apontados:

- Identificar a relação das técnicas de visualização e dos métodos de representação no contexto de dados climáticos;
- Desenvolver um cenário prático que implemente uma solução virtual imersiva aplicada ao contexto de representação de dados climáticos;
- Avaliar a experiência de usuários no cenário prático desenvolvido no intuito de investigar os potenciais benefícios desses conceitos para melhorar o entendimento de informações climáticas.

1.3 Parcerias de Pesquisa

Este trabalho foi concebido inicialmente como parte do projeto **Análise e Previsão dos Fenômenos Hidrometeorológicos Intensos do Leste do Nordeste Brasileiro** aprovado pela CAPES no Edital 24/2014 - Pró-Alertas, que tem como princípio proporcionar uma maior integração entre os programas de pós-graduação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), além de oferecer mais oportunidades para os estudantes de pós-graduação,

permitindo-lhes também ter uma visão holística dos conhecimentos produzidos pelas universidades.

Este projeto é conduzido de forma conjunta, com foco na exploração a análise e previsão dos fenômenos hidrometeorológicos intensos para a costa leste do Nordeste Brasileiro e tem como objetivo principal o desenvolvimento de pesquisas e produtos derivados de informações de satélites ambientais, radares meteorológicos ou outros sistemas de monitoramento indireto da atmosfera a fim levar ao usuário final a informação sobre esses fenômenos da forma mais intuitiva e objetiva possível.

Neste projeto destaca-se a integração dos laboratórios:

- LAPIS¹ (Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites) - responsável pela aquisição e processamento, em tempo quase real, das imagens dos satélites Meteosat Segunda Geração (MSG) do sensor SEVIRI para o monitoramento sistemático e operacional das áreas de agrometeorologia e da previsão de tempo de curto prazo (*nowcasting*).
- INSA² (Instituto Nacional do Semiárido) - O INSA é uma instituição de pesquisa de caráter nacional, com enfoque no Semiárido brasileiro. Mas tem expressão internacional, por exemplo, como o correspondente científico do Brasil junto a Convenção das Nações Unidas para o combate à desertificação no mundo. Como referência científica da região, divulga a Ciência, Tecnologia e Inovação como patrimônios universais para o bem da humanidade e particularmente para Semiárido Brasileiro.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, seguindo a seguinte estrutura:

O **Capítulo 1 (Introdução)** apresenta os conceitos gerais sobre temática abordada, contextualiza o leitor em relação ao escopo do trabalho, expõe os fatores que motivaram o seguimento da pesquisa e atribui objetivos gerais e específicos para guiar todo o avanço científico;

O **Capítulo 2 (Fundamentação Teórica)** apresenta o estudo que foi realizado sobre as bases que fomentaram a pesquisa, conceitos utilizados como referência a serem seguidos,

¹<http://www.lapismet.com/>

²<http://rededesertificacao.insa.gov.br/>

além de características relacionadas aos elementos utilizados no trabalho, que também auxiliaram a reforçar a relevância do tema escolhido;

O **Capítulo 3 (Mapeamento Sistemático sobre Representação Climática)** traz um detalhamento sobre um mapeamento sistemático realizado para ajudar a responder questionamentos levantados na definição de escopo, apresentando resultados quantitativos que ajudaram a confirmar áreas de interesse e comentando trabalhos que se mostraram relevantes ao tema proposto;

O **Capítulo 4 (Avaliação Experimental)** traz toda a discussão sobre a elaboração do experimento e realicação da avaliação sobre a experiência do usuário, passando pela definição de público-alvo e dos materiais e métodos utilizados, detalhes sobre a implementação da solução desenvolvida para aplicar os conceitos desejados no experimento, até a apresentação dos resultados da avaliação e uma discussão sobre o que foi observado;

O **Capítulo 5 (Conclusão)** apresenta as conclusões que puderam ser tiradas a partir de todo o processo que envolveu a pesquisa, desde a definição do escopo a ser explorado, passando pela escolha e desenvolvimento de uma solução própria e, finalmente, comentários sobre o experimento e a avaliação realizados, além de apontar as contribuições alcançadas pela pesquisa e sugerir trabalhos futuros com base nas experiências obtidas neste trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

No decorrer deste capítulo serão abordados os principais conceitos considerados relevantes para elucidar o escopo e foco deste trabalho, tais como características relacionadas a dados climáticos, aspectos sobre visualização científica, educação em meteorologia e o potencial em explorar novas perspectivas de visualização, em especial a Realidade Virtual, que foi aprofundada nessa pesquisa.

2.1 Visualização de Dados

De acordo com [John N.W. e Leng 2001], a visualização pode ser dividida em três tipos principais: a **Visualização de Dados**, que é um termo mais geral que engloba todos os tipos de dados e técnicas para analisá-los, a **Visualização de Informação**, que refere-se a tentativa de visualizar tipos de dados abstratos através de representações visuais, e por fim a **Visualização Científica** que corresponde ao termo formal dado por cientistas da computação, que abrange técnicas de interação, representações de dados, algoritmos de processamento, representações visuais e quaisquer outras representações sensoriais.

O primeiro termo apresentado está associado a uma forma mais abrangente de representação de dados mais brutos, enquanto os outros dois envolvem dados com características mais específicas, que serão melhor apresentadas nas subseções a seguir.

2.1.1 Visualização de Informações

Em [Card, Mackinlay e Shneiderman 1999] os autores definem Visualização de Informações como um meio para ampliar a cognição do usuário que a consome, através da interação e observações feitas sob representações visuais de dados abstratos.

Segundo [Nascimento e Ferreira 2005], a área de Visualização de Informações é um campo de pesquisa que se preocupa com a construção dessas representações visuais de dados abstratos de forma a facilitar o seu entendimento e/ou ajudar na descoberta de novas informações contidas nos mesmos. Sob essa perspectiva, concluíram que o objetivo final do processo de visualização é auxiliar no entendimento de determinado assunto, o qual, sem uma técnica de visualização específica, exigiria maior esforço para ser compreendido. Os autores afirmam ainda que, nesse contexto, a área de Visualização de Informações se apresenta como um campo de estudo de grande utilidade, uma vez que agrega técnicas que facilitam o entendimento de informações a partir de representações visuais de dados. Um exemplo dessa utilidade pode ser visto na Figura 2.1, que apresentam um mesmo conjunto de dados a partir de formas de representação distintas.

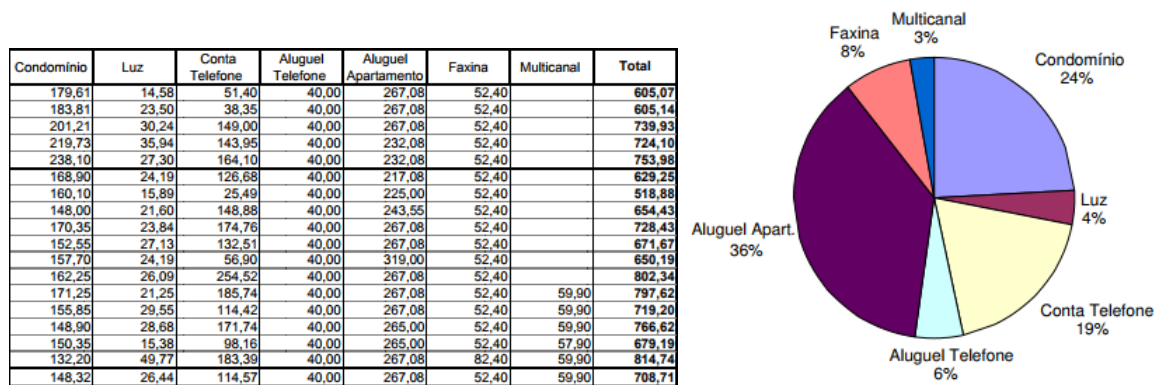


Figura 2.1: Representações distintas para um mesmo conjunto de dados. Fonte: [Nascimento e Ferreira 2005].

A partir do que foi apresentado, pode-se assumir que o processo de Visualização de Informações consiste em um segmento importante para que diversas áreas de conhecimento possam produzir resultados compreensíveis sob diferentes perspectivas aos pesquisadores interessados. No entanto, o termo está associado a dados abstratos sem um caráter físico. Para dados relativos a objetos físicos são aplicados conceitos da Visualização Científica.

2.1.2 Visualização Científica

Segundo [Defanti e Brown 1991], a Visualização Científica (VisCi) implica na transformação de dados em representações geométricas para aprimorar a percepção do usuário, tornando-o capaz de fazer observações que antes não conseguia. Além disso, apoia cientistas ao provar ou refutar hipóteses, pois permite que eles assimilem seus resultados de maneira muito mais rápida e induz um nível mais alto de compreensão dos processos subjacentes, como sugerem [Brodie et al. 2012], [Senay e Ignatius 1994] e [Friedhoff R. e Kiely 1990]. Ainda de acordo com [Defanti e Brown 1991], a VisCi visa combinar a capacidade de cognição humana com o poder de computação gráfica e tecnologias similares e, por este motivo, já revolucionou a forma como os cientistas fazem ciência.

De acordo com [Mackinlay 2000] e [Rhyne 2003], pode ser feita uma distinção com a **Visualização da Informação**, que toma como base dados com caráter não-físicos, como texto ou estatísticas, enquanto a **Visualização Científica** baseia-se em dados relativos a objetos físicos, como a terra ou um conjunto de moléculas. Apesar de apontar similaridades entre ambos os tipos de visualização, também é abordado em [Nascimento e Ferreira 2005] a necessidade de distinção entre eles, destacando que na Visualização de Informações os dados são abstratos, onde não necessariamente haveria uma representação geométrica inerente aos mesmos, enquanto que na VisCi os dados apresentados geralmente correspondem a medidas de objetos físicos, fenômenos da natureza ou posições em um domínio espacial, possuindo, assim, uma representação geométrica.

A VisCi possui amplo potencial de aplicação em áreas onde a representação visual é fator determinante na compreensão das informações. Um exemplo disso está na meteorologia, onde dados climáticos são expressos principalmente através de imagens, necessitando assim da utilização de características presentes na VisCi para serem compreendidas de forma eficiente. Essa relação pode ser vista na Figura 2.2 capturada através da ferramenta **MayaVi**¹, onde estão representadas a variação dos valores referentes ao nível de ozônio presente na atmosfera, além da sua distribuição geográfica, que podem ser melhor percebidas na imagem à direita, na qual foi utilizado um método de representação apropriado para este fenômeno.

¹<http://mayavi.sourceforge.net/>

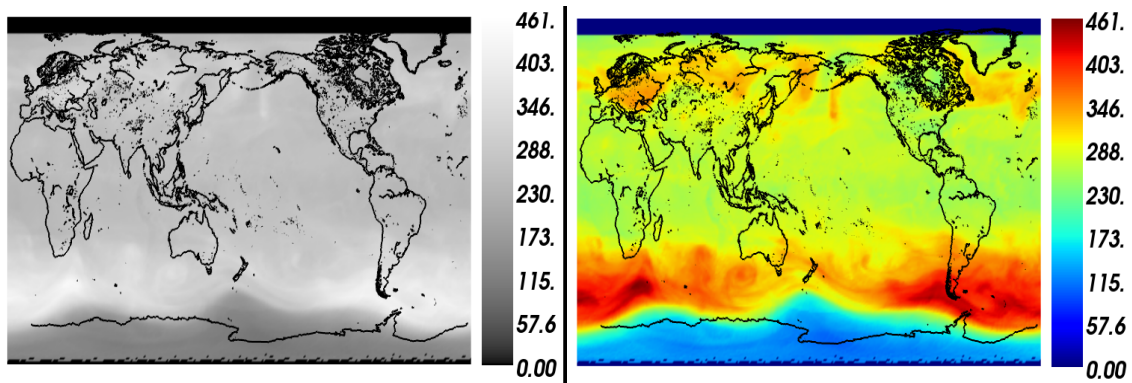


Figura 2.2: Níveis de ozônio na atmosfera sem (esq.) e com (dir.) a representação apropriada.

Fonte: MayaVi.

2.2 Dados Climáticos

O aumento de poder computacional ao longo do tempo, aliado ao aprimoramento de técnicas de observação como monitoramento via satélite aumentam o volume de conjuntos de dados climáticos disponíveis, segundo [Nocke et al. 2008]. Os dados brutos gerados são geralmente imagens capturadas por satélites especializados e precisam passar por etapas de processamento computacional para apresentar informações em relação a alguma característica específica sobre a região monitorada, como temperatura, umidade relativa, volume de nuvens de chuva, entre outras, como pode ser visto na Figura 2.3, divulgada pelo COLA².

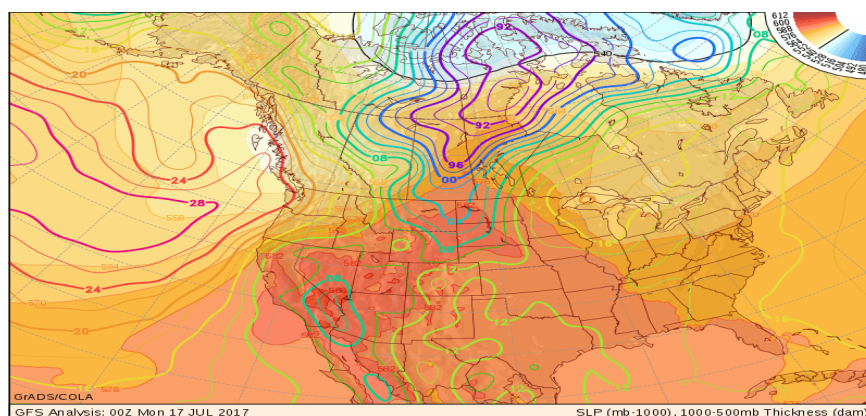


Figura 2.3: Representação da pressão a nível do mar. Fonte: COLA.

Como pode ser observado em [Neset, Johansson e Linnér 2009], a **vizualização** tem

²<http://cola.gmu.edu/>

sido utilizada durante anos em sistemas climáticos e pesquisas sobre o impacto na comunicação de resultados para o público geral e entre cientistas, através de interfaces, portais na web e aplicações conhecidas como sistemas de informação geográfica (SIG). Visualização Climática é um conceito que se refere a plataformas interativas de pesquisa que utilizam computação gráfica para criar representações visuais de causa e efeito relacionadas a mudanças climáticas. Esses modelos de representação visual estão associados a VisCi, uma vez que o objeto de referência são regiões geográficas e fenômenos climáticos. Também foi afirmado por [Nocke et al. 2008] que para criar uma simulação visual de fenômenos naturais, o campo da visualização climática tem como tradição a utilização de representações 2D estáticas aliadas a técnicas de visualização provenientes da Visualização Científica.

2.2.1 Técnicas de Visualização Climática

As informações referentes a eventos climáticos podem ser expressas em diferentes níveis de representação, indo desde tabelas e gráficos com dados mais brutos até métodos contemplando elementos visuais mais elaborados. A complexidade presente na interpretação dessas informações trouxe, ao longo do tempo, a necessidade de aprimorar os métodos de visualização utilizados no intuito de contribuir para o entendimento de quem as consome. Desta forma, a VisCi ganhou cada vez mais importância dentro do contexto meteorológico, o que resultou no desenvolvimento de técnicas apropriadas para diversos eventos climáticos distintos.

Em [Nocke, Flechsig e Bohm 2007], os autores tiveram o intuito de produzir uma biblioteca de técnicas de visualização e métodos para modelar dados climáticos e, através disso, diversas técnicas de visualização acabaram sendo catalogadas e relacionadas com modelos de visualização associados, entre elas:

- **Visualização 2D:** Combined Colors, Color Mapping*, Isolines, Height Mapping*, Streamlines* e Glyphs*;
- **Visualização 3D:** Color Mapping*, Height Mapping*, Streamlines*, Glyphs*, Isosurfaces e Volume Rendering;

* *Representações para ambos os modelos.*

Essas são algumas das técnicas mais relevantes destacadas pelos autores, onde ***Combined Colors*** e ***Color Mapping*** representam a sobreposição de cores no mapa para representar valores ou eventos em uma região; ***Isolines*** são linhas de contorno desenhadas sobre um mapa para delimitar valores variáveis ao longo de uma região; ***Height Mapping*** ilustra variações de altura no mapa para representar os valores de algum evento em uma região; ***Streamlines*** são linhas de fluxo direcionais para representar a orientação de um fenômeno; ***Glyphs*** são símbolos posicionados no mapa para representar algum valor ou evento; ***Isosurfaces*** são uma representação análoga das ***Isolines***, em uma visualização 3D; ***Volume Rendering*** ilustra o mapa com valores de alguns fenômenos através de um campo escalar 3D. Muitas vezes algumas dessas técnicas são vistas sobrepostas em representações meteorológicas para que determinado evento climático possa ser melhor expresso visualmente.

Como exemplo, as técnicas ***Color Mapping***, ***Isolines***, ***Streamlines*** e ***Glyphs***, que podem ser observadas nas imagens da Figura 2.4, obtidas através de fontes como COLA e Unidata³, são comumente utilizadas para representar parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade relativa, pressão a nível do mar, concentração de gases poluentes, etc.

³<http://www.unidata.ucar.edu/>

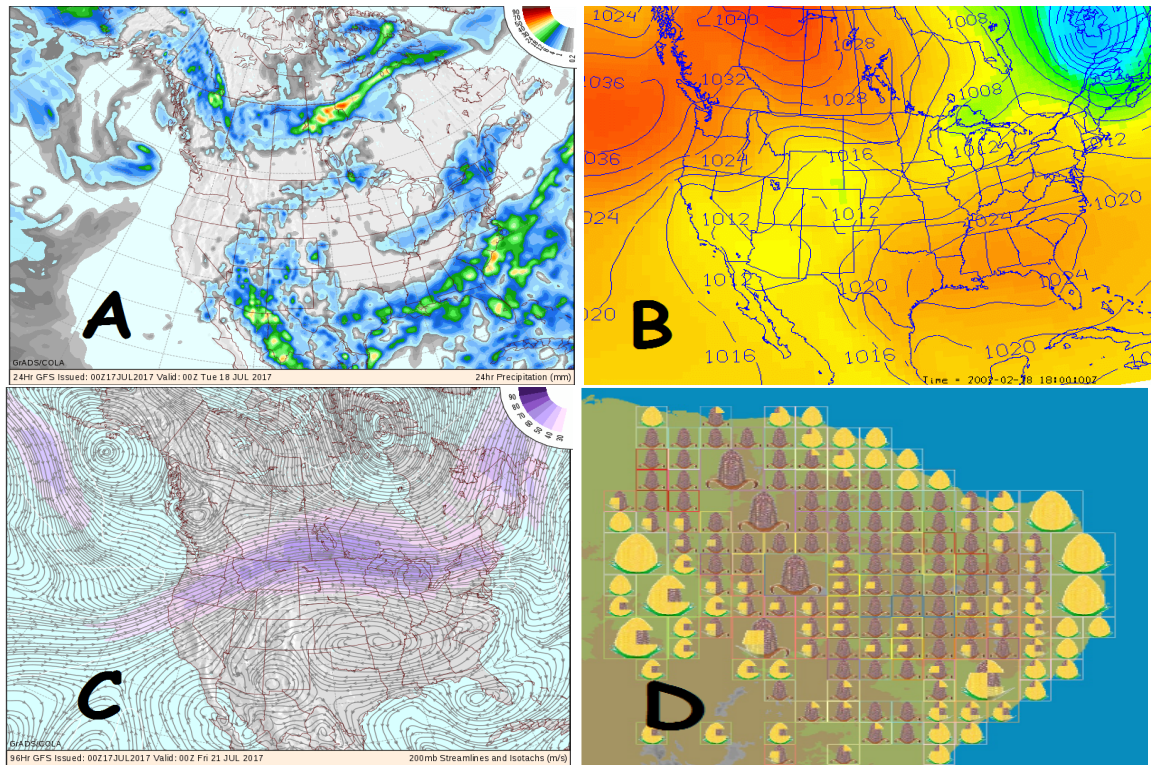


Figura 2.4: Exemplos de (A) Color Mapping, (B) Isolines, (C) Streamlines e (D) Glyphs. Fontes: COLA, [Brainerd e Pang 2001] e Unidata.

Nas imagens exibidas na Figura 2.4 destacam-se as técnicas de maior importância para a representação dos parâmetros meteorológicos correspondentes a cada situação, porém é possível notar, principalmente no caso da imagem (B), a sobreposição de técnicas mencionada anteriormente, onde as representações das isolinhas aliam-se a uma variação de cores a fim de aprimorar a informação referente ao parâmetro meteorológico ilustrado.

2.2.2 Tipos de Projeção

Uma mudança no modo de representação em Visualização Científica interfere na percepção do usuário em relação às informações transmitidas nas diferentes maneiras. Projetar uma esfera em uma superfície plana, por exemplo, não é uma tarefa trivial e chamou a atenção de cartógrafos, matemáticos e navegadores por mais de 2500 anos, como é comentado em [Snyder e Voxland 1989].

Existem várias maneiras de se projetar um objeto em uma superfície, tendo ambas formas geométricas distintas. Daí são produzidas as várias projeções em mapa descritas em

[Snyder 1987], que podem ser aproveitadas como variações na Visualização Científica para dar alternativas a pesquisadores interessados em explorar diferentes pontos de vista. Alguns exemplos de classificações para projeções em mapa encontradas em [Snyder e Voxland 1989] e [Snyder 1987] são conhecidas por *Cilíndrica*, *Cônica* e *Plana*, que descrevem, respectivamente como os nomes sugerem, a projeção de uma esfera na superfícies de cilindros, cones e planos bidimensionais, todas ilustradas na Figura 2.5.

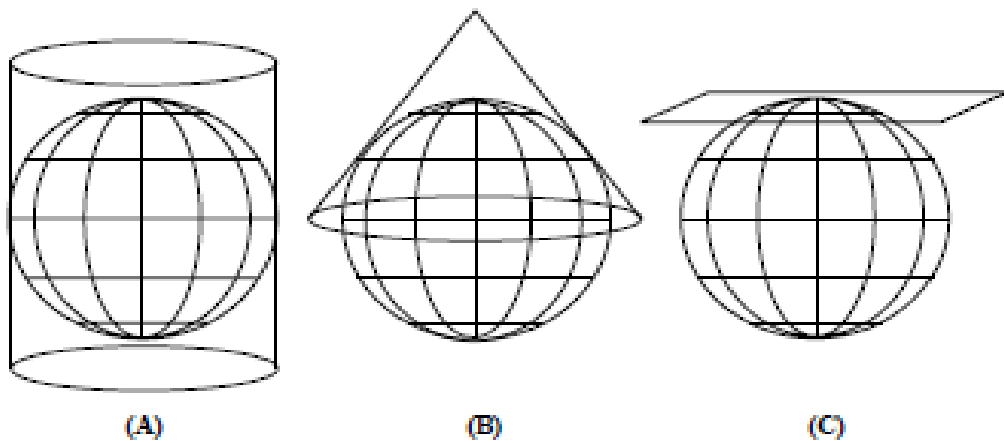


Figura 2.5: Projeções (A) Cilíndrica, (B) Cônica e (C) Plana. Fonte: [Brainerd e Pang 2001].

O efeito prático dessas técnicas é alcançado ao projetar o mapa esférico da Terra em uma dessas superfícies, gerando uma distorção que altera a perspectiva em relação ao mapa original, um exemplo dessa mudança pode ser visto na Figura 2.6, onde estão apresentados as projeção resultante da esfera em uma superfície cilíndrica e cônica, respectivamente.

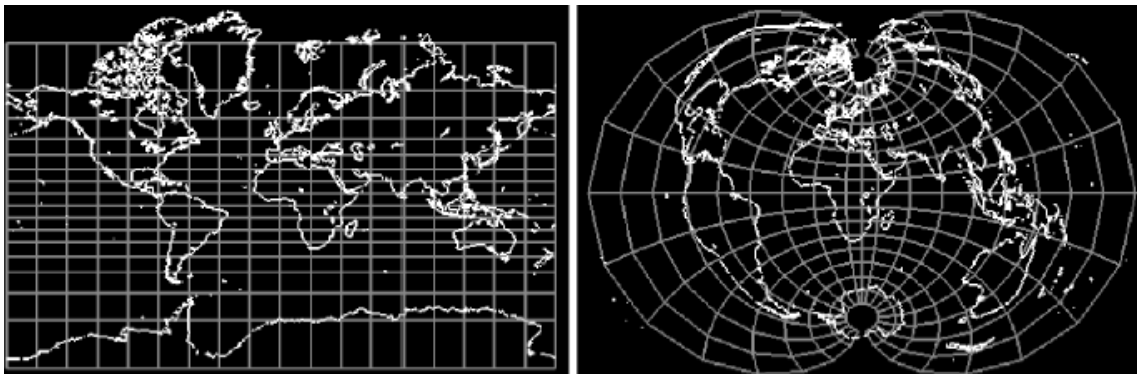


Figura 2.6: Projeção Cilíndrica Equidistante (esq.) e Projeção Cônica (dir.) Fonte: [Brainerd e Pang 1998].

Para a abordagem proposta na avaliação presente neste trabalho, foram utilizadas as projeções *Equirectangular*, *Ortográfica* e *Estereográfica*, de modo a proporcionar aos usuários participantes uma experiência de percepção bidimensional, tridimensional e imersiva, respectivamente. Isso foi realizado através de uma ferramenta para visualização científica de representações climáticas, que será melhor detalhada em seções mais adiante.

A projeção *Equirectangular* projeta um mapa esférico em uma superfície cilíndrica que, rearranjada, resulta na visualização através de um mapa bidimensional vista na Figura 2.7.

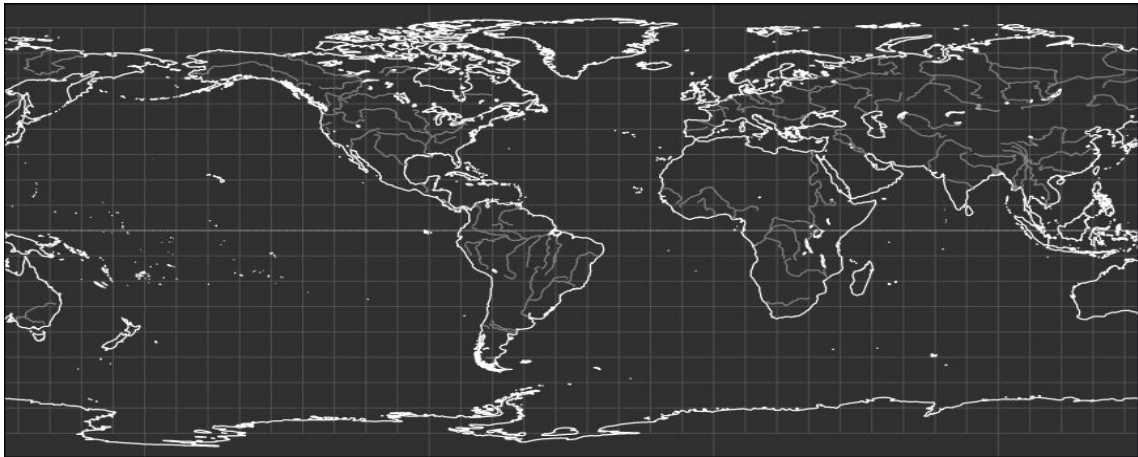


Figura 2.7: Projeção Equirectangular. Fonte: [Beccario 2013].

A projeção *Ortográfica* projeta um mapa cartográfico na superfície de um objeto esférico, simulando a representação do globo terrestre para gerar uma perspectiva tridimensional das informações, como visto na Figura 2.8.

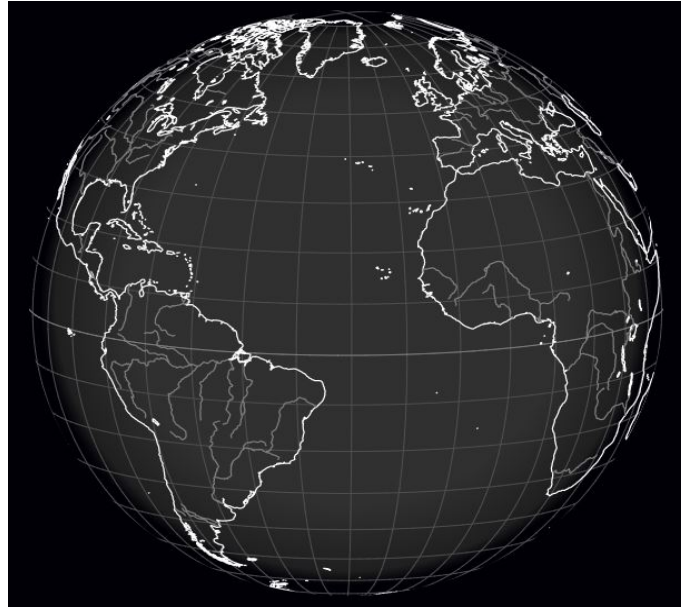


Figura 2.8: Projeção Ortográfica. Fonte: [Beccario 2013].

A projeção *Estereográfica* é representada quase que através do efeito inverso da *Ortográfica*, onde o mapa é projetado no interior de um objeto esférico, dando ao observador uma perspectiva também tridimensional, mas com 360 graus de liberdade para exploração das informações representadas no cenário. Esse efeito pode ser visto na ilustração da Figura 2.9.

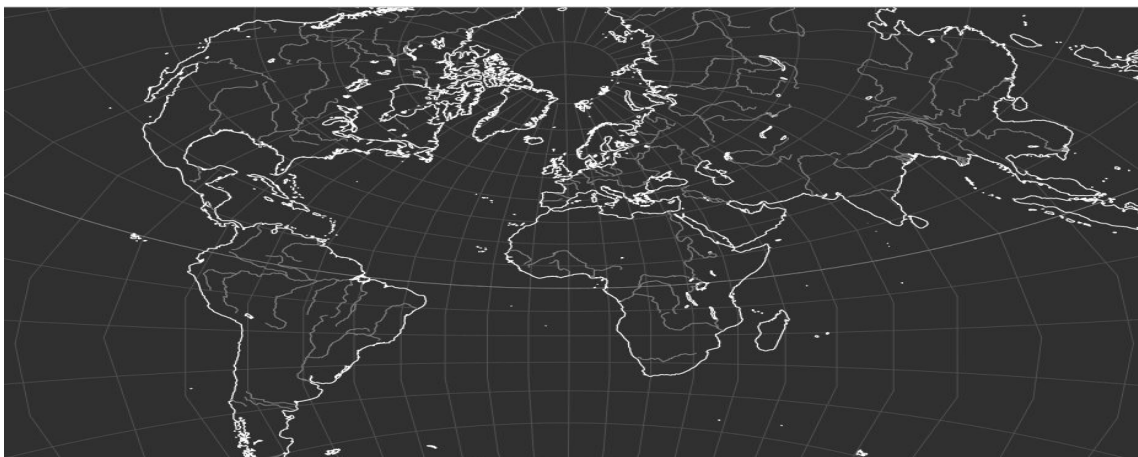


Figura 2.9: Projeção Estereográfica. Fonte: [Beccario 2013].

2.3 Educação em Ciência Climática

A Visualização Científica exerce grande importância em determinadas áreas de estudo não por acaso, há segmentos da ciência que necessitam de alternativas para representação e transmissão de dados visuais relevantes para análise própria, para outros pesquisadores ou para o público geral, que precisam passar por um processamento baseado em algum método científico para transformar os dados brutos em informação significativa.

Esse é o caso da Meteorologia, onde diversos estudos são realizados a partir de análises em representações visuais de imagens referentes a fenômenos naturais que acontecem em determinadas regiões geográficas ao longo do planeta. Desta forma, é essencial garantir o entendimento dessas informações representadas para ser uma área de estudos viável. Para isso se fez necessário o desenvolvimento de técnicas e modelos de representação, a fim de padronizar uma forma de ilustrar eventos específicos e seus valores associados. Porém, a grande quantidade de acontecimentos meteorológicos distintos que necessitam de métodos de visualização também diversificados não permite que essa seja uma tarefa trivial.

No intuito de identificar quais aspectos poderiam ser explorados dentro do escopo da pesquisa, foram investigadas as dificuldades apresentadas por métodos de representação de dados climáticos, especialmente no que diz respeito a ensino-aprendizagem na área. Além disso, também foram estudadas possíveis perspectivas já documentadas na área, como forma de definir qual caminho esse trabalho deveria seguir. Essas análises estão descritas nas subseções que seguem.

2.3.1 Desafios

Em [Nocke et al. 2008] os autores afirmam que o desenvolvimento de técnicas e métodos de representação que sejam intuitivas e compreensíveis para o contexto meteorológico enfrenta alguns desafios. Há uma grande variedade de dados complexos, que devem ser associados a modelos de visualização eficientes pela ótica de grupos distintos sob vários aspectos. Desta forma, é natural projetar alguns obstáculos no processo de ensino das informações utilizadas nessa área. A seguir estão listados alguns desafios abordados pelos autores em relação ao processo de desenvolver representações intuitivas e significativas para o contexto climático:

1. A diversidade de dados relacionados ao clima exige uma grande variedade em modelos

de representação (2D/3D). Em alguns casos é necessário utilizar técnicas de visualização alternativas, mas que sejam intuitivas, para analisar dados 3D que variam ao longo do tempo;

2. A visualização dos dados climáticos é direcionada a diferentes grupos de usuário de diferentes áreas e com habilidades, níveis de qualificação e interesses distintos;
3. Aplicar Visualização Científica no contexto climático não é trivial, devido a grande variedade de ferramentas, técnicas e parâmetros disponíveis. São necessárias tecnologias cada vez mais sofisticadas para reduzir a distância entre esses sistemas e os usuários;

Existem outros trabalhos abordando de alguma forma os obstáculos presentes na visualização de representações meteorológicas e, por consequência, as dificuldades para torná-las intuitivas em um ambiente de ensino. Em [Dupigny-Giroux 2010] são tratados, entre outros, alguns fatores limitantes como o vocabulário utilizado pela área, que conta com termos desafiadores aos alunos, a falta de educadores com conhecimento especializado no assunto para transmitir uma boa base e, ainda neste sentido, a má distribuição de conceitos básicos sobre o clima na grade curricular dos alunos.

Em [Gordin, Polman e Pea 1994], os autores propuseram um ambiente de aprendizado com objetivo de facilitar a noção científica nas escolas em relação ao contexto climático, onde são desenvolvidos métodos através da Visualização Científica que permitam aos alunos manipular e visualizar informações desse tipo. Para isso era realizada uma avaliação de uso onde, em dado momento, os autores relataram algumas dificuldades vivenciadas pelos alunos na experiência com a ferramenta, alguns não entendendo o significado de certas variáveis e das unidades em que eram mensuradas, alguns não souberam interpretar a utilização de linhas de contorno (*Isolines*) no mapa, e até mesmo outros não compreendendo a disposição das cores no mapa (*Color Mapping*) como sendo uma variável representando um evento climático.

Em [MacEachren et al. 1999] são consideradas limitações nos métodos de representação climática desenvolvidos ao longo de décadas, podendo estar ultrapassados. Os autores citam inclusive a falta de exploração relacionada ao desenvolvimento de novas alternativas inovadoras para visualização e interação com informações deste tipo.

2.3.2 Perspectivas

A presença de desafios no desenvolvimento de técnicas de visualização e de modelos representação que sejam intuitivos dentro desse escopo climático traz consigo questionamentos sobre quais soluções poderiam ser elaboradas para amenizar esse problema. Para que essas questões sejam abordadas de forma efetiva, é preciso definir quais aspectos possuem o potencial de transformar a visualização das informações em uma experiência mais completa e intuitiva. Nesse sentido devem ser consideradas características de visualização e métodos de representação das informações climáticas, além do nível interação proporcionado ao observador.

Em [Ladstädter et al. 2010] os autores tiveram o intuito de encontrar uma alternativa inovadora para lidar com conjuntos grandes de dados atmosféricos e climáticos. Para isso, propuseram manipular esse tipo de dados através de meios interativos aliados ao processo de visualização. Ao longo do trabalho eles afirmam que pesquisas dentro desse contexto podem se beneficiar de propriedades em um método de visualização que permita o observador explorar o ambiente como um todo, com bom potencial de aprimorar as análises em representações com muitos dados associados. Os autores concluem o trabalho confirmando a utilidade no uso de métodos interativos para exploração de informações na área meteorológica. Eles afirmam que visualizar esses conjuntos de dados da forma mais direta possível, com auxílio de métodos interativos para exploração do ambiente, pode servir como suporte para aprimorar o entendimento de características referentes aos dados apresentados.

Na abordagem feita por [Scamati 2011], vemos a utilização de ambientes virtuais imersivos e interativos para o ensino, no intuito de investigar se esses conceitos representam algum ganho no processo de ensino-aprendizagem. Para isso, realizaram uma revisão sistemática sobre o tema. A análise dos trabalhos selecionados apresentaram benefícios para a utilização de imersão em ambientes de ensino-aprendizagem, incluindo comparação entre método imersivo e convencional, com resultados de melhora em notas por parte dos alunos após a utilização de conceitos imersivos.

Em [Ziegeler et al. 2001], os autores constataram que grande parte dos dados climáticos são representados e, conseqüentemente, analisados através de métodos 2D de modelagem. Isso provoca uma limitação quando as informações possuem maior complexidade e precisam ser expressas através de imagens com duas ou mais variáveis representadas. O ideal

para esses casos seria uma perspectiva 3D que pudesse trazer benefício ao entendimento, Porém algumas informações podem corresponder a valores ou eventos que ficariam melhor compreendidas em uma representação bidimensional. Considerando essas observações, a solução encontrada foi desenvolver um ambiente imersivo que comportasse as duas formas de representação através de conceitos da Realidade Virtual para exploração e interação com o cenário. Os autores fazem referência a [Youngblut et al. 1996], que apontam os seguintes elementos como benéficos à utilização de imersão para visualização climática:

- **Melhoria no método de Interação Humano-Computador;**
- **Mais graus de liberdade para navegar pelos dados;**
- **Representa um "paradigma visual" mais relacionado ao mundo real;**
- **Estereoscopia para ampliar a percepção de profundidade;**
- **Campo de visão mais amplo.**

A partir das perspectivas encontradas, abordando meios de explorar melhorias para os desafios existentes na representação de dados meteorológicos, especialmente para a área de ensino-aprendizagem, esse trabalho aprofundou esses conceitos a fim de aproveitar os benefícios da utilização de ambiente imersivo como meio para representar e interagir com as informações climáticas.

2.4 Realidade Virtual

Segundo [Bryson 1996], a Visualização Científica é orientada para a exibição informativa de quantidades e conceitos abstratos. Além disso, como os fenômenos representados são abstratos, um pesquisador pode realizar pesquisas na Realidade Virtual (RV) que seria impossível ou sem sentido no mundo real. Desta forma, os melhores aspectos da simulação computacional e da interação intuitiva do mundo real são combinados.

O efeito na utilização técnicas da VisCi para analisar informações abstratas dentro de um ambiente imersivo traz benefícios ao entendimento, como visto em [Ziegeler et al. 2001] e [Youngblut et al. 1996], que tem relação com ao maior grau de liberdade para exploração

da informação aliado aos métodos de interação mais diretos nesse tipo de ambiente, tudo isso deixando o observador isolado de influências externas. Essas características ampliam a capacidade de concentração que aprimora a obtenção de conhecimento sobre o que está sendo informado.

De acordo com [Bahar 2014] o termo '**Realidade Virtual**' foi definido de várias maneiras desde sua primeira utilização, tendo o seu escopo sido ampliado nos últimos anos, ainda que esta ampliação tenha, em alguns casos, tendido a causar alguma confusão sobre o que constitui ou não o termo.

Através do que é visto em [Lu, Shpitalni e Gadh 1999], define-se RV de uma maneira simples como um mundo experimentado através de nossas habilidades sensoriais, mas nós não existimos fisicamente nesse mundo. RV aborda a criação de elementos virtuais substitutos para objetos, eventos ou ambientes reais, que sejam aceitáveis para os seres humanos como igualmente reais ou verdadeiros. Isso faz com que o usuário pareça estar explorando um mundo virtual criado por computador da mesma forma que ele exploraria um ambiente natural. Os termos '**Ambientes Virtuais**' (AV's), '**Ambientes Artificiais**' e '**Ambientes Sintéticos**' também são freqüentemente usados quando o assunto de RV é discutido.

Já em [Gutiérrez, Vexo e Thalmann 2008] e em [Guttentag 2010], a RV era definida como o uso de um ambiente 3D gerado por computador, os chamados Ambientes Virtuais, permitindo navegar e possivelmente interagir, resultando em simulação em tempo real de um ou mais dos cinco sentidos do usuário, onde '**Navegar**' refere-se à capacidade de se deslocar e explorar o AV, e '**Interagir**' refere-se à capacidade de selecionar e mover objetos dentro do AV.

A partir dessa definição, é possível notar que relação entre usuário e informação tende a ser estreitada dentro de um AV imersivo, onde ele deixa de ser apenas um espectador do que é representado e passa a se sentir como parte do cenário e no controle do que acontece. Uma ilustração desse efeito imersivo pode ser vista na Figura 2.10 obtida através de um artigo sobre VR⁴ e de um website de ilustrações⁵.

⁴<https://www.straight.com/news/695486/david-suzuki-aint-nothing-real-thing-virtual-reality-comes-close>

⁵<http://www.annaparini.com/>



Figura 2.10: Representação da imersão em Ambiente Virtual.

Os conceitos apresentados trazem variações na forma de descrever a ideia mas, em geral, referem-se a proporcionar uma experiência para um usuário, onde os seus sentidos de percepção do AV são aprimorados num nível tal, que ele sente-se parte desse ambiente. Essa impressão gera uma aproximação do usuário com as informações que são representadas capaz de influenciar na sua compreensão sobre tudo que envolve essas informações. Desta forma, a aplicação desses conceitos para uma abordagem de ensino-aprendizagem faz todo sentido, principalmente quando o material alvo de estudo possui métodos de representação visual, que é o sentido mais afetado por uma experiência desse tipo.

2.4.1 Estereoscopia

De acordo com [Costa e Cosme 2008], o termo '**Estereoscopia**' se dá pela justaposição dos termos gregos '*stereo*', relativo a dois ou algo duplo, e '*scopos*', relativo a visão ou observador. Quanto ao conceito, '*estereoscopia*' diz respeito a visualização de um mesmo foco por dois mecanismos de captação de imagens distintos. Em linhas gerais, quando em seres humanos, diz-se que a imagem percebida pelo cérebro resulta da combinação de duas imagens captadas, uma por cada olho. Essas imagens recebem o nome de '*par estereoscópico*', e são captadas por duas fontes de observação distintas, sejam os olhos humanos, câmeras fotográficas, filmadoras ou câmeras virtuais dentro de um AV.

Também é dito em [Costa e Cosme 2008] que a estereoscopia representa a simulação de duas imagens de uma cena, as quais são projetadas nos olhos em pontos de observação ligeiramente diferentes. O cérebro funde as duas imagens e, por meio desse processo, o observador obtém informações quanto à profundidade, distância, posição e tamanho de objetos no cenário visualizado, gerando uma sensação de visão tridimensional. O efeito da visão estereoscópica pode é ilustrado na Figura 2.11.

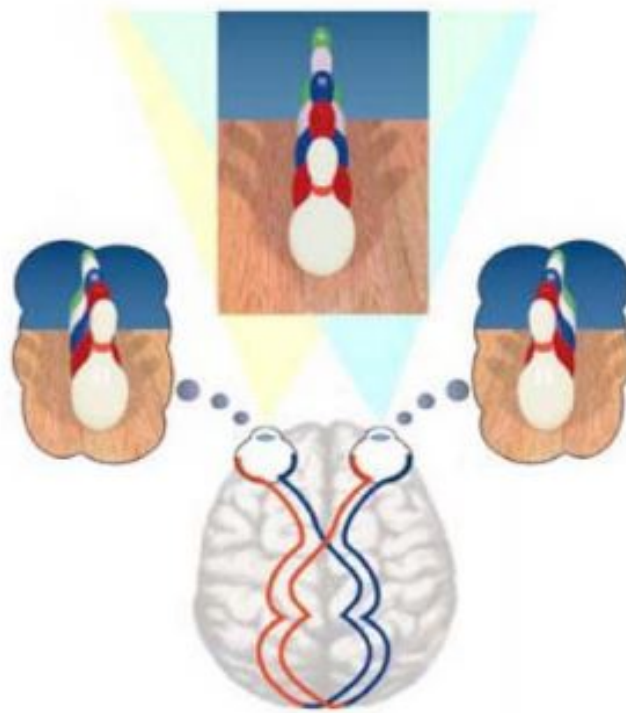


Figura 2.11: Representação da visão estereoscópica. Fonte: [Costa e Cosme 2008].

De acordo com os conceitos apresentados, esse efeito pode ser reproduzido em Ambientes Virtuais por meio da divisão do cenário virtual em duas perspectivas para servir como os pares estereoscópicos mencionados, que são captados por câmeras distintas com valores próprios para posição e rotação. Essa possibilidade é aplicada para proporcionar a sensação de imersão ao usuário, reproduzindo um método de visualização do cenário virtual equivalente ao método utilizado para visualizar o mundo real.

2.4.2 Dispositivos de Realidade Virtual

A percepção imersiva prouzida pela RV é diretamente relacionada à estimulação de um ou mais dos cinco sentidos do usuário como visto em [Gutiérrez, Vexo e Thalmann 2008] e [Guttentag 2010], portanto, diversas ferramentas e dispositivos são utilizados para proporcionar esse efeito e servir de mediador entre o usuário e o Ambiente Virtual. Alguns desses dispositivos serão apresentados a seguir, para demonstrar a diversidade na aparelhagem envolvida.

Luvras Sensoriais

As luvas sensoriais são usados no âmbito da RV como dispositivos de entrada de dados, para captar o posicionamento e movimentação das mãos do usuário e, desta forma, lidar com ações manuais no cenário e até mesmo representar visualmente as mãos do usuário. Na Figura 2.12 podem ser vistos exemplos desses dispositivos.



Figura 2.12: Luvas sensoriais para RV.

Dispositivos Hápticos

Uma outra abordagem que pode estar contida em AV's para determinadas áreas de estudo é a de '*força e feedback*', onde dispositivos promovem uma interação tátil para determinadas texturas ou superfícies, ampliando a sensação do usuário de estar de fato manipulando através no mundo real os objetos virtuais presentes no ambiente imersivo. Na Figura 2.13 são mostrados exemplos desse tipo de alternativa.



Figura 2.13: Dispositivos hápticos para sensação tátil.

Cavernas Virtuais

As *cavernas virtuais*, ou no inglês '*Caves*', surgiram em decorrência das primeiras pesquisas que abordavam conceitos de imersão em um AV. A solução mais viável à época seria criar uma sala fechada, com o máximo de isolamento exterior possível, enquanto em seu interior eram projetadas em todas as paredes da sala imagens ou vídeos para gerar a perspectiva imersiva. O usuário poderia observar o cenário contando com vários ângulos de liberdade para exploração. Representações desses 'cavernas' podem ser vistas na Figura 2.14.

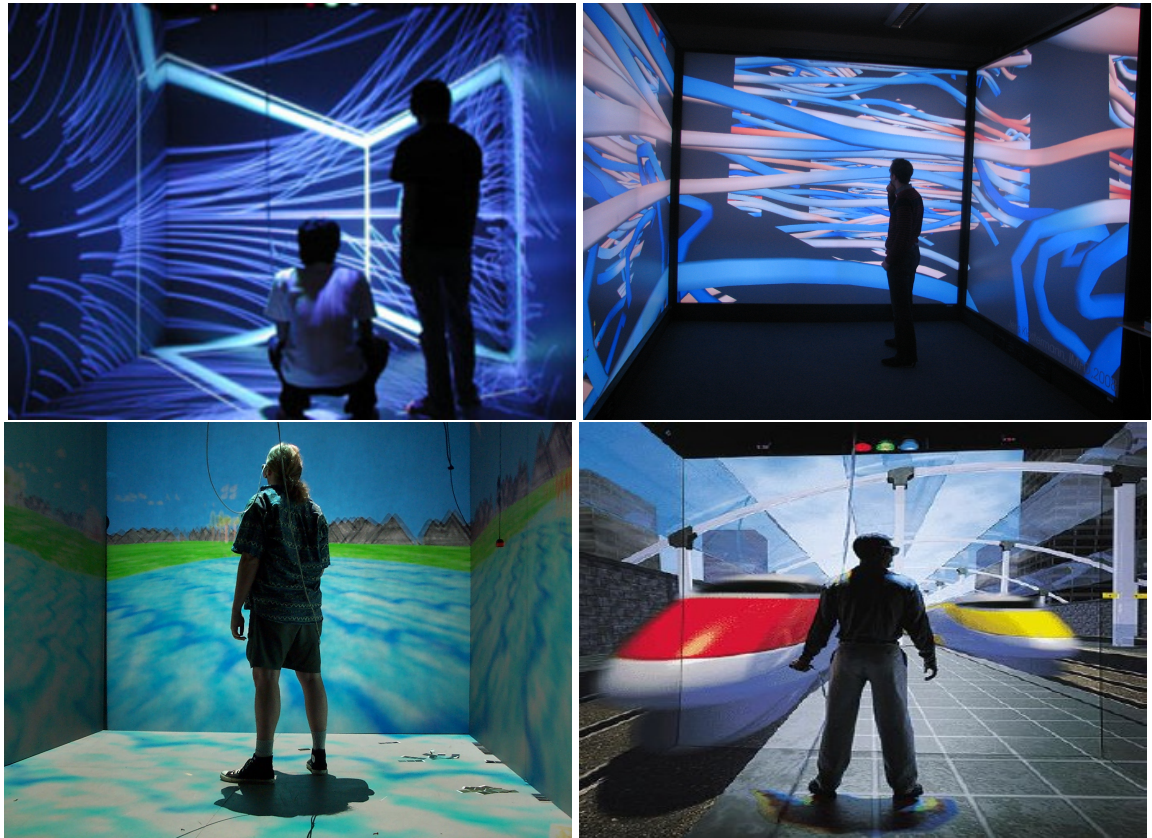


Figura 2.14: *Cavernas virtuais* ou 'Caves' para projeções em RV. Fonte: [El-Wageeh 2011].

Dispositivos de Movimentação

Na busca de adicionar capacidades sensoriais e ampliar o fator imersivo, uma forma recente de relacionar percepções do mundo real com cenário de um AV é através de dispositivos para captação de direção e intensidade do movimento do usuário. São plataformas utilizadas junto a dispositivos de visualização, para captar os direção e intensidade de locomoção do usuário de forma que a sua movimentação no cenário virtual é refletida pelo que ele faz no mundo real. Na Figura 2.15, vemos um exemplo desse dispositivo.



Figura 2.15: Dispositivos para captar movimentação do usuário.

Dispositivos de Visualização

A percepção mais importante para a aplicação dos conceitos de RV é através da visão. Muitas das demais opções de interação com aplicações virtuais estão de alguma forma aliadas ao método de visualização que representa papel principal nesse contexto. A visualização imersiva, que antes era explorada nas 'Caves' citadas, passaram ao longo do tempo para dispositivos usáveis cada vez mais aprimorados. Em geral, são tratados analogamente como óculos, podendo contar com auxílio de fones de ouvido para imersão por áudio e controles ou joysticks para interação com o cenário. Há duas abordagens para esse tipo de dispositivo que leva em conta a tecnologia utilizada para aplicar a RV.

Na primeira abordagem, vista na Figura 2.16, o processamento e renderização do cenário é realizado pelo próprio dispositivo, que conta com capacidade computacional apropriada para esse tipo de aplicação, além do aparato para visualização imersiva.



Figura 2.16: Dispositivos de visualização com processamento próprio: Playstation VR (Esq.) e Oculus Rift (Dir.).

A segunda abordagem acontece a partir do avanço na tecnologia móvel aplicada a smartphones, que passam a contar com sensores, funcionalidades, recursos e, principalmente, com capacidade computacional suficiente para rodar aplicações envolvendo conceitos de RV. Desta forma, seria uma alternativa para visualização em RV, onde o processamento é realizado todo através de um celular e o dispositivo em si abriga o aparelho para proporcionar as funções físicas necessárias para a imersão, como lentes de aumento e isolamento da visão. O Google Cardboard⁶ e o Samsung Gear VR⁷ são exemplos dessa abordagem podem ser vistos na Figura 2.17.

⁶<https://vr.google.com/cardboard/>

⁷<http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>



Figura 2.17: Dispositivos de visualização com processamento pelo smartphone: Google Cardboard (Esq.) e Samsung Gear VR(Dir.).

No experimento realizado nesta pesquisa, foi utilizado um smartphone acoplado a um dispositivo para visualização imersiva semelhante ao Samsung Gear VR visto na Figura 2.17, porém de menor custo. No entanto, o efeito de imersão alcançado foi suficiente para proporcionar a experiência imersiva desejada. Detalhes sobre a elaboração e realização do experimento serão discutidas em seções mais adiante no trabalho.

2.4.3 Benefícios da Realidade Virtual na Educação

As percepções de experiências envolvendo RV tendem a ser atrativas pela imersão proporcionada dentro de um Ambiente Virtual. Aliando essa capacidade a alguns conceitos como interação e métodos que auxiliem na interpretação de conteúdos visuais, pode-se enxergar um potencial relevante na utilização deste pacote como ferramenta educacional. Neste sentido, pesquisas são realizadas e soluções são propostas para avaliar os benefícios que esses conceitos podem ter dentro de uma abordagem de ensino-aprendizagem.

Em [Hussein e Nätterdal 2015] observa-se uma pesquisa dedicada especificamente a investigar os benefícios relacionados ao uso de RV para educação. Os autores partem de definições como "RV é uma tecnologia que convence o participante de que ele ou ela está realmente em outro lugar, substituindo a sua entrada sensorial primária por dados recebidos através de processamento feito por um computador", dadas por [Heim 2000] e [Yoh 2001], para projetar a possibilidade de utilizar dados de qualquer área como entrada nesse contexto.

Entre as etapas de avaliação do trabalho, foram feitas comparações entre o uso com RV e o uso com métodos convencionais, envolvendo abordagens sobre a usabilidade e as impressões dos usuários em relação aos conceitos apresentados. Os resultados apontaram, de forma geral, para aceitação dos dois métodos de visualização, porém sempre com vantagem para RV. Os autores tiraram conclusões da pesquisa relacionadas às características importantes da RV.

O maior benefício detectado consiste na experiência imersiva, onde o usuário pode fazer parte do mundo virtual, proporcionando uma sensação de exploração e envolvimento no ambiente. Além disso, a RV é uma experiência ativa, onde o usuário está totalmente envolvido e concentrado no AV e, conseqüentemente, isolado do mundo real. Seguindo adiante, os autores analisaram as áreas onde RV poderia ser aplicada de forma eficiente, concluindo que aqueles que requerem simulação ou representações visuais em 3D podem se beneficiar dos conceitos imersivos. É o caso da *Arquitetura e Design*, que acaba por incentivar os usuários a serem criativos. Ou até mesmo da *História e Geografia* que podem ter a capacidade de reviver eventos históricos ou de explorar lugares do mundo em um ambiente virtual 3D, respectivamente.

Por fim, os autores afirmam que, com o barateamento das tecnologias que possibilitam maior acessibilidade, a RV é uma ferramenta necessária na educação em um futuro próximo. Isso é observado pela maneira única de fornecer informações com experiência imersiva, sendo algo que não pode ser reproduzido em outros tipos de ferramentas usadas na educação hoje. Quando aplicada ao contexto correto, a RV pode oferecer uma grande ajuda tanto para educadores como para estudantes.

Em relação ao escopo abordado neste trabalho, seguindo os resultados e conclusões apresentados em [Ladstädter et al. 2010] e em [Ziegeler et al. 2001], além da análise e comentários apresentados por [Hussein e Nätterdal 2015], foi possível concluir que conceitos imersivos, aliados a métodos de interação, técnicas de visualização e outros conceitos que auxiliem na interpretação de dados visuais, possuem grande potencial para aprimorar as metodologias de ensino-aprendizagem na área da meteorologia, onde a Visualização Científica tem grande importância através de informações visuais e exploração de conceitos tridimensionais para representação de dados.

Capítulo 3

Mapeamento Sistemático sobre Representação Climática

Este capítulo corresponde a uma etapa exploratória relacionada ao desenvolvimento do escopo desta pesquisa, onde foram buscadas publicações envolvidas com os conceitos e abordagens que se pretendia explorar. Para isso, foi elaborado um mapeamento sistemático de trabalhos associados a técnicas de visualização e métodos de representação no contexto meteorológico. O processo de desenvolvimento e os resultados obtidos pelo mapeamento serão apresentados nas seções a seguir. Além disso, serão abordados os principais trabalhos que demonstraram alguma relação relevante com a proposta deste.

3.1 Mapeamento Sistemático

De acordo [Kitchenham 2004], o mapeamento sistemático é um tipo de revisão sistemática, onde se realiza uma revisão mais ampla dos estudos primários, em busca de identificar quais evidências estão disponíveis, bem como identificar lacunas no conjunto dos estudos primários onde seja direcionado o foco de revisões sistemáticas futuras e identificar áreas onde mais estudos primários precisam ser conduzidos.

Em [Kitchenham, Budgen e Brereton 2011], também é afirmado que mapeamentos sistemáticos servem para identificar, avaliar e interpretar todos trabalhos disponíveis que sejam relevantes para uma questão de pesquisa. Este tipo de estudo possibilita reconhecer se alguma área possui publicação de resultados preliminares o suficiente para desenvolver uma

'*Revisão Sistemática de Literatura*', ou mesmo se alguma área apresenta alguma lacuna em uma abordagem específica.

Em [Petersen et al. 2008] o autor expressa que o estudo de mapeamento sistemático fornece uma visão geral de uma área de pesquisa, identificando a quantidade, os tipos de pesquisas realizadas, os resultados disponíveis, além da frequência de publicações ao longo do tempo para identificar tendências.

Com base nos conceitos apresentados, um mapeamento sistemático mostrou ser a forma mais adequada para alcançar as pretensões da etapa exploratória desta pesquisa. Este mapeamento representa um estágio complementar deste trabalho, sendo assim uma contribuição secundária que serviu de auxílio na definição do escopo da pesquisa. As subseções a seguir apresentam o procedimento e as etapas pelas quais foram realizadas a busca, seleção e revisão dos trabalhos considerados relevantes.

3.1.1 Metodologia Utilizada

No intuito de explorar as áreas de visualização e representação climática o mapeamento sistemático desenvolvido considerou exatamente essas abordagens. A metodologia utilizada para isso seguiu os mesmos padrões definidos na metodologia de uma *Revisão Sistemática de Literatura*, como forma de manter a formalidade nos procedimentos de busca, seleção e revisão dos trabalhos. Os objetivos na realização do mapeamento sistemático da maneira descrita eram obter maior conhecimento sobre as áreas, entender como elas relacionam-se entre si e identificar possíveis lacunas de abordagens que poderiam ser adicionadas ao escopo deste trabalho para serem melhor aprofundadas.

Ferramenta de Apoio

As etapas de planejamento, aperfeiçoamento e análise do mapeamento sistemático contaram com o auxílio da ferramenta *Parsifal*¹, que foi projetada para promover suporte para pesquisadores trabalharem de forma colaborativa através de funcionalidades que englobam a documentação de todo o processo, o agrupamento dos trabalhos encontrados, a seleção entre considerados relevantes e não-relevantes, além de possuir meios para avaliação qualitativa

¹<http://parsif.al/>

dos trabalhos e para extração dos resultados.

3.1.2 Definição do Protocolo

O ponto de partida do mapeamento consistiu na definição de um protocolo contendo todas as diretrizes que deveriam ser seguidas ao longo do processo, para manter um padrão nos métodos de avaliação e critérios de decisão da equipe. Neste sentido, foram determinados argumentos para delimitar o escopo a ser explorado, que serão abordados a seguir:

Delimitação do Problema

As pesquisas preliminares, anteriores ao mapeamento, realizadas na busca pela definição de escopo dentro da área de meteorologia levaram a alguns levantamentos que chamaram atenção. Como em [Nocke et al. 2008], onde os autores relatam e listam uma série de dificuldades no desenvolvimento de técnicas e métodos de representação, voltadas para públicos diversos no contexto climático, que sejam intuitivas e eficientes. Além de [MacEachren et al. 1999], onde os autores apontam para uma falta de exploração relacionada ao desenvolvimento de novas alternativas inovadoras para visualização e interação com informações climáticas.

Desta forma, identificou-se uma possível relação entre as técnicas de visualização climáticas e os métodos de representação aos quais são aplicadas que foi considerada uma questão interessante para aprofundamento, dando base para o problema a ser investigado.

Objetivos

Uma vez definido um problema a ser investigado, os objetivos da pesquisa voltaram-se à explorar na relação entre as áreas abordadas para entender a relação existente entre elas, além de identificar lacunas de abordagem, principalmente relacionadas à pouca utilização de alternativas não-convencionais para visualização e interação dentro do contexto meteorológico.

Questões de Pesquisa

Após a definição das áreas de abordagem inicial e dos objetivos pretendidos para o mapeamento, o próximo passo foi elaborar questões de pesquisa que serviriam como base no pro-

cesso de busca e refinamento dos trabalhos e ajudariam nas etapas de avaliação e produção de resultados. Foram elas:

- Quais são as técnicas de visualização comumente usadas na representação de dados climáticos?;
- Quais são os métodos de representação comumente usados na representação de dados climáticos?;

Palavras-Chave

As palavras-chave foram definidas a partir de pesquisas preliminares, através das quais eram encontrados trabalhos aplicando alguns termos específicos, além da adição de outras para tentar aprimorar o processo de busca, de acordo com as questões de pesquisa levantadas. Foram elas: "*Climate*", "*Data*", "*Event*", "*Visualization*", "*Technique*", "*Model*", "*Interaction*" e "*Device*".

Adiantando um dos critérios que seria utilizado para seleção dos trabalhos a serem aprofundados, as palavras foram definidas na língua inglesa para reduzir o total dos retornados inicialmente, como forma de poupar trabalho futuro.

Critérios para Exclusão/Inclusão

Para finalizar a concepção do protocolo com as definições que serviriam para guiar todo processo, além dos elementos especificando o escopo do mapeamento e o conteúdo que deveria ser buscado inicialmente, foi preciso criar critérios para possibilitar um processo sequencial de refinamento do volume inicial em volumes gradativamente menores, levando em consideração as questões de pesquisa e os objetivos definidos, para tentar garantir a relevância dos trabalhos resultantes. Em Tabela 3.1 são apresentados os critérios de inclusão, enquanto em Tabela 3.2 são apresentados os de exclusão.

Tabela 3.1: Critérios de inclusão utilizados.

	Critérios de Inclusão
1	Trabalhos que abordam alguma técnica de visualização para dados climáticos.
2	Trabalhos que abordam algum método de representação para dados climáticos.
3	Trabalhos publicados a partir do ano 2000.

Tabela 3.2: Critérios de exclusão utilizados.

	Critérios de Exclusão
1	Trabalhos duplicados.
2	Trabalhos escritos em língua não-inglesa.
3	Trabalhos sem acesso a sua versão completa.
4	Trabalhos com abordagem fora do contexto das questões de pesquisa.

A partir desses elementos que compuseram o protocolo, foi possível realizar os processos de busca, seguidos por alguns refinamentos a fim de selecionar apenas trabalhos relevantes com a temática proposta. Serão apresentados nas seções seguintes alguns resultados obtidos após esse processo de filtragem.

3.1.3 Resultados Quantitativos

Os resultados quantitativos obtidos após a aplicação do protocolo dizem respeito ao número de trabalhos que puderam ser selecionados ao longo das etapas de refinamento. Além disso, as publicações que se mantiveram após a aplicação de todos os critérios de seleção puderam ser catalogados em relação ao conteúdo abordado, sempre levando em conta as questões de pesquisa apresentadas.

Engenhos de Busca

Todo esse processo de busca derivado da aplicação do protocolo foi realizado através de engenhos de busca que possuem um depósito de publicações relacionadas a inúmeras confe-

rências e inúmeras áreas de abordagem. As palavras-chave definidas são, então, unidas em forma do chamado '*String de Busca*', que é aplicado de acordo com a sintaxe de cada engenho, retornando o primeiro volume de dados do mapeamento, ainda sem os processos de refinamento. Para esse mapeamento em específico, foram definidos como fonte de consulta os seguintes engenhos de busca **IEEE Xplore**², **Scopus**³ e **ScienceDirect**⁴.

Processo de Refinamento

O resultado do processo de refinamento pode ser visto em Tabela 3.3, contendo o número de trabalhos que foi retornado em cada engenho após cada etapa de refinamento, incluindo o número total de trabalhos que foram selecionados ao fim do mapeamento.

Tabela 3.3: Resultados após cada etapa de refinamento pelos critérios.

	Resultados Iniciais	Após Critérios de Inclusão	Após Critérios de Exclusão
IEEE Xplore	186	55	19
Scopus	392	52	19
ScienceDirect	47	16	3
Total	625	123	41

Após a definição do número total final de trabalhos, as análises passaram a ser realizadas quanto ao conteúdo abordado por eles. Desta forma, puderam ser catalogados alguns elementos relacionados às questões de pesquisa definidas no protocolo do mapeamento.

Técnicas de Visualização

Em relação à primeira questão de pesquisa, os trabalhos foram analisados investigando a utilização de técnicas de visualização de dados climáticos. Como resposta, foram catalogadas em Tabela 3.4 todas as técnicas encontradas. Além disso, em Figura 3.1, pode ser visto

²ieeexplore.ieee.org/

³www.scopus.com/

⁴www.sciencedirect.com/

o número de trabalhos que aborda cada técnica. O elemento '*Nenhum*' está associado a trabalhos que respondem apenas a outra questão de pesquisa.

Tabela 3.4: Técnicas de Visualização de Dados Climáticos.

	Técnica de Visualização
1	Mapeamento por Cor
2	Glifos
3	Gráficos
4	Histogramas
5	Height Mapping
6	Isolinhas
7	Scatterplots
8	Stremlines
9	Renderização de Volume

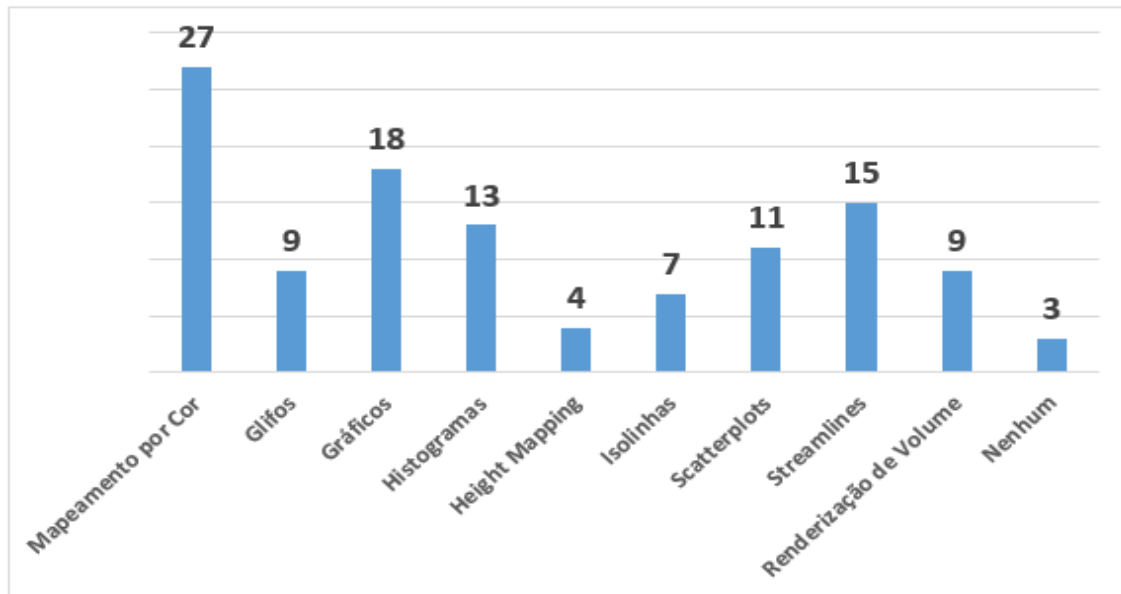


Figura 3.1: Número de trabalhos abordando cada técnica de visualização.

As técnicas de visualização encontradas estão representadas seguindo uma mesma ordem em Tabela 3.4 e em Figura 3.1 para facilitar o entendimento. Investigando brevemente o significado de cada técnica, temos que: (1) **Mapeamento por Cor**, que diferencia regiões ou níveis de intensidade de algum evento através de cores distintas; (2) **Glifos**, que utiliza ícones em locais específicos para representar algum valor ou evento; (3) **Gráficos**, que representam valores referentes a duas ou mais variáveis através de uma curva em um plano cartesiano; (4) **Histogramas**, que mostram a distribuição de dados numéricos em relação a algum evento; (5) **Height Mapping**, que ilustra valores através de elevações em 3D na superfície de uma região; (6) **Isolinhas**, que utiliza contornos na superfície de uma região para delimitar diferentes níveis de algum fenômeno; (7) **Scatterplots**, que apresentam dados através de coleções de pontos dispostas em um plano cartesiano ou em mapas; (8) **Streamlines**, que utiliza linhas de fluxo direcionais em um mapa para representar a orientação de algum fenômeno; (9) **Renderização de Volume**, que ilustra um mapa com valores de algum fenômeno através de um campo escalar 3D.

Métodos de Representação

Em relação à segunda questão de pesquisa, os trabalhos foram analisados investigando a utilização de métodos de representação de dados climáticos. Como resposta, foram catalogadas

em Tabela 3.5 todos os métodos encontrados. Além disso, em Figura 3.2, pode ser visto o número de trabalhos que aborda cada método.

Tabela 3.5: Métodos de Representação de Dados Climáticos.

	Métodos de Representação
1	2D
2	3D
3	Interação
4	Realidade Virtual
5	Realidade Aumentada

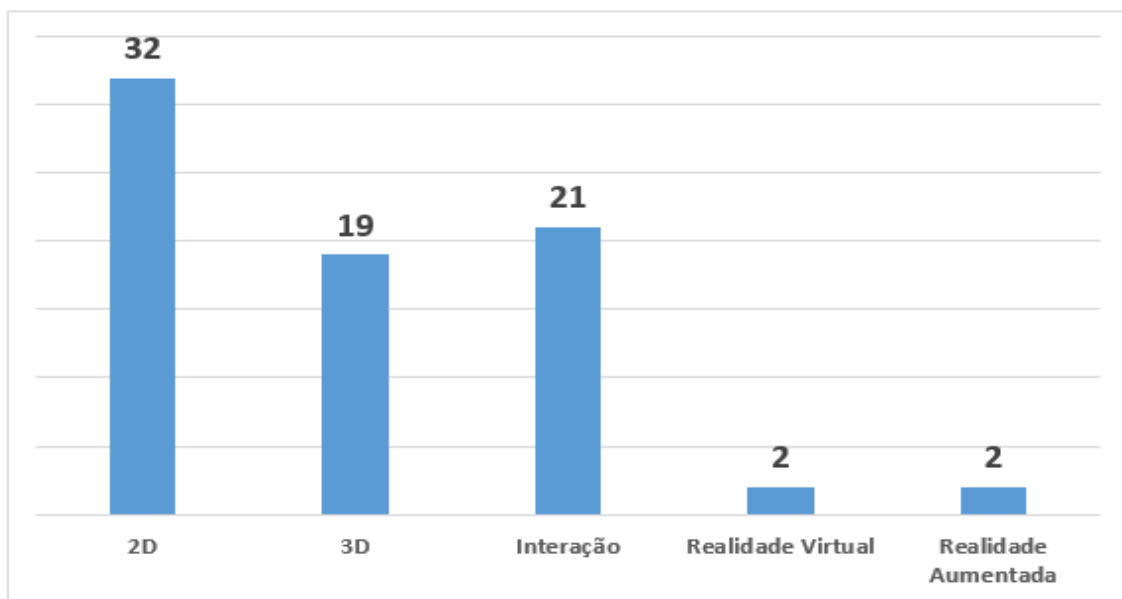


Figura 3.2: Número de trabalhos abordando cada método de representação.

Os métodos de representação encontrados estão representados seguindo uma mesma ordem em Tabela 3.5 e Imagem 3.2 para facilitar o entendimento. Investigando brevemente o significado de cada método, temos que: (1) **2D**, apresenta formas convencionais para representações bidimensional dos dados climáticos; (2) **3D**, apresenta formas também convencionais para representações tridimensionais dos dados climáticos; (3) **Interação**, englobando

todos os meios, ferramentas e dispositivos que possibilitam ao usuário interagir com os dados climáticos; (4) **Realidade Virtual**, onde uma representação virtual é simulada em **ambiente virtual** através de dispositivos apropriados; (5) **Realidade Aumentada (RA)**, onde uma representação virtual é simulada no **ambiente real** através de dispositivos apropriados.

Relação entre as Abordagens

A partir dos resultados quantitativos obtidos em relação a cada questão de pesquisa proposta, foi possível realizar uma análise mais aprofundada dessas áreas voltada a entender como elas se relacionam. A intenção para essa etapa da análise seria identificar quais métodos de representação climática são utilizados para representar cada uma das técnicas técnicas de visualização climática, e vice versa. O resultado dessa análise está representado no gráfico da Figura 3.3 gerado através da ferramenta **Plotly**⁵, onde os valores quantitativos podem se sobrepor para ilustrar as relações.

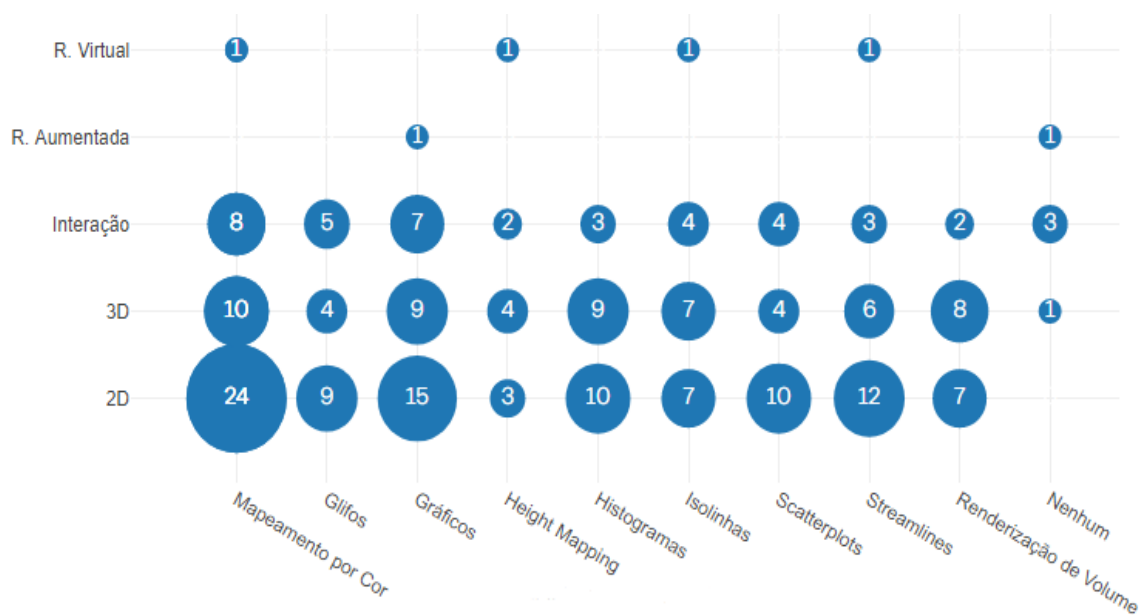


Figura 3.3: Gráfico de Bolha representando a relação entre Métodos de Representação (Vertical) com Técnicas de Visualização (Horizontal). Fonte: **Plotly**.

A elaboração do gráfico presente em Figura 3.3 ajuda a entender como as duas áreas abordadas se relacionam entre si, com uma distribuição de métodos de representação que

⁵<https://plot.ly/>

segue um certo padrão para quase todas as técnicas de visualização. Os elementos considerados em **Interação** englobavam ferramentas, jogos e dispositivos com algum meio de interagir com dados climáticos. As abordagens convencionais em **2D** e **3D** correspondem a uma parcela considerável de representação das informações para a maioria das técnicas. Ainda que alguns casos tenham técnicas sobrepostas em uma mesma representação convencional, o que acaba evidenciando essa diferença, esse número de situações não tem uma frequência que modifique de forma significativa a disparidade visível através do gráfico em relação aos métodos não-convencionais **RA** e **RV**.

3.1.4 Discussão

De uma maneira geral, é possível afirmar que os resultados alcançados através do mapeamento conseguiram responder as questões de pesquisa levantadas, através dos catálogos de técnicas e métodos apresentados. No entanto, considerando o escopo e as pretensões na abordagem desta dissertação, o resultado de maior relevância produzida pelo mapeamento está na relação entre as áreas estudadas.

Ficaram evidentes no gráfico da Figura 3.3 a existência de algumas lacunas na abordagem de métodos não-convencionais de representação para serem utilizados no contexto climático. Foram encontradas poucas abordagens de RA e RV com propósito voltado à visualização climática, apesar da capacidade de imersão que ambas promovem. Desta forma, a identificação desse tipo de disparidade entre as abordagens serviu como motivação para que essa pesquisa seguisse um rumo voltado a explorá-las dentro do âmbito da meteorologia, uma vez que estudos preliminares já apontavam para a necessidade de inovação na representação de informações climáticas e também propunham que a utilização de Ambientes Virtuais imersivos para exibir informações visuais traziam grandes benefícios para o entendimento e compreensão do que é representado.

Neste sentido, considerando acessibilidade, interesse pessoal e conhecimento prévio, foi escolhido o contexto de RV como área a ser explorada na abordagem de representação de dados climáticos. O escopo dessa pesquisa passou a também propor a busca e/ou desenvolvimento de uma solução computacional para proporcionar os conceitos de imersão presentes na RV num contexto meteorológico, a fim de investigar os benefícios gerados em relação ao entendimento da informação, além de avaliar o potencial de utilização como ferramenta para

ensino-aprendizagem na área.

3.2 Trabalhos Relacionados

A partir das análises realizadas durante as etapas de refinamento do mapeamento sistemático, puderam ser observados trabalhos que relacionavam as duas áreas estudadas de formas bem variadas. Após a identificação de lacunas na abordagem de meios não-convencionais de representação que eram aplicados a informações climáticas, foram considerados como novo '*critério de inclusão*' os trabalhos que podiam ser associados de alguma forma a métodos não-convencionais, envolvendo novas perspectivas de visualização desse tipo de dados. Os demais trabalhos, com abordagens apenas de métodos convencionais de representação, cairiam numa espécie de '*critério de exclusão*' para que a análise seguinte pudesse ter foco na utilização dos meios alternativos. A partir disso, foi realizado um novo processo de revisão, desta vez apenas nos 41 trabalhos resultantes do mapeamento, para descobrir quais entre eles abordavam de alguma forma conceitos em comum ao novo escopo desta dissertação.

Adotando essa nova ótica, considerando apenas os 41 trabalhos selecionados nas etapas anteriores de refinamento, foram filtrados 6 trabalhos com algum tipo de abordagem relacionada a proposta de representação das informações através de meios não-convencionais. Além destes, foi adicionado mais um trabalho de fora dos resultados desse mapeamento cuja abordagem foi considerada relevante para escopo desta dissertação. Esses trabalhos resultantes da nova revisão estão apontados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Trabalhos selecionados após novo refinamento.

	Trabalho	Ano	Abordagem
1	[Brainerd e Pang]	2001	Projeções Cartográficas
2	[Liestol, Morrison e Stenarson]	2014	Realidade Aumentada
3	[Pettersson, Wesllén e Seipal]	2004	Realidade Aumentada
4	[Darley]	2017	Interfaces Tangíveis
5	[Wall]	2010	Interfaces Tangíveis
6	[Johansson, Neset e Linnér]	2010	Realidade Virtual
7	[Yannier et al.]	2008	Realidade Virtual

3.2.1 Conteúdo Abordado

Neste espaço serão apresentados os conceitos abordados pelos trabalhos filtrados após a nova revisão, além de uma breve descrição sobre cada um, no intuito de expor as ideias relacionadas aos métodos de representação apresentados e mostrar que existem perspectivas para se abordar esses conceitos como alternativa para auxiliar a visualização de informações.

Mudança entre Projeções

Em [Brainerd e Pang 2001], os autores introduzem métodos de visualizar projeções cartográficas, e suas respectivas distorções geradas, através de uma ferramenta interativa que permite ao usuário alterar a projeção apresentada e, desta forma, passar a ter uma nova perspectiva sobre a informação. A abordagem geral desse trabalho foi considerada pertinente ao novo escopo, pois propõe a mudança de perspectiva sobre a visualização de uma informação virtual com intuito educativo, ou seja, transmitir ao usuário as diferentes características de cada tipo de projeção representado e mostrar de forma aplicada o efeito disso. Em Figura 3.4 pode ser visto o ambiente da ferramenta utilizada.

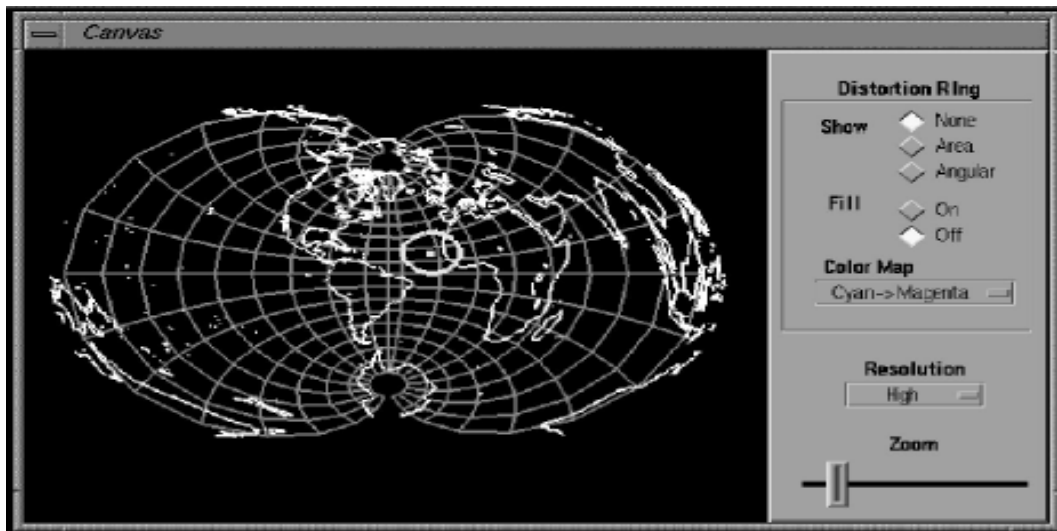


Figura 3.4: Ferramenta interativa para representação de projeções cartográficas. Fonte: [Brainerd e Pang 2001].

Ao identificar esse conceito, decidiu-se por avaliar também a troca entre projeções cartográficas como uma das funcionalidades a serem avaliadas no experimento que seria elaborado para este trabalho, detalhes serão descritos em seções mais adiante.

Interfaces Tangíveis

O trabalho de [Darley 2017] não foi resultado do mapeamento sistemático, mas foi incluído na análise por representar uma abordagem semelhante ao conteúdo desta dissertação, envolvendo uma interface tangível com propósitos didáticos. A pesquisa aborda a representação de mapas topográficos através de uma interface tangível chamada AR Sandbox ⁶, um aparato composto por uma caixa de areia com um dispositivo Microsoft Kinect ⁷ acoplado.

As informações projetadas são modificadas mediante interação do usuário, que consegue alterar em tempo-real a representação de relevo no ambiente da caixa, através da manipulação da areia lá disposta, além disso consegue posicionar as mãos de uma maneira específica para gerar uma simulação de chuva e observar o escoamento da água no terreno que foi modelado. Trata-se de uma ferramenta didática para introduzir conceitos topográficos de maneira interativa, conectando o usuário à informação de forma mais direta. O trabalho em

⁶<https://arsandbox.ucdavis.edu/>

⁷<http://www.xbox.com/en-US/xbox-one/accessories/kinect>

questão também realiza uma avaliação com usuários para compreender quais fatores afetam a relação entre *interação* e *entendimento* das representações na interface tangível aplicada, com objetivo de propor diretrizes voltadas ao desenvolvimento de interfaces com propósito semelhante. Em Figura 3.5 é possível observar a ferramenta em uso.

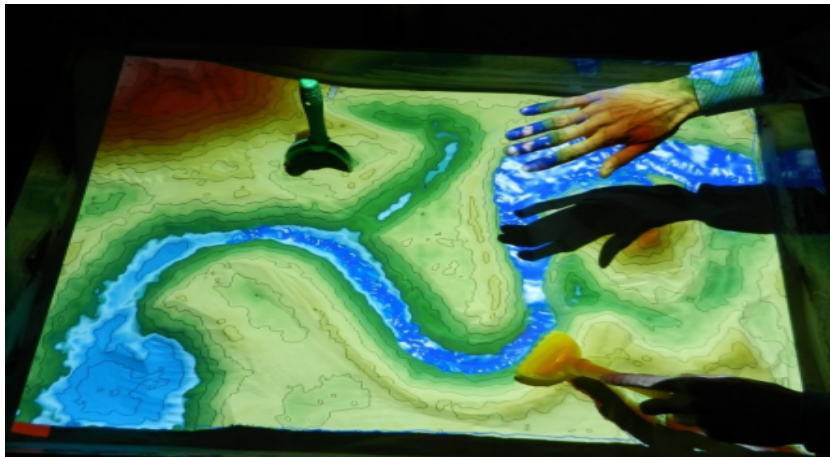


Figura 3.5: Representação topográfica através da AR Sandbox. Fonte: [Darley 2017].

Em [Wall 2010], é proposta uma alternativa de interação através de interfaces tangíveis para dar experiência aos usuários sobre mudanças climáticas. A ideia é aproximar o público de conceitos meteorológicos sobre alguns aspectos importantes na mudança climática que devem ser passados adiante. A utilização de interfaces tangíveis proporciona essa aproximação, aumentando o potencial de compreensão de usuários em relação às informações passadas. São propostos cenários futuros para a contínua emissão de CO₂ no ambiente e o usuário é capaz de visualizar as consequências de uma situação do tipo, sendo desta forma educado sobre o assunto. Em Figura 3.6 é possível ver o material que compõe essa interface tangível sendo utilizado por usuários.



Figura 3.6: Interfaces tangíveis sendo aplicadas à visualização de cenários climáticos. Fonte: [Wall 2010].

Realidade Aumentada

Em [Liestøl, Morrison e Stenarson 2014], os autores descrevem e demonstram uma alternativa de observar informações sobre mudança climática em smartphones através da aplicação de conceitos da RA. A ideia seria acessar conjuntos de dados sobre vegetação e sobre o terreno de uma região específica, que viria a ser onde o usuário está, então este posiciona o celular rodando a aplicação para determinado local e através da câmera do aparelho seria representadas no ambiente as mudanças na vegetação e no terreno sofridas durante algum período de tempo. Em Figura 3.7 é possível ver um protótipo sendo testado.



Figura 3.7: Ferramenta interativa para visualização com RA em ambiente aberto. Fonte: [Liestøl, Morrison e Stenarson 2014].

Já em [Pettersson, Wesslén e Seipel 2004], a proposta trazida pelos autores relaciona-se à representação interativa, através de RA, de informações invisíveis ao olho humano em um ambiente fechado. O protótipo apresentado utiliza sensores para captar variações de temperatura em um local e representar visualmente essa mudança projetada no ambiente real, tendo possibilidade de interação com o cenário para obter informações sobre a variação detectada. Em figura 3.8 vemos o protótipo sendo utilizado.

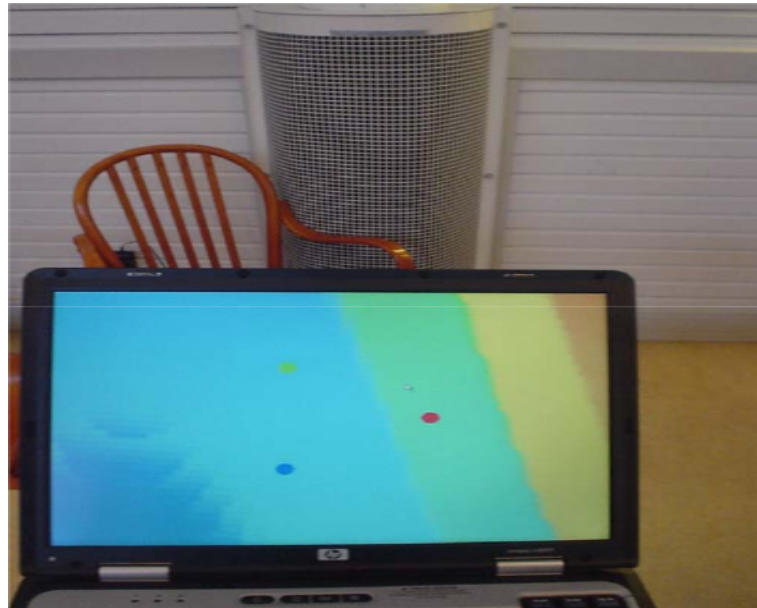


Figura 3.8: Ferramenta interativa para visualização com RA em ambiente fechado. Fonte: [Pettersson, Wesslén e Seipel 2004].

Essas aplicações demonstram a busca por alternativas dentro da área de RA que devem ser estimuladas, pois é possível adicionar conteúdo relevante na visualização de informações através desses conceitos. O foco poderia ser em representações de mudanças climáticas de uma região ou sobre efeitos climáticos em um ambiente menor.

Realidade Virtual

Em [Johansson, Neset e Linnér 2010], os autores atentam para o fato de que a visualização e comunicação de informações relacionadas ao contexto climático vem tendo uma demanda que cada vez mais chega a extrapolar os métodos convencionais (2D e 3D) de representação. A partir dessa constatação foi proposta uma avaliação sobre os meios disponíveis e potenciais

de visualização climática que abordem conceitos capazes de aliar-se à Visualização Científica para aprimorar a capacidade dos usuários em compreender informações sobre mudança no clima. Uma das avaliações elaboradas é realizada através da visualização de informações climáticas dentro de um como inflável, semelhante às 'Caves' virtuais mais difundidas, para avaliar o valor da imersão nesse tipo de representação. O fator imersivo presente nesse tipo de alternativa é um dos principais focos de abordar melhora no entendimento de informações. Em Figura 3.9 é possível ver o aparato utilizado nessa avaliação.



Figura 3.9: Domo inflável para exibição de informações climáticas em ambiente imersivo. Fonte: [Johansson, Neset e Linnér 2010].

Em [Yannier et al. 2008], os autores propuseram uma investigação sobre a utilização de sensores hápticos como forma de aprimorar a visualização de dados climáticos. A argumentação utilizada para fomentar as proposições do estudo foram sobre a utilização de elementos visuais distintos para representar dimensões como temperatura, ventos, chuva, umidade relativa, etc. Segundo os autores, a variação exagerada de conceitos para serem representados de forma distinta acaba limitando as capacidades de representação eficiente, por isso propuseram a utilização de outro tipo de percepção para identificar determinados eventos climáticos e identificar o que representam.

Foi utilizado um dispositivo háptico aliado a uma solução com representações particulares dispostas no terreno virtual da aplicação, o usuário então interagia com o aparato intera-

tivo e tinha a sensação de variação háptica dentro do cenário. Em Figura 3.10 está ilustrada uma representação do funcionamento dessa alternativa.

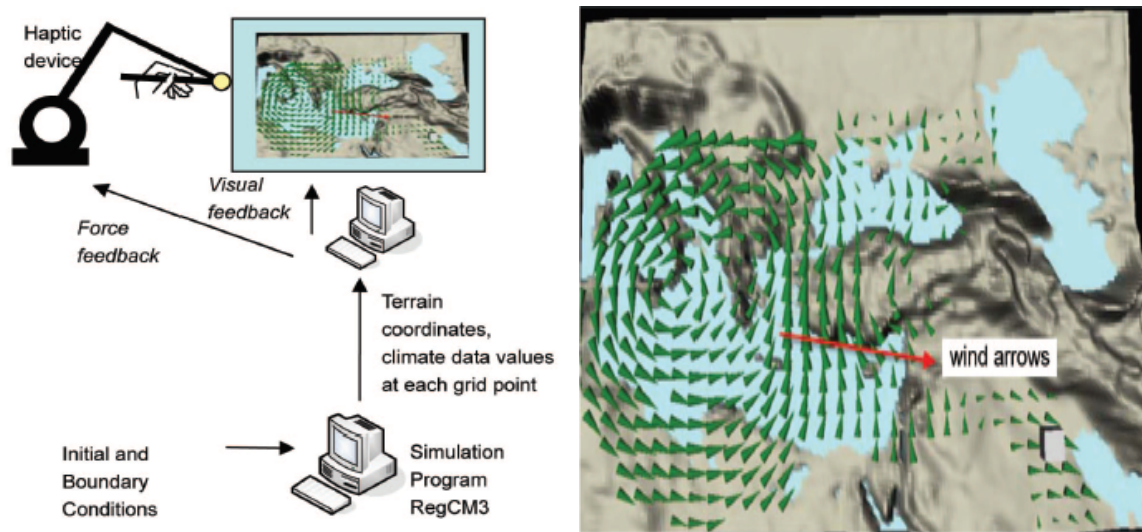


Figura 3.10: Proposição de dispositivo háptico para exploração de cenário com informações climáticas. Fonte: [Yannier et al. 2008].

3.2.2 Comparativo entre as Abordagens

Os trabalhos apresentados foram selecionados em cima de um conjunto pré-definido pelos processos de refinamento anteriores do mapeamento sistemático. Na medida que um dos resultados considerados relevantes do mapeamento consistiu na identificação de lacunas na abordagem desse tipo de alternativa, a ideia foi analisar as pesquisas encontradas com algum grau de relação ao escopo atualizado dessa dissertação, envolvendo abordagens não-convencionais para representação de dados meteorológicos, para descobrir se alguma dessas pesquisas já havia obtido resultados relevantes que indicassem caminhos a seguir, ou tivessem bons conceitos a serem explorados.

No intuito de aproximar as abordagens apresentadas com o escopo desta dissertação, foi montada a Tabela 3.7 com uma comparação entre os aspectos que fazem parte da pesquisa em cada caso, levando em consideração a presença de *ambiente imersivo*, a utilização de *métodos interativos*, abordagem sobre *perspectivas distintas* dentro do mesmo trabalho, o *desenvolvimento* de uma ferramenta própria e, por fim, a realização de uma *avaliação com usuários* especializados, a fim de constatar a relevância e compreender o alcance da aborda-

gem que propuseram. A última linha da tabela corresponde ao presente trabalho.

Tabela 3.7: Comparação entre as Abordagens.

	Ambiente Imersivo	Métodos Interativos	Perspectivas Distintas	Desenvolvimento	Avaliação Usuários
[Brainerd e Pang, 2001]		X	X	X	
[Liestol, Morrison e Stenarson, 2014]		X		X	
[Pettersson, Westlén e Seipal, 2004]		X		X	
[Darley, 2017]	X	X			X
[Wall, 2010]		X			X
[Johansson, Neset e Linnér, 2010]	X		X		X
[Yannier et al. 2008]		X		X	X
[Fernandes, 2017]	X	X	X	X	X

Capítulo 4

Avaliação Experimental

Neste capítulo são apresentados todos os pontos relacionados ao experimento realizado, passando pela identificação de um público-alvo interessante para os propósitos da avaliação, os materiais, cenários e métodos utilizados para isso, além de uma discussão sobre os resultados obtidos e observações sobre o comportamento dos participantes durante os testes.

4.1 Definição do Público-Alvo

A definição do público-alvo compreendeu as necessidades de avaliação deste trabalho, desta forma foi escolhida uma audiência especializada com familiaridade aos dados meteorológicos abordados no cenário de testes, para que pudessem ser fornecidas opiniões de maior relevância através da avaliação, uma vez que, entendendo previamente as informações representadas, o foco poderia ser nos conceitos imersivos e nos métodos interativos propostos. Além disso, por ter boa compreensão sobre a função das representações climáticas e sobre a importância no método de visualização utilizado, um público especializado poderia notar aspectos subjetivos, positivos e negativos, relacionados a todos esses recursos e fornecer uma visão técnica sobre a utilização desse tipo de tecnologia como ferramenta de aprendizado.

Desta forma, o experimento foi realizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e contou com a presença de 10 voluntários da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), sendo três professores e os demais pesquisadores cursando pós-graduação, que teriam total capacidade de avaliar a aplicação desses novos conceitos em seu contexto de pesquisa.

4.2 Métodos

No intuito de explorar as possibilidades em utilizar perspectivas imersivas aliadas à Visualização Científica presente na meteorologia, este trabalho elaborou um método de avaliação baseando-se em uma Experiência do Usuário, do inglês *User Experience* (UX).

De acordo com a **ISO 9241-210**¹ apresenta uma definição de UX como "as percepções e reações de uma pessoa que resultam do uso ou utilização prevista de um produto, sistema ou serviço". De acordo com essa definição, a Experiência do Usuário inclui todas as emoções, crenças, preferências, percepções, respostas físicas e psicológicas, comportamentos e realizações do usuário que ocorreram antes, durante e após o uso. Além disso a definição também destaca três fatores que influenciam uma UX: **Sistema**, **Usuário** e o **Contexto de Uso**.

De acordo com [Montero e Fernández 2005], uma boa Experiência de Usuário acontece quando sensações agradáveis, positivas e satisfatórias ocorrem utilizando um sistema, de forma a conquistar a fidelidade dos usuários. Essas sensações vivenciadas podem refletir as impressões reais de participantes em experimentos, o que torna as avaliações dessas experiências uma alternativa interessante para absorver opiniões positivas e negativas e entender a validade de uma determinada pesquisa, produto ou sistema.

Com base nessas abordagens, o método de avaliação seguido por este trabalho passou por um experimento prático no qual usuários especializados utilizaram uma aplicação para visualizar informações meteorológicas, seguido da aplicação de questionários para captar as percepções e considerações dos participantes em relação a experiência vivenciada no experimento. As próximas seções trazem um maior detalhamento quanto aos materiais utilizados, a aplicação desenvolvida para servir de cenário no experimento, os resultados obtidos pelos questionários aplicados e uma discussão sobre a análise desses resultados.

4.2.1 Experimento

O experimento teve como princípio submeter um grupo de voluntários à utilização de conceitos imersivos da Realidade Virtual para auxiliar os métodos de Visualização Científica contemplados na área de meteorologia, a fim de investigar o potencial em aplicar tais con-

¹<https://www.iso.org/standard/52075.html>

ceitos para aprimorar o entendimento dessas informações.

A ideia foi expor profissionais e pesquisadores dessa área a uma abordagem prática de meios não-convencionais de visualização e interação com dados climáticos e, em seguida, obter as percepções sobre tal experiência através do seu ponto de vista técnico com intuito de avaliar se são conceitos plausíveis para o desenvolvimento de uma plataforma com essas características voltada ao ensino dentro desse contexto. O fluxograma presente na Figura 4.1 demonstra as etapas do experimento.

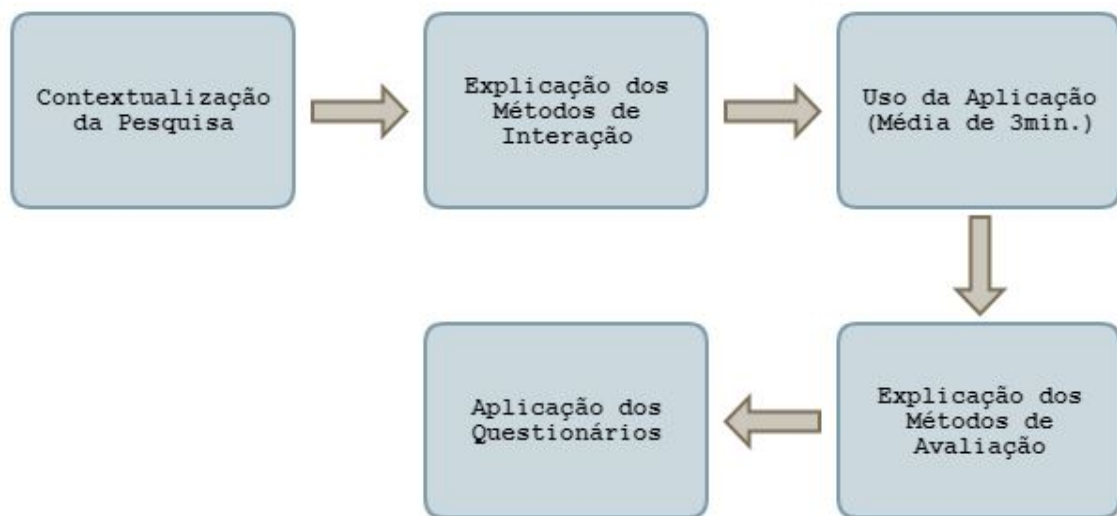


Figura 4.1: Fluxograma representando as etapas do experimento.

4.3 Materiais

Durante as pesquisas preliminares que serviram para definir o escopo deste trabalho, foi realizado um mapeamento sistemático, abordado em seções anteriores, envolvendo técnicas de visualização e métodos de representação para o contexto meteorológico através do qual, pelos resultados obtidos, foi possível identificar algumas lacunas na abordagem de métodos não-convencionais de representação para esse tipo de dados. Uma dessas lacunas corresponde à utilização de Realidade Virtual para representar esse tipo de informação.

A partir dessa constatação, essa relação aliada às limitações e desafios identificados no processo de Visualização Científica de dados climáticos, principalmente no que diz respeito ao entendimento dos usuários, foram consideradas como áreas interessante para serem exploradas na pesquisa. Após a definição de escopo para o trabalho, foi necessário encontrar uma

ferramenta para ser utilizada no experimento e dispositivos que permitissem algum nível de interação ao usuário, além de definir instrumentos para avaliar essa experiência.

4.3.1 Dispositivos e Plataformas Utilizadas

Durante a busca por ferramentas que utilizasse conceitos de Realidade Virtual para promover a visualização de informações climáticas em um ambiente imersivo, chegou-se à plataforma YouTube² que desde 2015 possibilita a visualização de vídeos imersivos, com 360° de amplitude, além de conter materiais voltados ao conteúdo meteorológico com representações climáticas relacionadas ao escopo da pesquisa.

No entanto, essa alternativa estava limitada a utilizar vídeos já carregados na plataforma, com conteúdo correspondente ao tema avaliado e, principalmente, com a função de visualização em 360° habilitada. Essas restrições estavam presentes de forma conjunta em poucos vídeos, de maneira que o material para realizar a pesquisa ficaria muito escasso. Projetando novas limitações em outras plataformas semelhantes, a solução encontrada foi desenvolver uma ferramenta que pudesse atender a uma maior demanda de material, além de reunir todas as demais características necessárias para a avaliação proposta.

A plataforma de desenvolvimento utilizada foi o motor de jogos *Unity3D*³, em sua versão 5.6, que suporta nativamente todos os recursos necessários para o experimento imaginado. Algumas das funcionalidades utilizadas foram: Construção de cenários tridimensionais; Exibição de qualquer vídeo importado no formato (.mp4) na superfície de objetos 3D através do componente *VideoPlayer*; Configuração de meios de interação através de diversos dispositivos de entrada de dados; Integração ao sistema Android com suporte de Realidade Virtual para visualização estereoscópica do cenário.

Além dos recursos mencionados, foi preciso utilizar dispositivos para visualizar o ambiente imersivo e para possibilitar a interação do usuário. Foi utilizado um smartphone Samsung Galaxy S7, com a versão 7.0 Nougat do sistema Android, onde a solução foi rodada. Para alcançar as capacidades imersivas, foram utilizados óculos de Realidade Virtual em conjunto um Joystick com comunicação via Bluetooth para servir como dispositivo de entrada na aplicação. Esse aparato pode ser visto na Figura 4.2.

²<https://www.youtube.com/>

³<https://unity3d.com/pt/>



Figura 4.2: Dispositivos utilizados no experimento.

Uma vez definido onde desenvolver uma solução que abordasse os conceitos desejados e quais dispositivos utilizar para permitir que esses conceitos fossem experimentados na prática, uma aplicação foi projetada para promover a visualização de informações climáticas em um ambiente virtual imersivo criado para este propósito através dessa plataforma.

4.3.2 Aplicação para Visualização Imersiva

Os recursos fornecidos pela plataforma escolhida foram utilizados de forma conjunta para o desenvolvimento de uma solução que atendesse todos os conceitos pretendidos nessa pesquisa. A aplicação foi projetada através da criação de três cenários onde seriam exibidas as informações climáticas, objetos 3D posicionados para servir como superfície de exibição para os vídeos que contendo tais informações, posicionamento da câmera de maneira apropriada para aproveitar as características de cada cenário e uma legenda contendo informações sobre o evento climático que estivesse sendo representado.

Percepção Imersiva

A percepção imersiva do ambiente da aplicação foi produzida através do suporte à Realidade Virtual, recentemente incluído como recurso nativo na plataforma Unity3D, que aplica uma

visualização estereoscópica ao cenário explorado. Alguns artigos⁴ abordam estereoscopia como uma técnica usada para se obter informações do espaço tridimensional, através da análise de duas imagens obtidas em pontos diferentes. Esse efeito é alcançado ao dividir o todo o cenário em duas representações distintas, cada uma possuindo uma câmera isolada com valores para posição e rotação específicos para gerar pontos de vista diferente, emulando o estilo de percepção dos olhos humanos.

Para que isso tivesse efeito prático, fez-se necessária a utilização dos óculos RV, que isolam o usuário do ambiente externo e ampliam a visualização do cenário estereoscópico através de suas lentes binoculares de aumento, unificando as duas representações do cenário em uma só com características tridimensionais mais perceptíveis, como visto na Figura 4.3.

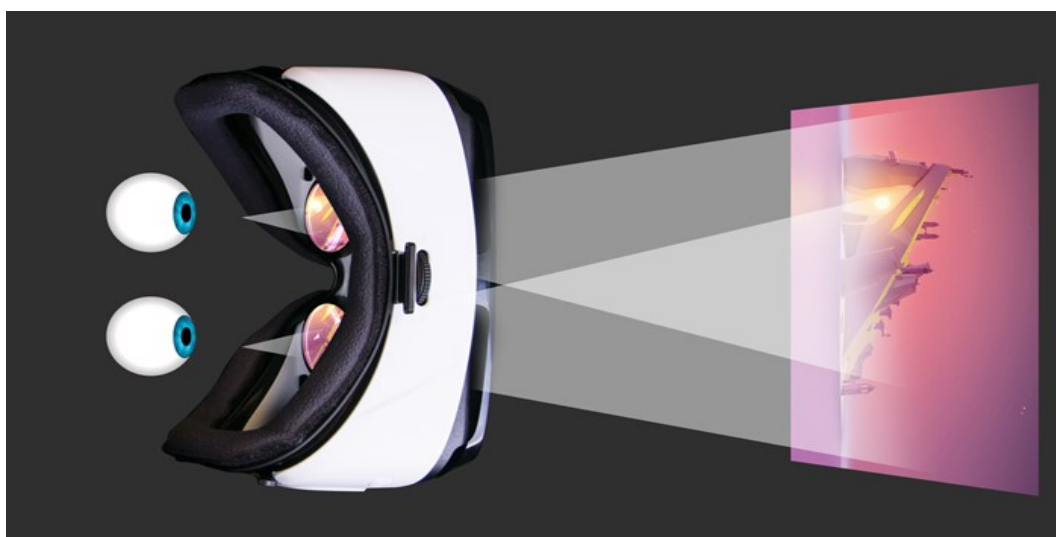


Figura 4.3: Efeito da visualização estereoscópica nos óculos RV.

Eventos Climáticos

O material utilizado na aplicação para representação dos eventos climáticos foi obtido através da ferramenta online *Earth Nullschool*⁵, que possui representações visuais para diversos eventos climáticos relacionados a movimentação de ventos, clima e condições do oceano. A maneira escolhida para integrar esse material à aplicação foi realizar a captura de imagens e vídeos de algumas representações climáticas na ferramenta, para poderem ser exibidos na superfície dos objetos apropriados em cada cenário. Além disso, foram capturados dados

⁴<http://www.ifi.unicamp.br/dfigueir/holosite/estereo/estereos.htm>

⁵<https://earth.nullschool.net/>

correspondentes a cinco dias distintos para representação, com o propósito de permitir ao usuário uma percepção sobre a mudança que determinado fenômeno meteorológico tenha sofrido ao longo desse intervalo do tempo, transmitindo a ideia de ter acesso ao histórico (dias anteriores) ou às previsões (dias seguintes) associadas àquele fenômeno.

Foram capturadas na ferramenta *Earth Nullschool*, em formato de imagem e vídeo para serem utilizadas como fontes de representação meteorológicas na aplicação, informações visuais relacionadas aos seguintes eventos climáticos:

1. Velocidade de Ventos na Superfície;
2. Temperatura na Superfície;
3. Umidade Relativa do Ar na Superfície;
4. Volume de Água Precipitável na Atmosfera;
5. Volume de Nuvens de Chuva na Atmosfera;
6. Pressão ao Nível do Mar;
7. Concentração de Dióxido de Carbono na Atmosfera;

De forma conjunta aos eventos climáticos, também eram representados no cenário virtual da aplicação objetos bidimensionais contendo informações sobre o fenômeno visualizado no momento. Esse recurso foi adicionado para servir como a legenda do que está sendo representado e eram posicionados de maneira estratégica para não interferir a visualização do observador. A representação de legenda era composta pelos seguintes elementos:

- Nome do fenômeno representado;
- Valores de referência correspondentes ao fenômeno representado;
- Unidade de medida associada aos valores;
- Dia/Mês/Ano correspondentes à data de captura das informações;
- Escala de Cores para referência visual das informações;

Todas representações visuais de eventos utilizadas, além de suas respectivas representações de legenda, estão ilustradas no Apêndice A deste trabalho.

Tipos de Projeções

No intuito de ampliar ainda mais a capacidade do usuário em explorar o ambiente imersivo da aplicação, foram definidas formas distintas de projeção cartográfica para representar os eventos climáticos disponíveis, todas com a mesma possibilidade de variar as informações meteorológicas visualizadas entre os fenômenos e o dia associado à representação observada.

As projeções utilizadas como alternativa de representação na aplicação são abordadas em [Brainerd e Pang 1998], [Brainerd e Pang 2001], [Snyder 1987] e [Snyder e Voxland 1989] como maneiras distintas de mudar a perspectiva sobre um mapa cartográfico. Considerando a imersão na qual os usuários estariam submetidos, imaginou-se que essa possibilidade aplicada às representações meteorológicas apresentadas poderia trazer acréscimo ao entendimento de fenômenos climáticos e, para investigar essa questão, decidiu-se por implementar tal recurso na aplicação. Fizeram parte do escopo da aplicação três formas de projeção distintas, que poderiam ser alteradas de acordo com a vontade do usuário.

A primeira forma de projeção utilizada foi a projeção *Equirectangular*, também conhecida por projeção cilíndrica equidistante, que projeta o mapa da Terra na superfície de um plano 2D, dando uma impressão de ampliação da visão bidimensional do mapa. Um exemplo dessa projeção sendo utilizada na aplicação pode ser visto na Figura 4.4, que mostra uma representação de pressão a nível do mar projetada bidimensionalmente no cenário.

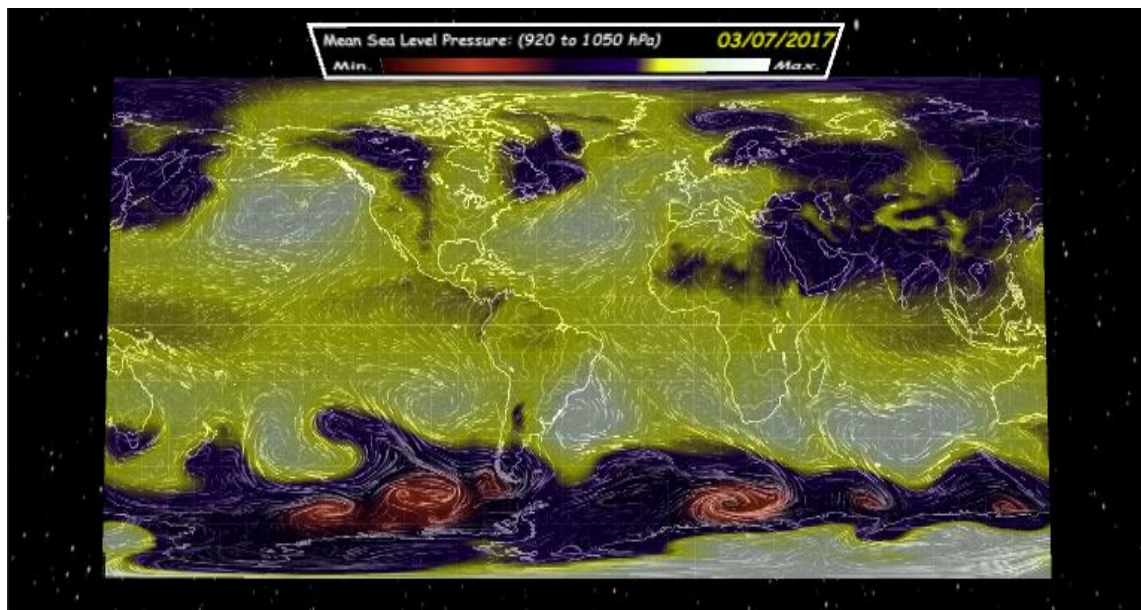


Figura 4.4: Projeção Equirectangular sendo representada na aplicação.

A segunda opção de visualização disponível era através da projeção *Ortográfica*, que projeta o mapa da Terra na superfície de um objeto esférico 3D, simulando de certa forma o globo terrestre e mudando a perspectiva do cenário para exploração tridimensional baseado na localização do globo desejada. Essa representação é ilustrada em Figura 4.5, com a visualização da umidade relativa do ar através de um globo terrestre tridimensional.



Figura 4.5: Projeção Ortográfica sendo representada na aplicação.

Por fim, uma terceira alternativa foi implementada possibilitando outro ponto de vista cartográfico na aplicação através da projeção *Estereográfica*, que simula a projeção do mapa da Terra no interior de uma esfera 3D. Essa simulação produz um efeito imersivo permitindo ao usuário 360° de liberdade para exploração das informações contidas no cenário. Um exemplo disso sendo utilizado na aplicação está ilustrado em Figura 4.6.

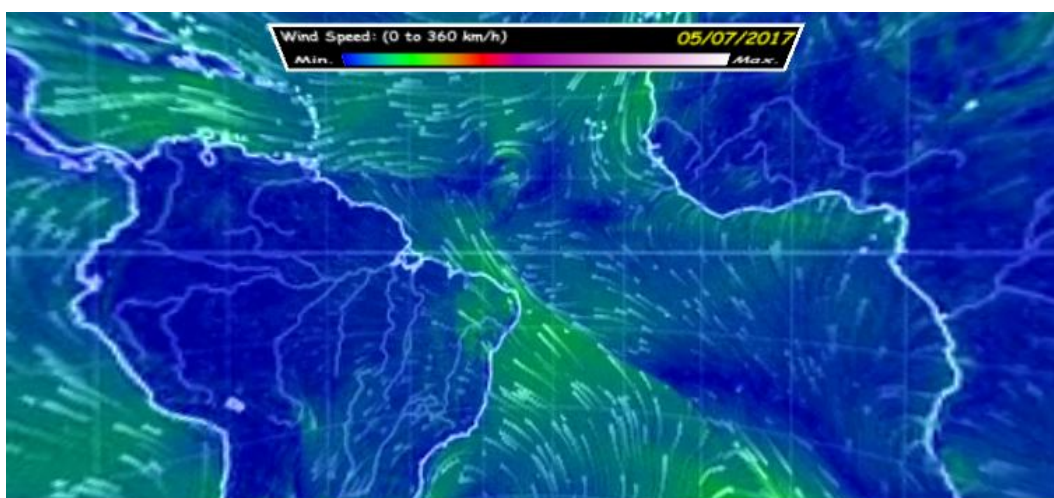


Figura 4.6: Projeção Esterográfica sendo representada na aplicação.

A possibilidade por si só em utilizar essas projeções em conjunto para explorar o ambiente sob perspectivas distintas já tem um interessante potencial de ampliar a percepção de um observador em relação ao cenário estudado. Aplicar esses conceitos aliados à estereoscopia para produzir a imersão em um ambiente de Realidade Virtual projeta uma elevação desse potencial. Essa combinação foi implementada na aplicação, como pode ser visto em Figura 4.7 aplicada nas projeções (A) *Equirectangular*, (B) *Ortográfica* e (C) *Estereográfica*, para também ser abordada na avaliação do experimento.

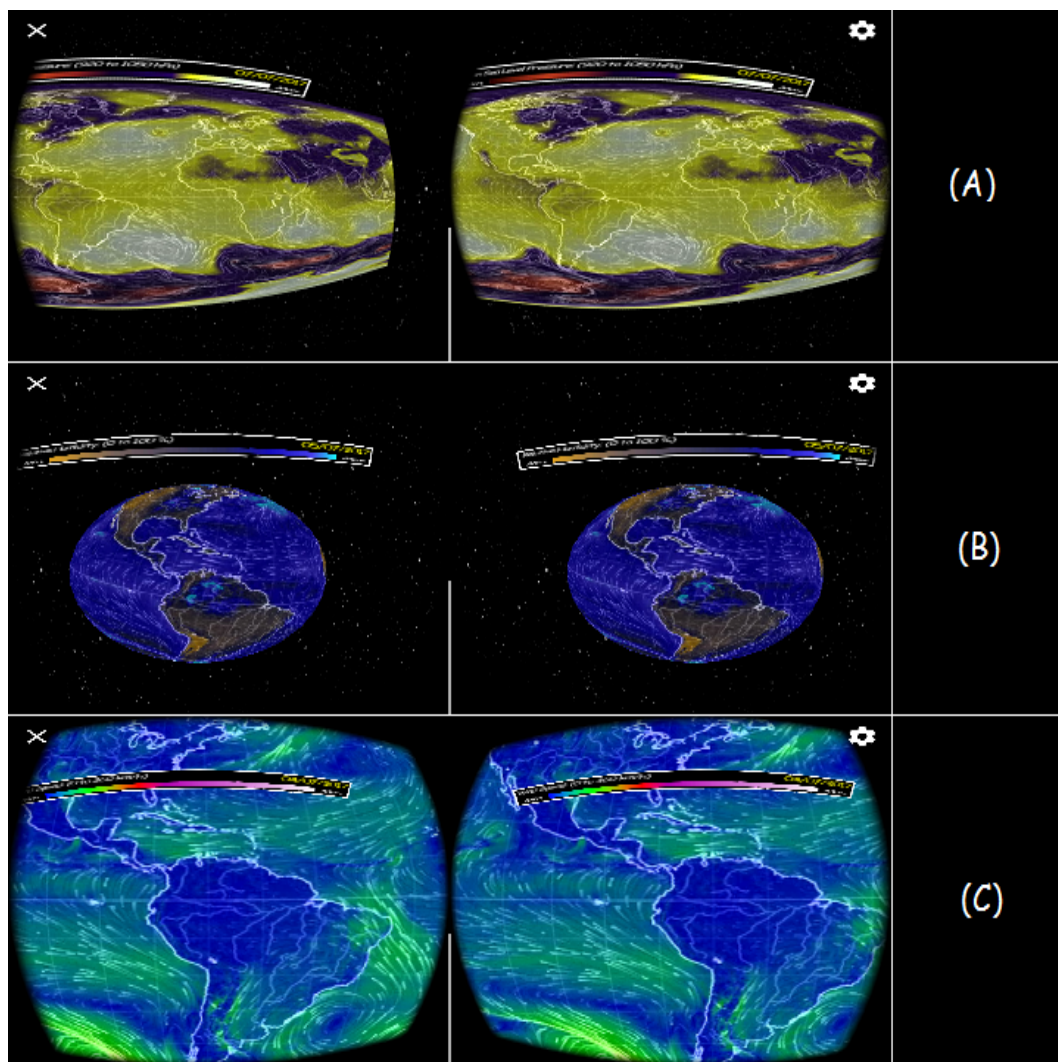


Figura 4.7: Representações das projeções (A) Equirectangular, (B) Ortográfica e (C) Estereográfica na aplicação.

Os trechos do código-fonte escrito que se referem diretamente à exibição dos vídeos representando os eventos climáticos no cenário podem ser vistos no Apêndice B deste trabalho.

Métodos de Interação

Foram utilizados dois métodos de interação com o ambiente virtual da aplicação para o experimento. O primeiro deles diz respeito ao próprio suporte à Realidade Virtual realizado pela plataforma Unity3D, que dividia o cenário em duas câmeras para proporcionar uma visualização estereoscópica e as rotacionava de acordo com a direção que o usuário girava a cabeça, fazendo com que as câmeras seguissem o seu olhar e, desta forma, dando ao observador o poder de controlar qual porção do cenário era visualizado, complementando a sua percepção do ambiente e produzindo o efeito de imersão.

O segundo método foi implantado através da configuração de um Joystick, como o mostrado na Figura 4.2, para servir como dispositivo de entrada de dados à aplicação. Desta forma, o usuário poderia manipular os botões no Joystick, que haviam sido associados à comandos específicos na aplicação, permitindo o controle do que era representado no cenário. As opções de comando implementadas foram:

1. Mudar o evento climático que era representado;
2. Mudar as informações representadas dentre os dias disponíveis;
3. Mudar a projeção cartográfica que era representada;
4. Rotacionar a esfera 3D representada na projeção ortográfica.

Os itens 1 e 2 eram acionados a partir dos botões direcionais verticais e horizontais do Joystick, respectivamente. O item 3 era acionado a partir do botão de gatilho superior do Joystick. O item 4 era acionado a partir do botão direcional analógico do Joystick.

Através desses meios de interação com informações contidas no cenário, os usuários podiam de explorar todas as formas de representação meteorológica disponíveis na aplicação, além das informações referentes aos dias disponíveis para cada uma delas, tudo isso enquanto controlavam a porção visualizada na cena da melhor maneira que lhes conviesse. Esses métodos interativos aliavam-se aos recursos de Realidade Virtual presentes na aplicação para ampliar o efeito de imersão no ambiente virtual e também foi um dos aspectos avaliados nesta pesquisa.

Os trechos do código-fonte escrito que se referem diretamente à interação com o cenário da aplicação podem ser vistos no Apêndice B deste trabalho.

4.3.3 Instrumentos de Avaliação

Foram desenvolvidos dois questionários para esta avaliação. O primeiro deles teve o intuito de traçar um perfil dos usuários participantes, contendo seis perguntas sobre idade, ocupação, conhecimento prévio sobre os conceitos abordados e, por fim, questionando a opinião dos entrevistados sobre quais contextos eles imaginavam que os conceitos de Realidade Virtual pudessem ser aplicados.

Instrumento de Avaliação de Perfil dos Participantes

A definição do perfil dos usuários participantes na pesquisa teve o intuito de confirmar se o público-alvo possuía conhecimento prévio sobre as informações meteorológicas e suas formas de representação, além de saber se havia contato prévio com as abordagens imersivas. As opções de resposta para cada questão do 'Questionário sobre Perfil do Usuário' podem ser vistas através da versão completa mostrada no Apêndice C deste trabalho, já os questionamentos realizados estão descritos a seguir:

- **Q1:** "Em qual faixa etária você se enquadra?";
- **Q2:** "Em qual das seguintes áreas de atuação você se enquadra?";
- **Q3:** "Qual o seu nível de conhecimento em relação a representações de dados climáticos?";
- **Q4:** "Qual o seu nível de conhecimento em relação a projeções cartográficas?";
- **Q5:** "Qual o seu nível de conhecimento em relação a Realidade Virtual?";
- **Q6:** "Em qual situação você imagina o uso de Realidade Virtual?".

Instrumento de Avaliação da Experiência dos Participantes

O segundo questionário foi elaborado com 21 perguntas, sendo a última uma questão aberta para obter sugestões e observações sobre a aplicação ou o uso dos conceitos, enquanto as demais consistiam em 20 afirmativas associadas a uma escala de tipo Likert, com opções de resposta através de cinco pontos representando, respectivamente: **1 - Discordo Fortemente; 2 - Discordo; 3 - Opinião Neutra; 4 - Concordo; 5 - Concordo Fortemente**. Os

voluntários foram instruídos sobre esse modelo de resposta antes de serem submetidos ao questionário. A escolha deste modelo foi baseada em uma análise vista em [Dalmoro e Vieira 2013], que define cinco pontos como um intervalo confiável para escalas de tipo Likert considerando o total de afirmações abordadas, de modo a evitar um excesso no número total de opções de resposta que uma escala superior proporcionaria, para que não houvesse interferência na escolha dos usuários. Desta forma, considerando o número total de 20 afirmativas em sequência que já estariam sendo acumuladas com aplicação do questionário prévio, preferiu-se utilizar cinco opções de resposta que resultariam numa abordagem mais objetiva sobre cada conceito.

As afirmações que compuseram este questionário diziam respeito aos aspectos e conceitos investigados neste trabalho que diziam respeito aos meios alternativos para visualização e manipulação de informações meteorológicas. O 'Questionário sobre Experiência do Usuário' pode ser visto completo no Apêndice C deste trabalho. Considerando a abordagem de cada afirmativa e para auxiliar na sua análise, foram criadas as quatro seguintes categorias: **Relevância da Imersão, Relevância da Interação, Relevância das Projeções e Potencial como Ferramenta de Ensino.**

Instrumento de Avaliação para Relevância da Imersão

A primeira categoria relacionava-se à relevância em usar a visualização imersiva para o contexto meteorológico e foi composta das seis afirmativas a seguir:

- **Q1:** "Eu consegui me sentir imerso no ambiente virtual da aplicação";
- **Q2:** "Foi rápido me acostumar com a imersão proporcionada pela aplicação";
- **Q3:** "As representações climáticas foram visualizadas com clareza no ambiente imersivo";
- **Q4:** "Eu me senti à vontade observando as representações climáticas no ambiente imersivo";
- **Q5:** "Foi algo diferente do convencional visualizar as representações climáticas no ambiente imersivo";

- **Q6:** "A visualização em ambiente virtual imersivo contribuiu para a experiência de visualizar as representações climáticas".

Instrumento de Avaliação para Relevância da Interação

A segunda categoria aborda a importância de métodos interativos para manipular as representações no cenário. Ela é composta pelas cinco afirmativas a seguir:

- **Q7:** "Foi simples interagir com o ambiente virtual da aplicação";
- **Q8:** "Foi rápido entender como interagir com o ambiente virtual da aplicação";
- **Q9:** "Eu me senti no controle da aplicação através das interações com o ambiente virtual";
- **Q10:** "Eu consegui me concentrar mais nas representações climáticas do que nos comandos necessários para interagir com a aplicação";
- **Q11:** "A possibilidade de interação com o ambiente virtual da aplicação contribuiu para a experiência de visualizar as representações climáticas".

Instrumento de Avaliação para Relevância das Projeções

A terceira categoria aborda as influências, negativas ou positivas, que a mudança entre projeções cartográficas podem ter nesse contexto. As seguintes afirmações foram utilizadas:

- **Q12:** "Foi simples identificar a possibilidade de mudar a projeção cartográfica das representações climáticas ao interagir com o ambiente virtual da aplicação";
- **Q13:** "Foi possível identificar características diferentes em cada forma de projeção para as representações climáticas";
- **Q14:** "A mudança entre as projeções cartográficas contribuiu para a experiência de visualizar as representações climáticas".

Instrumento de Avaliação para Potencial como Ferramenta de Ensino

As seis últimas afirmativas do questionário formam a última categoria de análise das respostas, relativa às impressões dos usuários quanto ao potencial de se utilizar os conceitos presentes na aplicação para aprimorar o entendimento das informações meteorológicas e, por sua vez, ser base para uma ferramenta voltada ao ensino nesse mesmo contexto. Seguem as questões que compuseram essa etapa:

- **Q15:** "Eu utilizaria os conceitos demonstrados na aplicação em meu contexto diário (Estudo / Pesquisa / Trabalho)";
- **Q16:** "A Realidade Virtual tem potencial para melhorar o entendimento no contexto de visualização climática";
- **Q17:** "A possibilidade de interação é essencial para a Realidade Virtual melhorar o entendimento no contexto de visualização climática";
- **Q18:** "A Realidade Virtual tem potencial para ser utilizada como ferramenta de ensino no contexto de visualização climática";
- **Q19:** "A possibilidade de interação é essencial para a Realidade Virtual ser utilizada como ferramenta de ensino no contexto de visualização climática";
- **Q20:** "A experiência de visualização em ambiente imersivo proporcionada pela aplicação mudou minha visão sobre utilização de Realidade Virtual nesse contexto".

4.4 Execução dos Experimentos

O experimento em si ocorreu através de algumas etapas, como foi ilustrado em Figura 4.1: Realização de uma breve explicação aos participantes da vez sobre a proposta da aplicação; Explicação sobre os métodos pelos quais poderiam interagir com o ambiente imersivo; Entrega dos óculos RV já com smartphone rodando a aplicação e do joystick para que o voluntário pudesse explorar o ambiente da aplicação e interagir como achasse melhor durante três minutos em média; Após o termino da experiência, os usuários eram instruídos sobre os métodos e propósitos da avaliação; Recebiam um termo de consentimento para a avaliação;

Por fim, eram submetidos aos questionários com perguntas e afirmações sobre a experiência que acabavam de ter, relacionadas às perspectivas imaginadas para se utilizar tal ambiente imersivo como ferramenta de aprendizado aplicada ao contexto meteorológico. Em Figura 4.8, podem ser observados alguns voluntários em processo de experimentação.



Figura 4.8: Professores da UACA interagindo com a aplicação através dos óculos de RV e joystick.

Após a realização do experimento, a próxima etapa da avaliação foi conhecer a opinião dos voluntários em relação à sua experiência, abordando a percepção de cada um sobre as diferentes projeções de mapas utilizadas, sobre a importância da interação na aplicação e, principalmente, sobre o uso dos conceitos imersivos provenientes da Realidade Virtual no contexto meteorológico, sobretudo para ser aplicado como ferramenta de ensino.

4.5 Resultados Obtidos

Nesta seção serão apresentados os resultados observados após a aplicação dos questionários através de tabelas, gráficos e comentários sobre as análises que puderam ser feitas após a conclusão da avaliação experimental.

4.5.1 Resultados para Perfil dos Voluntários

Pela análise preliminar feita sobre as respostas do primeiro questionário, foi possível contabilizar 10 participantes com idades variando de 25 a 60 anos, sendo três professores e sete alunos de pós-graduação. Todos confirmaram através do questionário que possuíam bom conhecimento em relação a representações climáticas e às diferentes projeções cartográficas utilizadas no experimento. Quanto à Realidade Virtual, dois dos voluntários nunca haviam experimentado, apesar de ter conhecimento sobre, enquanto os demais já tiveram contato casual, fora do escopo de qualquer pesquisa ou trabalho.

A parte final dessa avaliação questionava qual o contexto em que os participantes imaginavam a utilização da Realidade Virtual como alternativa interessante de ser aplicada. Em Figura 4.9 vemos uma distribuição equilibrada das opiniões entre as opções fornecidas, com destaque para jogos, ferramenta de ensino e representação de informações climáticas. Foi relatado que a concentração proporcionada pelo efeito imersivo, aliada à possibilidade de interagir com as informações dentro do ambiente virtual seriam interessantes para os contextos assinalados.

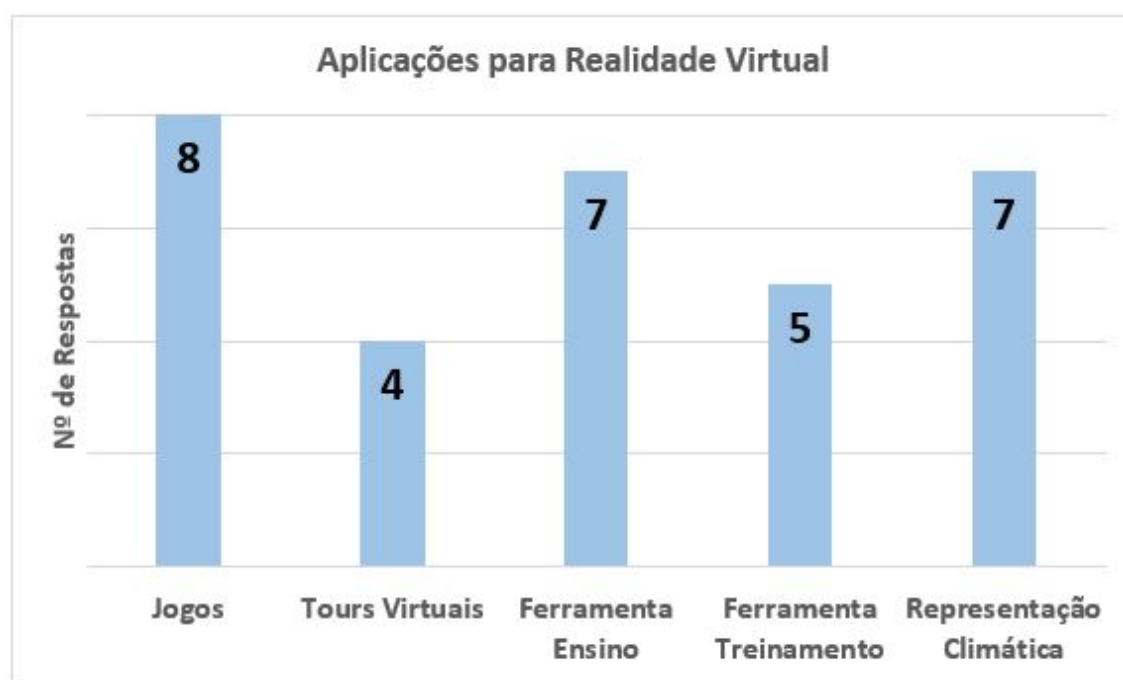


Figura 4.9: Contextos onde a Realidade Virtual poderia ser aplicada.

4.5.2 Resultados para Experiência do Usuário

A análise feita através das respostas do segundo questionário foi relativa à experiência vivenciada pelos voluntários, buscando entender suas percepções sobre os conceitos apresentados dentro do contexto proposto. Pretendeu-se avaliar de forma conjunta a importância da imersão, da interação e das projeções cartográficas em uma potencial ferramenta de ensino-aprendizagem. Devido ao número de itens analisados nesta etapa ser um pouco elevado, decidiu-se por dividi-los em quatro categorias considerando a abordagem das afirmativas do formulário: **Relevância da Imersão, Relevância da Interação, Relevância das Projeções e Potencial como Ferramenta de Ensino.**

Os resultados referentes às quatro categorias serão apresentados ao longo dessa seção através de tabelas com o registro dos valores totais de resposta para cada afirmativa da categoria e através de gráficos contendo a média das respostas dadas, também para cada afirmativa da categoria. Foram utilizadas as médias das respostas para a análise no intuito de facilitar a interpretação sobre as impressões dos participantes em cada aspecto analisado, uma vez que o número e opções de resposta analisadas em cada afirmativa estava distribuído ao longo de muitos quesitos e isso poderia trazer prejuízo na hora de interpretá-los e apresentar resultados em relação ao que foi avaliado.

Como pode ser visto na seção 4.3.3, as opções de resposta para cada afirmativa estavam numa escala tipo Likert de cinco pontos, definida através de uma análise vista em [Dalmoro e Vieira 2013], indo de '1' para "**Discordo Fortemente**", até '5' para "**Concordo Fortemente**". Portanto, as tabelas apresentadas na sequência da seção representam o número total que cada ponto da escala foi escolhido como resposta para todas as afirmativas da categoria sob análise. Por outro lado, os gráficos apresentados representam a média obtida nas respostas em cada afirmativa da categoria sob análise. Visualizando a distribuição de respostas para cada alternativa da escala, referentes às afirmativas das categorias foi observada certa dificuldade em enxergar conclusões objetivas sobre a avaliação. Portanto, a discussão desses resultados é feita a partir das informações contidas nos gráficos, com a média das respostas.

Resultados para Relevância da Imersão

Na Tabela 4.1 está o total de respostas dadas, enquanto na Figura 4.10 é possível observar as médias para as afirmações que formam esta categoria. Através das afirmativas **Q1** e **Q2** os voluntários revelaram sentir a sensação de imersão, após certo período de adaptação. Em **Q3**, apesar de uma média ainda positiva, nota-se mais divergência quanto à clareza das informações, porém as afirmativas **Q4** e **Q5** expressam conforto na experiência, que foi considerada inovadora. Por fim, **Q6** revela uma tendência positiva relacionada à contribuição desses conceitos para a visualização em si.

Tabela 4.1: Total das respostas para Relevância da Imersão.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	2	1	0	1	1
4	3	3	8	2	1	6
5	7	5	1	8	8	3

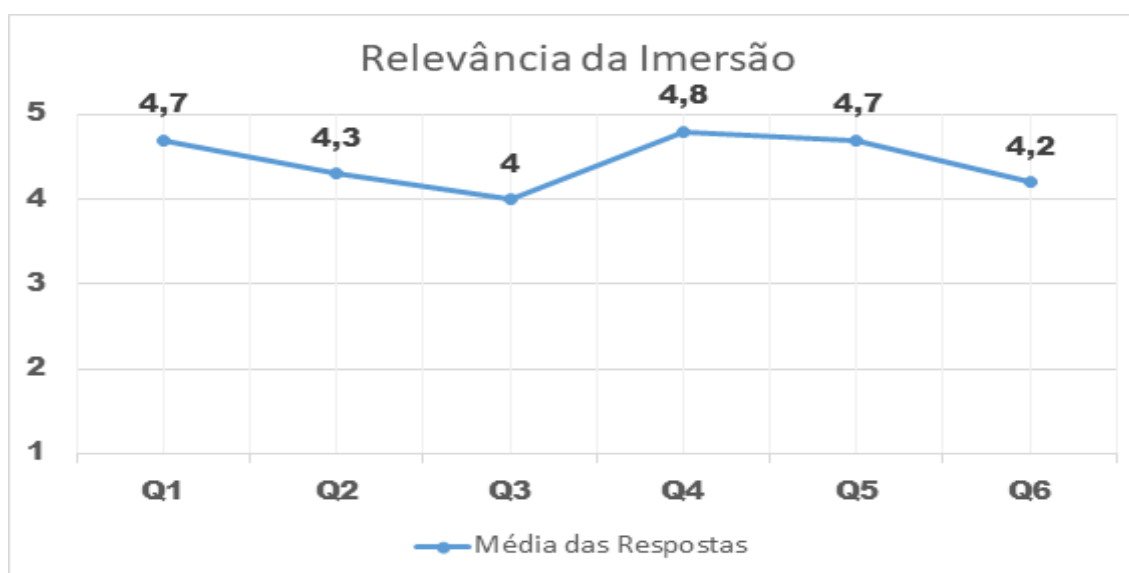


Figura 4.10: Média das respostas para Relevância da Imersão.

Resultados para Relevância da Interação

Pode ser observado através da Tabela 4.2 o total de respostas e da Figura 4.11 a média dessas respostas referentes às afirmações propostas na segunda categoria de análise. É possível notar que os voluntários relataram em **Q7** que não tiveram maiores problemas para interagir com o cenário, e em **Q10** que isso não desviou a atenção das representações. Por **Q8** e **Q9** vemos que existe um tempo de adaptação aos comandos, mas ao final da experiência a tendência é sentir-se no controle da aplicação. Uma média elevada em **Q11** expressa que interagir com o ambiente representou parte importante para tornar a experiência mais completa.

Tabela 4.2: Total das respostas para Relevância da Interação.

	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	4	1	0	0
4	3	2	5	2	5
5	7	4	4	8	5

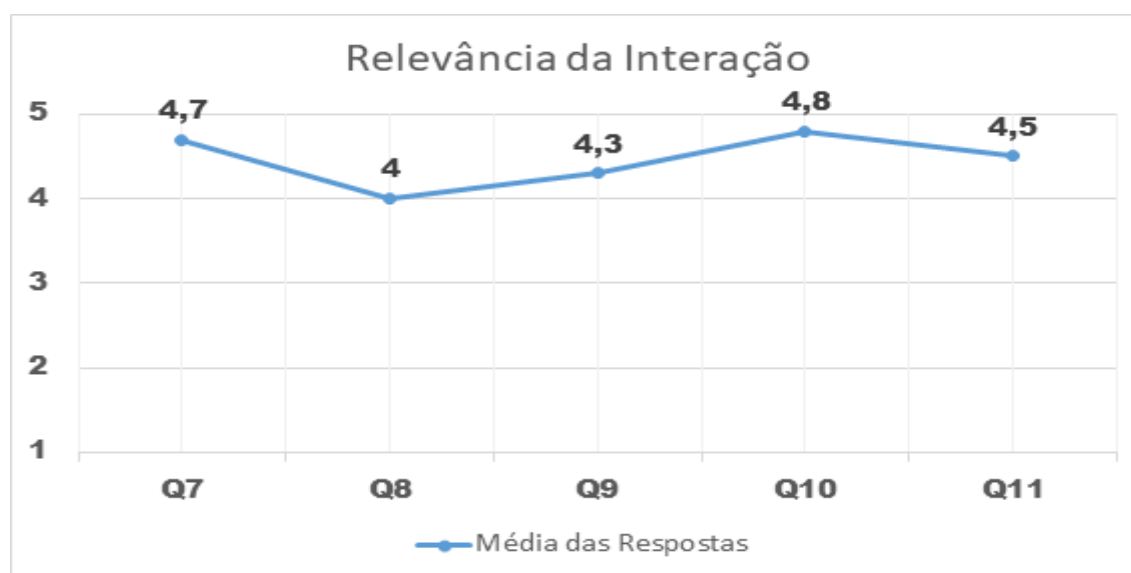


Figura 4.11: Média das respostas para Relevância da Interação.

Resultados para Relevância das Projeções

A Tabela 4.3 traz o total de respostas sobre projeções cartográficas enquanto a Figura 4.12 traz as médias dessas respostas, onde é possível perceber em **Q12** que também foi percebida certa necessidade de adaptação envolvendo o método interativo para mudar as projeções, porém em **Q13** e **Q14** os voluntários relatam notar as características distintas significativas para cada alternativa, o suficiente para considerar essa possibilidade de alterar as projeções do cenário uma contribuição importante no processo visual da aplicação.

Tabela 4.3: Total das respostas para Relevância das Projeções.

	Q12	Q13	Q14
1	0	0	0
2	0	0	0
3	2	1	0
4	3	4	5
5	5	5	5

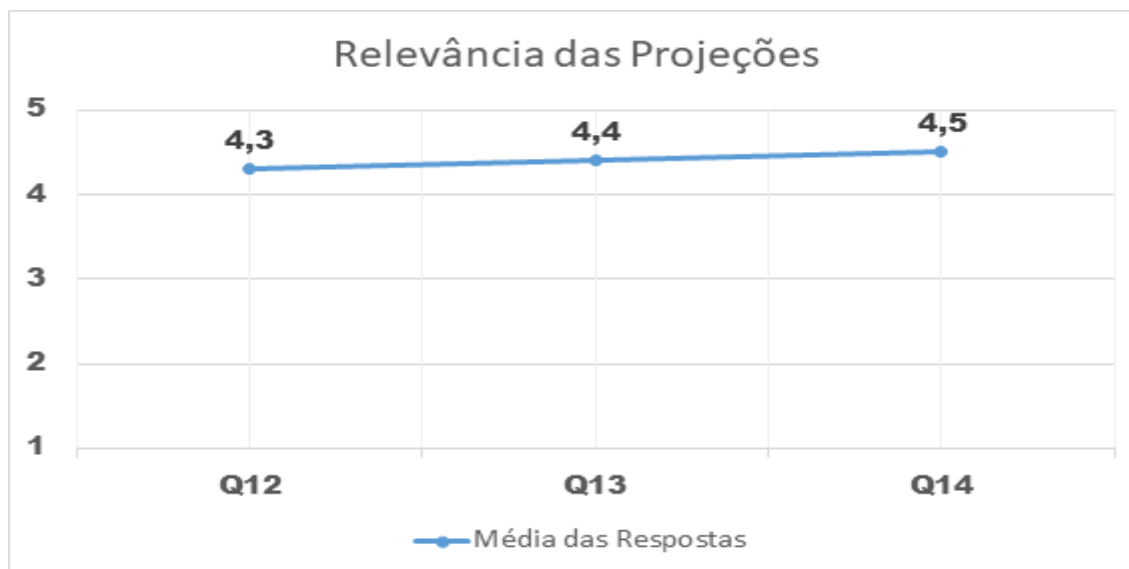


Figura 4.12: Média das respostas para Relevância das Projeções.

Resultados para Potencial como Ferramenta de Ensino

Na Tabela 4.4 estão o total e na Figura 4.13 a média das respostas sobre as afirmações relativas à utilização dos conceitos abordados como uma proposta disciplinar. De forma geral, nota-se uma impressão positiva em relação a essa proposição, partindo pela afirmativa em **Q15**, houve concordância em aplicar os conceitos no contexto em que estão inseridos.

Algumas afirmações podem ser agrupadas nos pares: **Q16-Q17**, relacionado ao auxílio prestado pela Imersão e Interação, respectivamente, para o *entendimento* das informações representadas; **Q18-Q19**, tratando do potencial em aplicar esses mesmos conceitos como *ferramenta de ensino* para o contexto climático. Em ambos os pares, os voluntários atribuíram ao fator imersivo maior importância que à interação propriamente dita, porém não por uma diferença muito elevada, de forma que os dois conceitos combinados obtiveram boa avaliação e se mostraram importantes para aplicações dentro desse contexto.

Tabela 4.4: Total das respostas para Potencial como Ferramenta de Ensino.

	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	1
4	6	5	5	3	5	7
5	4	5	4	7	5	2

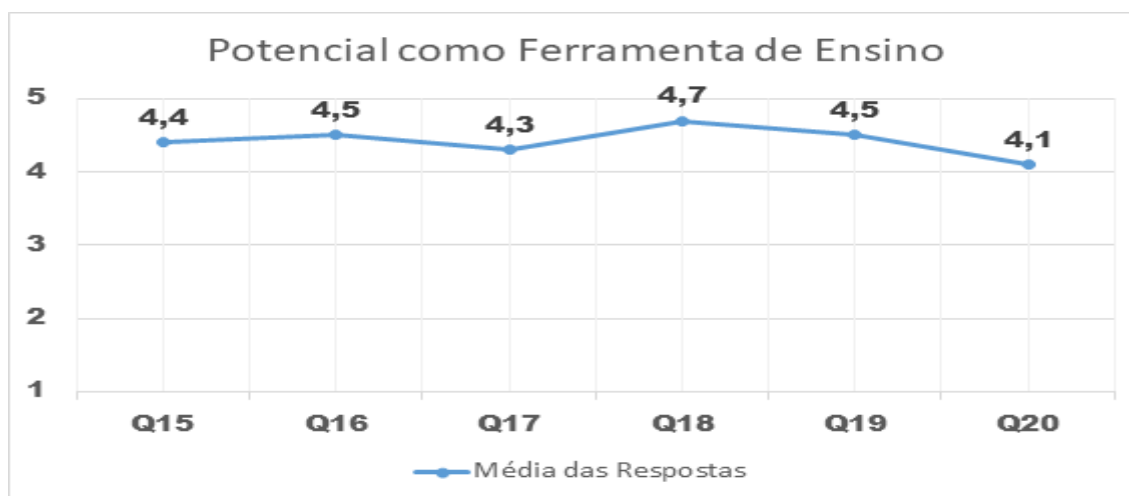


Figura 4.13: Média das respostas para Potencial como Ferramenta de Ensino.

4.5.3 Resultados para Impressão dos Voluntários

Finalizando a análise sobre o segundo questionário, a última pergunta pedia comentários ou sugestões sobre a aplicação ou sobre os conceitos utilizados. Considerando a audiência especializada voluntária no experimento, julgou-se necessário manter espaço aberto para ter acesso a impressões subjetivas envolvendo a experiência como um todo. Três dos participantes responderam essa questão da seguinte forma:

1. "Em futuras pesquisas acrescentar outros produtos, como modelos de previsão";
2. "Gostaria de ver a aplicação em imagens meteorológicas obtidas de satélites";
3. "Aprimorar a visibilidade na legenda e deixar a terra parada na visão ortográfica".

As sugestões apresentadas revelam certa curiosidade em experimentar a implementação de algumas melhorias na aplicação, seja através de correções recomendadas ou mesmo da implantação de novas funcionalidades para ampliar as capacidades apresentadas pela versão utilizada no experimento. Quando o comentário de um voluntário aborda "modelos de previsão", imagina-se que essa possibilidade foi projetada pela possibilidade de acessar datas distintas na aplicação avaliada. Assim como o desejo por "ver a aplicação em imagens meteorológicas obtidas de satélites" também pode ser considerado como uma projeção de aplicar os conceitos experimentados para demandas mais específicas, utilizando dados de outras fontes.

A observação sobre correção da visibilidade das legendas referia-se ao método escolhido para exibí-las projeção *Estereográfica*, que foi diferente das demais pela possibilidade de exploração em 360° do ambiente. A legenda acompanhava a movimentação da câmera, mantendo-se estática para a perspectiva do usuário. Quanto à recomendação de manter a representação da Terra parada enquanto não houvesse interação durante a projeção ortográfica, referia-se à rotação lenta e contínua apresentada durante o experimento. Essas sugestões foram aceitas e corrigidas na aplicação.

4.6 Discussão

Em relação à experiência, os voluntários demonstraram curiosidade antes do experimento, certa surpresa com a visualização e interação não-convencional no cenário apresentado e, após o uso da aplicação, interesse pelos conceitos apresentados com comentários projetando possíveis melhorias e alternativas de aplicação envolvendo o contexto meteorológico. A concentração proporcionada pela imersão foi um comentário recorrente para justificar as impressões positivas e projetar novas funcionalidades considerando demandas da área.

O comportamento observado nos voluntários durante e após a realização do experimento, apontam que foi acertada a escolha por desenvolver uma solução própria, que propusesse os conceitos abordados na pesquisa, bem como a plataforma de desenvolvimento e os dispositivos utilizados, uma vez que alcançou-se o objetivo de proporcionar uma experiência com elementos claros de imersão e interação através de RV no contexto meteorológico.

Neste sentido, a escolha de um público-alvo especializado também mostrou-se importante na avaliação do potencial presente nessa forma não-convencional de explorar a Visualização Científica. Os resultados extraídos dos formulários evidenciam de uma aceitação elevada dos voluntários para esse tipo de alternativa, inclusive com afirmações direcionadas à utilização dos conceitos apresentados no contexto diário de trabalho e pesquisa meteorológica. Nenhuma das médias analisadas ficou abaixo do equivalente a "Concordo" no questionário, com claras tendências ao "Concordo Fortemente" na maioria dos casos, especialmente os referentes à capacidade de imersão aliada aos métodos de interação com o cenário.

Desta forma, embora a avaliação tenha sido positiva como um todo, foi possível apontar uma ordem de importância de modo decrescente representando o nível de contribuição de cada categoria para a experiência vivenciada da seguinte forma:

1. **Ambiente Imersivo:** Aprimorando concentração, proporcionando isolamento a fatores externos e aproximando o usuário das informações que são representadas;
2. **Métodos Interativos:** Dando controle ao usuário para manipular a informação a fim de buscar a forma que melhor lhe proporciona entendimento;
3. **Mudança de Projeções:** Fornecendo perspectivas diferentes para uma mesma informação, podendo resolver possíveis dificuldades ao visualizar uma representação única.

Capítulo 5

Conclusão

Neste trabalho buscou-se avaliar os aspectos que poderiam trazer benefício para a Visualização Científica voltada a representações de informações climáticas, através do uso de Realidade Virtual aliada à conceitos interativos, com o objetivo de auxiliar no entendimento dos dados representados e facilitar a aprendizagem dentro desse contexto.

O escopo da pesquisa foi definido através de diversas etapas, que envolveram pesquisas preliminares sobre visualização de dados climáticos e meios para representação desses dados. A partir disso, foi elaborado e desenvolvido um mapeamento sistemático abordando **Técnicas de Visualização** climática e **Métodos de Representação** dessas informações, com o intuito de compreender melhor a relação entre as áreas e encontrar áreas por onde prosseguir com a pesquisa. Onde, entre os resultados obtidos, identificou-se lacunas na abordagem de métodos não-convencionais de representação de informações.

Neste sentido, foi desenvolvida uma aplicação para proporcionar os conceitos *ainda não-convencionais* de Realidade Virtual associados à visualização e manipulação de dados meteorológicos. Desta forma, foi possível realizar uma avaliação, baseada em Experiência de Usuário com um público-alvo especializado em meteorologia, para investigar se aspectos relacionados à utilização de conceitos como Ambiente Virtual imersivo, interação e mudança de projeções cartográficas poderiam trazer benefícios para o entendimento de informações dentro desse contexto, servindo como potencial ferramenta de ensino-aprendizagem. Através dos resultados da avaliação foi possível definir a importância dos aspectos avaliados, uma vez que as respostas indicaram um bom nível de aceitação para a utilização dos conceitos propostos.

O fator que mais se destacou foi a imersão em um Ambiente Virtual onde eram feitas as representações. Os usuários relataram sentir-se confortáveis com o efeito de imersão no ambiente e confirmaram que essa percepção mais próxima da informação gera um nível de isolamento e concentração que será interessante para o contexto educativo dentro da área de meteorologia.

Além disso, também mostrou-se essencial para a experiência positiva dos usuários a utilização de métodos interativos eficientes, de forma que o usuário possa sentir-se no controle das ações e consiga manter o foco dentro do cenário virtual, e não tentando efetuar algum comando de maneira falha.

Por fim, a utilização de projeções cartográficas junto aos outros dois conceitos abordados também trouxe contribuição para o entendimento das representações, uma vez que ao enfrentar dificuldades no entendimento das informações representadas o usuário poderia mudar a perspectiva sobre aquele cenário. As três opções de projeção disponíveis possuíam características diferentes que podiam ser exploradas através de um comando simples.

As impressões dos voluntários especializados, além de positivas diante da avaliação da experiência que tiveram, também foi de dar sugestões para melhorias e adição de funcionalidades futuras, comentários sobre a experiência constatando o nível elevado de concentração que serve como contribuição importante por parte da imersão para o entendimento das representações climáticas.

5.1 Contribuições

A partir das etapas deste trabalho, envolvendo a concepção de abordagem, definição de escopo, análise de trabalhos, desenvolvimento de uma aplicação imersiva e os resultados positivos alcançados pela avaliação, algumas contribuições práticas desse trabalho foram:

- Identificação de dificuldades no ensino de informações climáticas;
- Identificação de lacunas na abordagem de meios não-convencionais na representação de informações climáticas;
- Identificação de demanda por aplicações imersivas no contexto de meteorologia;

- Desenvolvimento de uma aplicação para promover imersão e métodos interativos dentro do contexto de meteorologia;
- Publicação na 19^a Conferência Internacional em Interação Humano-Computador (HCI2017) sob o título: **Visualization of Climate Data from User Perspective: Evaluating User Experience in Graphical User Interfaces and Immersive Interfaces.**

5.2 Trabalhos Futuros

Esta pesquisa passou por diversas etapas de concepção, definição de escopo e análise exploratória para só então definir que aspectos deveria abordar sobre as áreas de interesse escolhidas. No entanto, esse processo forneceu uma base sólida para novas abordagens dentro do mesmo contexto.

O desenvolvimento de trabalhos futuros para dar seguimento aos questionamentos levantados por este podem estar envolvidos, por exemplo, com as sugestões dada pelos participantes especializados durante a avaliação. Como a utilização dos mesmos conceitos para a visualização de dados vindos de outras fontes, como imagens diretas de satélites, ou a implementação de modelos de previsão, ampliando a funcionalidade aplicada como estudo de caso de analisar representações de um mesmo evento em dias distintos.

Outra abordagem projetada seria investigar conceitos analogamente não-convencionais para outros tipos de plataforma, como aplicações com Realidade Aumentada, utilização de interfaces tangíveis para aprimorar interação do usuário, avaliar conceitos de interação natural aliado a alguns dos outros apresentados aqui, etc. O potencial de abordagem é amplo, visto que existem desafios para entendimento das informações na área que podem, e devem, ser explorados.

Bibliografia

- [Bahar 2014]BAHAR, Y. N. *Representation of thermal building simulation in virtual reality for sustainable building*. Tese (Doutorado) — Université de Bourgogne, 2014.
- [Beccario 2013]BECCARIO 2013. <https://earth.nullschool.net/>. Acessado em: 10/01/2017.
- [Brainerd e Pang 1998]BRAINERD, J.; PANG, A. Floating ring: A new tool for visualizing distortion in map projections. In: IEEE. *Computer Graphics International, 1998. Proceedings*. [S.l.], 1998. p. 466–480.
- [Brainerd e Pang 2001]BRAINERD, J.; PANG, A. Interactive map projections and distortion. *Computers & geosciences*, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 299–314, 2001.
- [Brodie et al. 2012]BRODLIE, K. W. et al. *Scientific visualization: techniques and applications*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- [Bryson 1996]BRYSON, S. Virtual reality in scientific visualization. *Communications of the ACM*, ACM, v. 39, n. 5, p. 62–71, 1996.
- [Card, Mackinlay e Shneiderman 1999]CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D.; SHNEIDERMAN, B. *Readings in information visualization: using vision to think*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 1999.
- [Costa e Cosme 2008]COSTA e Cosme 2008. <http://www.arq.ufmg.br/eva/aivits/Princ%EDpios%20Te%F3ricos%20da%20Estereoscopia.pdf>.
- [Dalmoro e Vieira 2013]DALMORO, M.; VIEIRA, K. M. Dilemas na construção de escalas tipo likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados? *Revista gestão*

- organizacional*, Universidade Comunitária da Região de Chapecó-Unochapecó, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, v. 6, n. 3, 2013.
- [Darley 2017]DARLEY, N. T. Interação de Usuário com Interfaces Tangíveis: Uma Análise de Experiências Utilizando o Projeto AR Sandbox. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2017.
- [Defanti e Brown 1991]DEFANTI, T. A.; BROWN, M. D. Visualization in scientific computing. *Advances in Computers*, Elsevier, v. 33, p. 247–307, 1991.
- [Dupigny-Giroux 2010]DUPIGNY-GIROUX, L.-A. L. Exploring the challenges of climate science literacy: Lessons from students, teachers and lifelong learners. *Geography Compass*, Wiley Online Library, v. 4, n. 9, p. 1203–1217, 2010.
- [El-Wageeh 2011]EL-WAGEEH, S. M. A decision chart for applying integrated technologies throughout urban design projects stages. 2011.
- [Friedhoff R. e Kiely 1990]FRIEDHOFF R. E KIELY, T. The eye of the beholder. In: *Computer Graphics World*. [S.l.: s.n.], 1990.
- [Gordin, Polman e Pea 1994]GORDIN, D. N.; POLMAN, J. L.; PEA, R. D. The climate visualizer: Sense-making through scientific visualization. *Journal of Science Education and Technology*, Springer, v. 3, n. 4, p. 203–226, 1994.
- [Gutiérrez, Vexo e Thalmann 2008]GUTIÉRREZ, M.; VEXO, F.; THALMANN, D. *Stepping into Virtual Reality*. [S.l.], 2008.
- [Guttentag 2010]GUTTENTAG, D. A. Virtual reality: Applications and implications for tourism. *Tourism Management*, Elsevier, v. 31, n. 5, p. 637–651, 2010.
- [Heim 2000]HEIM, M. *Virtual realism*. [S.l.]: Oxford University Press, 2000.
- [Helbig 2014]HELBIG, C. Concept and workflow for 3d visualization of multifaceted meteorological data. 2014.
- [Hussein e Nätterdal 2015]HUSSEIN, M.; NÄTTERDAL, C. The benefits of virtual reality in education-a comparison study. 2015.

- [Johansson, Neset e Linnér 2010]JOHANSSON, J.; NESET, T.-S. S.; LINNÉR, B.-O. Evaluating climate visualization: an information visualization approach. In: IEEE. *Information Visualisation (IV), 2010 14th International Conference*. [S.l.], 2010. p. 156–161.
- [John N.W. e Leng 2001]JOHN N.W. E LENG, J. Scientific applications of visualization, virtual reality and high performance visualization computers. In: *UKHEC – UK High Performance Computing*. [S.l.: s.n.], 2001.
- [Kitchenham 2004]KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- [Kitchenham, Budgen e Brereton 2011]KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; BRERETON, O. P. Using mapping studies as the basis for further research—a participant-observer case study. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 53, n. 6, p. 638–651, 2011.
- [Ladstädter et al. 2010]LADSTÄDTER, F. et al. Exploration of climate data using interactive visualization. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 27, n. 4, p. 667–679, 2010.
- [Liestøl, Morrison e Stenarson 2014]LIESTØL, G.; MORRISON, A.; STENARSON, T. Visualization of climate change in situ. In: IEEE. *Virtual Systems & Multimedia (VSMM), 2014 International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 251–256.
- [Lu, Shpitalni e Gadh 1999]LU, S.-Y.; SHPITALNI, M.; GADH, R. Virtual and augmented reality technologies for product realization. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Elsevier, v. 48, n. 2, p. 471–495, 1999.
- [MacEachren et al. 1999]MACEACHREN, A. M. et al. Virtual environments for geographic visualization: Potential and challenges. In: ACM. *Proceedings of the 1999 workshop on new paradigms in information visualization and manipulation in conjunction with the eighth ACM international conference on Information and knowledge management*. [S.l.], 1999. p. 35–40.
- [Mackinlay 2000]MACKINLAY, J. D. Opportunities for information visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*, IEEE, v. 20, n. 1, p. 22–23, 2000.

- [Montero e Fernández 2005]MONTERO e Fernández 2005. http://www.nosolousabilidad.com/articulos/experiencia_del_usuario.htm. Acessado em: 12/01/2017.
- [Nascimento e Ferreira 2005]NASCIMENTO, H. A. D.; FERREIRA, C. B. Visualização de informações—uma abordagem prática. In: *XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XXIV JAI. UNISINOS, S. Leopoldo—RS*. [S.l.: s.n.], 2005.
- [Neset, Johansson e Linnér 2009]NESET, T.; JOHANSSON, J.; LINNÉR, B.-O. *State of climate visualization*. [S.l.]: Linköping University Electronic Press, 2009.
- [Nocke, Flechsig e Bohm 2007]NOCKE, T.; FLECHSIG, M.; BOHM, U. Visual exploration and evaluation of climate-related simulation data. In: *IEEE. Simulation Conference, 2007 Winter*. [S.l.], 2007. p. 703–711.
- [Nocke et al. 2008]NOCKE, T. et al. Visualization of climate and climate change data: An overview. *Digital earth summit on geoinformatics*, p. 226–232, 2008.
- [Petersen et al. 2008]PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: *EASE*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 8, p. 68–77.
- [Pettersson, Wesslén e Seipel 2004]PETTERSSON, L. W.; WESSLÉN, D.; SEIPEL, S. In situ tomographic display for interactive data visualization. In: *ACM. Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*. [S.l.], 2004. p. 93–96.
- [Rhyne 2003]RHYNE, T.-M. Does the difference between information and scientific visualization really matter? *IEEE Computer Graphics and Applications*, IEEE, v. 23, n. 3, p. 6–8, 2003.
- [Scamati 2011]SCAMATI. Utilização de ambientes virtuais imersivos para o ensino. In: *International Organization for Standardization*. [S.l.: s.n.], 2011.
- [Senay e Ignatius 1994]SENAY, H.; IGNATIUS, E. A knowledge-based system for visualization design. *IEEE Computer Graphics and Applications*, IEEE, v. 14, n. 6, p. 36–47, 1994.

- [Snyder e Voxland 1989]SNYDER, J.; VOXLAND, P. *An Album of Map Projections*. U.S. Government Printing Office, 1989. (An Album of Map Projections, N° 1453). ISBN 9780160033681. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ET6RQgAACAAJ>>.
- [Snyder 1987]SNYDER, J. P. *Map projections—A working manual*. [S.l.]: US Government Printing Office, 1987.
- [Wall 2010]WALL, C. de B. Interantartica: An interactive environmental installation. In: IEEE. *Multimedia and Expo (ICME), 2010 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 1629–1634.
- [Yannier et al. 2008]YANNIER, N. et al. Using haptics to convey cause-and-effect relations in climate visualization. *IEEE Transactions on Haptics*, IEEE, v. 1, n. 2, p. 130–141, 2008.
- [Yoh 2001]YOH, M.-S. The reality of virtual reality. In: IEEE. *Virtual Systems and Multimedia, 2001. Proceedings. Seventh International Conference on*. [S.l.], 2001. p. 666–674.
- [Youngblut et al. 1996]YOUNGBLUT, C. et al. *Review of Virtual Environment Interface Technology*. [S.l.], 1996.
- [Ziegeler et al. 2001]ZIEGELER, S. et al. The metvr case study: meteorological visualization in an immersive virtual environment. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the Conference on Visualization'01*. [S.l.], 2001. p. 489–492.

Apêndice A

Representações Climáticas da Aplicação

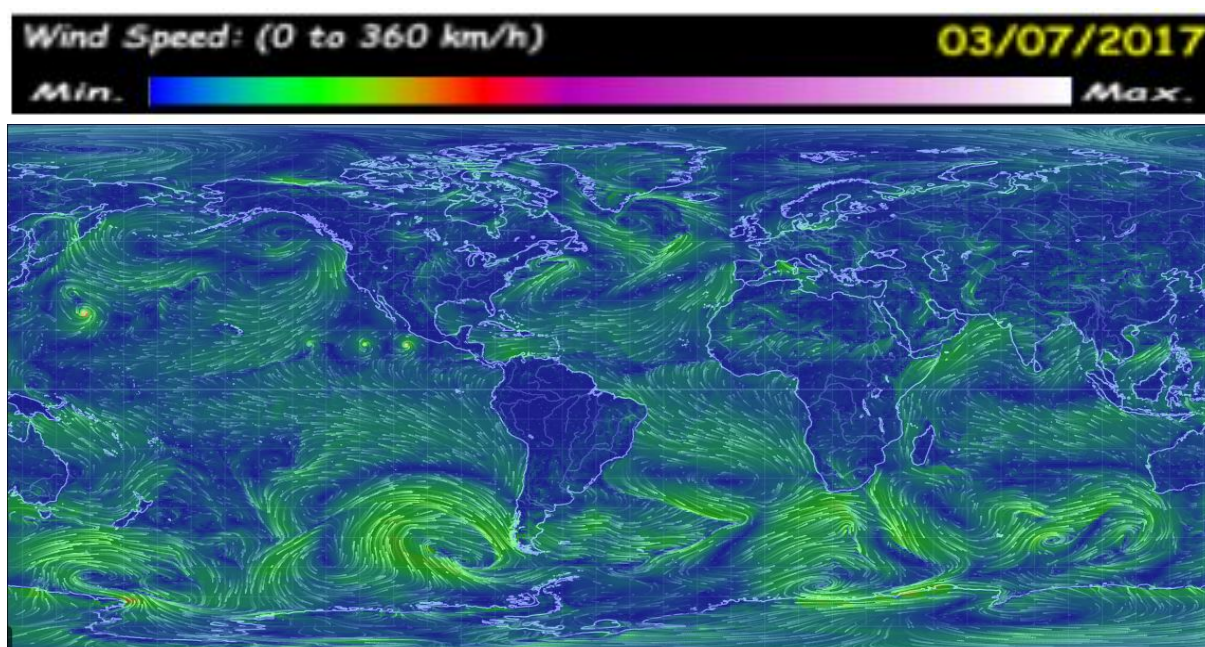


Figura A.1: Velocidade de Ventos c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

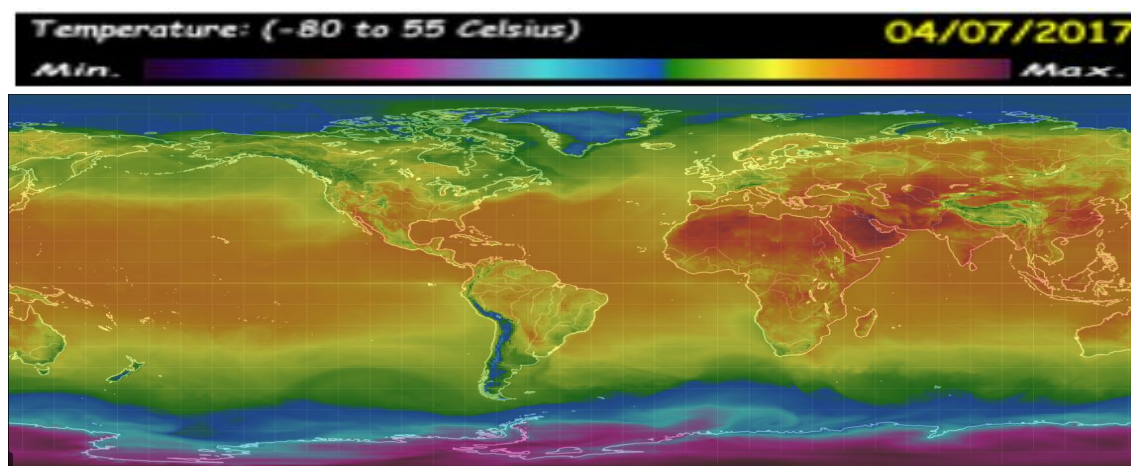


Figura A.2: Temperatura c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

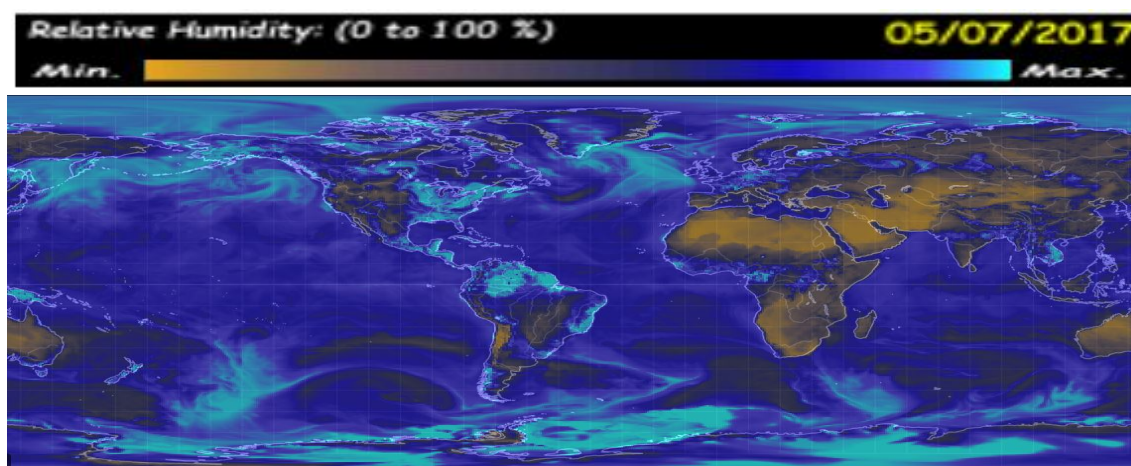


Figura A.3: Umidade Relativa do Ar c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

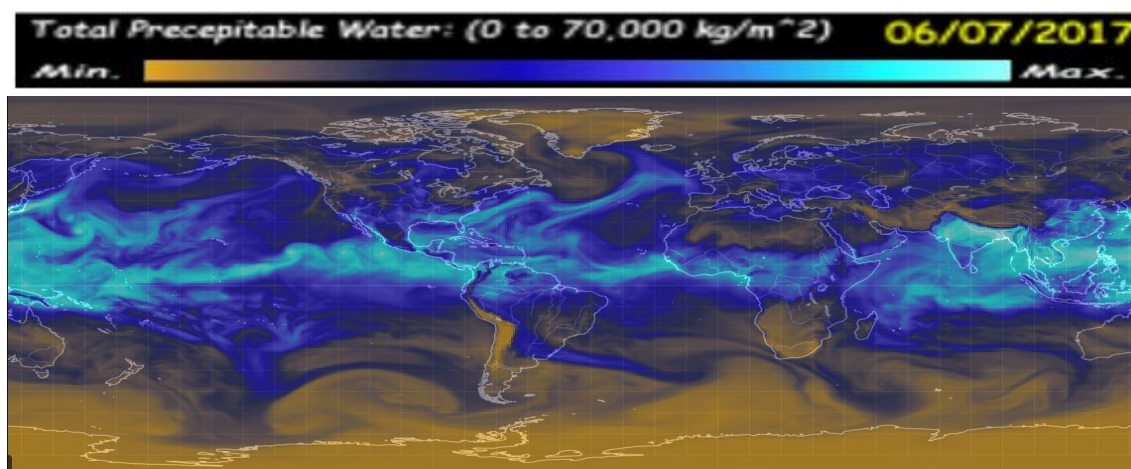


Figura A.4: Volume de Água Precipitável c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

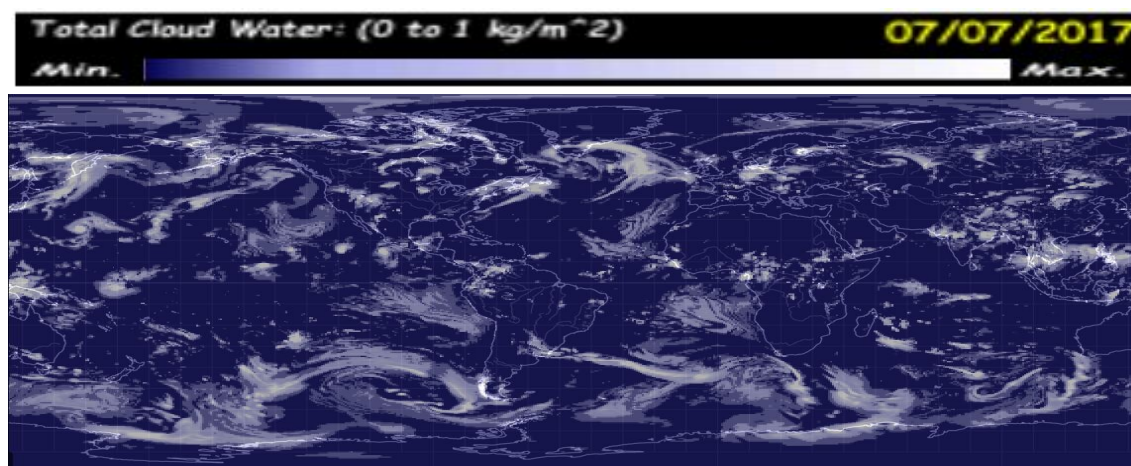


Figura A.5: Volume de Nuvens de Chuva c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

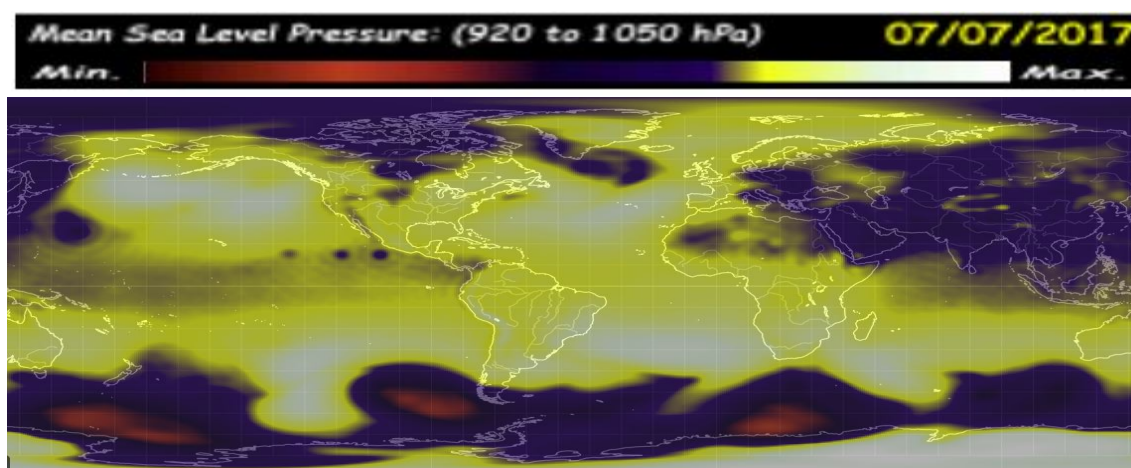


Figura A.6: Pressão ao Nível do Mar c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

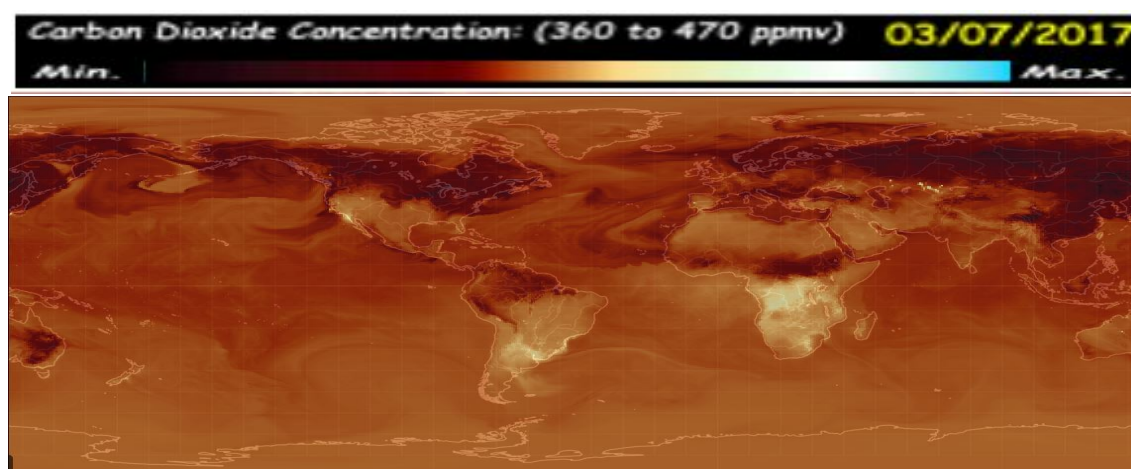


Figura A.7: Concentração de Dióxido de Carbono c/ Legenda. Fonte: [Beccario 2013].

Apêndice B

Trechos de Código-Fonte da Aplicação

```
71 // =====
72 // Seleciona vídeo referente ao evento climático e ao dia escolhido
73 // =====
74 public string selecionarEvento(int eventoSolicitado, int diaSolicitado) {
75
76     // Retorna o caminho do vídeo representando aquele evento/dia:
77     return Application.streamingAssetsPath + "/Videos/" + eventoSolicitado +
78         "/" + diaSolicitado + ".mp4";
79 }
80
81 // =====
82 // Reproduz o vídeo associado ao caminho definido
83 // =====
84 public void reproduzVideo(int indiceEvento, int indiceDia) {
85
86     // Atribui vídeo referente ao evento/dia escolhido:
87     video.url = selecionarEvento (indiceEvento, indiceDia);
88
89     // Reproduz o vídeo:
90     video.Play ();
91 }
92
93 // Método que define o que acontece no início da aplicação:
94 void Start () {
95
96     // Associa objeto no qual o vídeo será reproduzido:
97     video = GetComponent<UnityEngine.Video.VideoPlayer> ();
98     // Associa a câmera principal da cena:
99     video.targetCamera = Camera.main;
100     // Reproduz o vídeo referente ao Evento e Dia informado:
101     reproduzVideo(indiceEvento, indiceDia);
102 }
103 }
```

Figura B.1: Trechos de código-fonte para reprodução dos vídeos.

```
116      // =====
117      // Simula rotação da terra durante a projeção 3D:
118      // =====
119
120      // Captura o comando de direção fornecido pelo usuário:
121      sentidoVertical = Input.GetAxis ("Vertical")/3;
122      sentidoHorizontal = Input.GetAxis ("Horizontal")/3;
123
124      // Calcula a rotação que deve ser realizada:
125      rotacaoHorizontal = cameraRef.transform.up * sentidoHorizontal * -1;
126      rotacaoVertical = cameraRef.transform.right * sentidoVertical;
127      rotacaoTotal = rotacaoHorizontal + rotacaoVertical;
128
129      // Rotaciona a Esfera 3D na projeção Ortográfica:
130      esfera3D.transform.Rotate (rotacaoTotal, Space.World);
```

Figura B.2: Trecho de código-fonte para rotação na projeção ortográfica.

```

137 // Captura a interação do usuário para mudar a projeção:
138 if (Input.GetButtonDown ("Trigger2") || Input.GetKeyDown (KeyCode.A)) {
139
140     // Projeção 2D (Equirectangular):
141     if (projecaoAtual == 1) {
142
143         // Reseta a rotação da câmera:
144         Camera.main.transform.rotation = initialRotation;
145
146         // Define que o objeto exibido será o Plano 2D:
147         infoLayout.transform.SetParent (null);
148         infoLayout.transform.position = layoutPosition;
149         infoLayout.transform.rotation = layoutRotation;
150         esferaRV.GetComponent<Renderer> ().enabled = false;
151         plano2D.GetComponent<Renderer> ().enabled = true;
152
153         // Marca a projeção atual:
154         projecaoAtual = 2;
155
156     // Projeção 3D (Ortográfica):
157     } else if (projecaoAtual == 2) {
158
159         // Reseta a rotação da câmera:
160         Camera.main.transform.rotation = initialRotation;
161
162         // Define que o objeto exibido será a Esfera 3D:
163         infoLayout.transform.SetParent (null);
164         infoLayout.transform.position = layoutPosition;
165         infoLayout.transform.rotation = layoutRotation;
166         plano2D.GetComponent<Renderer> ().enabled = false;
167         esfera3D.GetComponent<Renderer> ().enabled = true;
168
169         // Marca a projeção atual:
170         projecaoAtual = 3;
171
172     // Projeção VR (Estereográfica):
173     } else if (projecaoAtual == 3) {
174
175         // Reseta a rotação da câmera:
176         Camera.main.transform.rotation = initialRotation;
177
178         // Define que o objeto exibido será a Esfera RV:
179         infoLayout.transform.SetParent (Camera.main.transform);
180         infoLayout.transform.position = new Vector3 (7, 2, 10f);
181         infoLayout.transform.rotation = layoutRotation;
182         esfera3D.GetComponent<Renderer> ().enabled = false;
183         esferaRV.GetComponent<Renderer> ().enabled = true;
184
185         // Marca a projeção atual:
186         projecaoAtual = 1;
187     }
188 }

```

Figura B.3: Trecho de código-fonte para troca entre as projeções.

```

255      // Captura a interação do usuário para acessar eventos anteriores:
256      if (Input.GetButton ("Jump") || Input.GetKeyDown (KeyCode.DownArrow)) {
257
258          //Limita ao primeiro evento disponível:
259          if (indiceEvento <= 1) {
260              Debug.Log ("Limite Atingido");
261              //Acessa os demais eventos:
262          } else {
263
264              // No caso de CO2, troca de representação é imagem => video
265              if (indiceEvento >= 6) {
266
267                  indiceEvento -= 1;
268                  video.enabled = true;
269                  insideoutMaterial.mainTexture = null;
270                  outsideMaterial.mainTexture = null;
271                  // Reproduz o video para o Evento/Dia escolhido:
272                  reproduzVideo (indiceEvento, indiceDia);
273                  layoutTitle.text = layoutName [indiceEvento - 1] + ": (" +
274                      layoutMeasure [indiceEvento - 1] + ")";
275
276                  layoutScale.texture = layoutTextures [indiceEvento - 1];
277                  //Nos demais casos, troca de representação e video => video
278              } else {
279                  indiceEvento -= 1;
280                  reproduzVideo (indiceEvento, indiceDia);
281                  layoutTitle.text = layoutName [indiceEvento - 1] + ": (" +
282                      layoutMeasure [indiceEvento - 1] + ")";
283                  layoutScale.texture = layoutTextures [indiceEvento - 1];
284              }
285          }
286      }

```

Figura B.4: Trecho de código-fonte para troca entre as representações climáticas (Parte I).

```

287 // Captura a interação do usuário para acessar eventos seguintes:
288 if (Input.GetButton ("Submit") || Input.GetKeyDown (KeyCode.UpArrow)) {
289
290     //Limita ao último evento disponível:
291     if (indiceEvento >= 7) {
292         Debug.Log ("Limite Atingido");
293         //Acessa os demais eventos:
294     } else {
295
296         // No caso de CO2, troca de representação é video => imagem
297         if (indiceEvento >= 6) {
298
299             indiceEvento += 1;
300             video.enabled = false;
301             insideoutMaterial.mainTexture = carbonDioxide [indiceDia - 1];
302             outsideMaterial.mainTexture = carbonDioxide [indiceDia - 1];
303
304             layoutTitle.text = layoutName [indiceEvento - 1] + ": (" +
305             layoutMeasure [indiceEvento - 1] + ")";
306             layoutScale.texture = layoutTextures [indiceEvento - 1];
307             //Nos demais casos, troca de representação é video => video
308         } else if (indiceEvento < 6) {
309
310             indiceEvento += 1;
311             reproduzVideo (indiceEvento, indiceDia);
312             layoutTitle.text = layoutName [indiceEvento - 1] + ": (" +
313             layoutMeasure [indiceEvento - 1] + ")";
314             layoutScale.texture = layoutTextures [indiceEvento - 1];
315         }
316     }
317 }

```

Figura B.5: Trecho de código-fonte para troca entre as representações climáticas (Parte II).

```

195 // Captura a interação do usuário para acessar dias anteriores:
196 if (Input.GetButton ("Fire3") || Input.GetKeyDown (KeyCode.LeftArrow)) {
197
198     //Limita ao primeiro dia possível:
199     if (indiceDia <= 1) {
200         Debug.Log ("Limite Atingido");
201
202     //Acessa demais dias:
203     } else {
204
205         // No caso de CO2 a representação é por imagem:
206         if (indiceEvento > 6) {
207
208             indiceDia -= 1;
209             insideoutMaterial.mainTexture = carbonDioxide [indiceDia - 1];
210             outsideMaterial.mainTexture = carbonDioxide [indiceDia - 1];
211             layoutDate.text = layoutDay [indiceDia - 1] + "/" +
212                             layoutMonth + "/" + layoutYear;
213             // Nos demais casos a representação é por vídeo:
214         } else {
215
216             indiceDia -= 1;
217             reproduzVideo (indiceEvento, indiceDia);
218             layoutDate.text = layoutDay [indiceDia - 1] + "/" +
219                             layoutMonth + "/" + layoutYear;
220         }
221     }
222 }

```

Figura B.6: Trecho de código-fonte para troca entre os dias representados (Parte I).

```
223 // Captura a interação do usuário para acessar dias seguintes:
224 if (Input.GetButton ("Cancel") || Input.GetKeyDown (KeyCode.RightArrow)) {
225
226     //Limita ao último dia possível:
227     if (indiceDia >= 5) {
228         Debug.Log ("Limite Atingido");
229
230     //Acessa demais dias:
231     } else {
232
233         // No caso de CO2 a representação é por imagem:
234         if (indiceEvento > 6) {
235
236             indiceDia += 1;
237             insideoutMaterial.mainTexture = carbonDioxide [indiceDia - 1];
238             outsideMaterial.mainTexture = carbonDioxide [indiceDia - 1];
239             layoutDate.text = layoutDay [indiceDia - 1] + "/" +
240                             layoutMonth + "/" + layoutYear;
241
242             // Nos demais casos a representação é por vídeo:
243         } else {
244
245             indiceDia += 1;
246             reproduzVideo (indiceEvento, indiceDia);
247             layoutDate.text = layoutDay [indiceDia - 1] + "/" +
248                             layoutMonth + "/" + layoutYear;
249         }
250     }
```

Figura B.7: Trecho de código-fonte para troca entre os dias representados (Parte II).

Apêndice C

Questionários da Avaliação

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro, por meio deste termo, que concordei em participar na pesquisa de campo referente ao projeto/pesquisa intitulado(a) "Imersão na Visualização Científica: Utilizando um Ambiente Virtual Imersivo para Interação com Dados Climáticos" desenvolvido(a) por Raul Felipe de Moraes Fernandes, aluno de pós-Graduação em Informática pela Universidade Federal da Paraíba. Fui informado(a) ainda que a pesquisa é coordenada pela prof^a. Dr^a. Tatiana Aires Tavares.

Afirmo que aceitei participar por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro ou obter qualquer ônus, tendo como finalidade exclusiva colaborar para o sucesso da pesquisa. Fui informado(a) dos objetivos estritamente acadêmicos do estudo, que, em linhas gerais é: "avaliar os benefícios da representação de dados climáticos em um ambiente virtual imersivo aliando interação com a troca de projeções visuais".

Minha colaboração será feita de forma anônima, por meio de observação e coleta de dados através de formulários que abordam a experiência com a utilização da aplicação. Fui informado(a) ainda que posso me retirar dessa avaliação a qualquer momento, sem sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos.

Atesto o recebimento de uma cópia assinada deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Assinatura do Participante

Assinatura do Pesquisador

Campina Grande, _____ de _____ de _____.

Questionário sobre Perfil do Usuário

Avaliação VR (Perfil do Usuário)

* Required

1. Em qual faixa etária você se enquadra? *

Mark only one oval.

- ☐ Menos de 20 anos
- ☐ 20 a 30 anos
- ☐ 31 a 40 anos
- ☐ 41 a 50 anos
- ☐ 51 a 60 anos
- ☐ Maior de 60 anos

2. Em qual das seguintes áreas de atuação você se enquadra? *

Check all that apply.

- ☐ Graduação
- ☐ Pós-Graduação
- ☐ Doutorado
- ☐ Professor

3. Qual o seu nível de conhecimento em relação a representações de dados climáticos? *

Mark only one oval.

- ☐ Não conheço
- ☐ Conheço, mas não entendo
- ☐ Conheço, mas entendo pouco
- ☐ Entendo bem, mas nunca usei em pesquisa/trabalho
- ☐ Trabalho/já trabalhei isso

4. Qual o seu nível de conhecimento em relação a projeções cartográficas? *

Mark only one oval.

- ☐ Não conheço
- ☐ Conheço, mas não entendo
- ☐ Conheço, mas entendo pouco
- ☐ Entendo bem, mas nunca usei em pesquisa/trabalho
- ☐ Trabalho/já trabalhei isso

5. Qual o seu nível de conhecimento em relação a Realidade Virtual? *

Mark only one oval.

- ☐ Não conheço
- ☐ Conheço, mas nunca experimentei
- ☐ Conheço e já experimentei
- ☐ Conheço bem, mas nunca usei em pesquisa/trabalho
- ☐ Trabalho/já trabalho com isso

6. Em qual situação você imagina o uso de Realidade Virtual? *

Check all that apply.

- ☐ Jogos
- ☐ Tours Virtuais
- ☐ Ferramenta de Ensino
- ☐ Ferramenta de Treinamento
- ☐ Representação de Dados Climáticos
- ☐ Other: _____

Questionário sobre Experiência do Usuário

Avaliação VR (Experiência Imersiva)

7. Eu consegui me sentir imerso no ambiente virtual da aplicação *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

8. Foi rápido me acostumar com a imersão proporcionada pela aplicação *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

9. As representações climáticas foram visualizadas com clareza no ambiente imersivo *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

10. Eu me senti à vontade observando as representações climáticas no ambiente imersivo *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

11. Foi algo diferente do convencional visualizar as representações climáticas no ambiente imersivo *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

12. A visualização em ambiente virtual imersivo contribuiu para a experiência de visualizar as representações climáticas *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

13. Foi simples interagir com o ambiente virtual da aplicação *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

14. Foi rápido entender como interagir com o ambiente virtual da aplicação *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

15. Eu me senti no controle da aplicação através das interações com o ambiente virtual *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

16. Eu consegui me concentrar mais nas representações climáticas do que nos comandos necessários para interagir com a aplicação *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

17. A possibilidade de interação com o ambiente virtual da aplicação contribuiu para a experiência de visualizar as representações climáticas *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

18. Foi simples identificar a possibilidade de mudar a projeção cartográfica das representações climáticas ao interagir com o ambiente virtual da aplicação *
- Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

19. Foi possível identificar características diferentes em cada forma de projeção para as representações climáticas *
- Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

20. A mudança entre as projeções cartográficas contribuiu para a experiência de visualizar as representações climáticas *
- Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

21. Eu utilizaria os conceitos demonstrados na aplicação em meu contexto diário (Estudo / Pesquisa / Trabalho) *
- Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

22. A Realidade Virtual tem potencial para melhorar o entendimento no contexto de visualização climática *
- Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

23. A possibilidade de interação é essencial para a Realidade Virtual melhorar o entendimento no contexto de visualização climática *
- Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

24. A Realidade Virtual tem potencial para ser utilizada como ferramenta de ensino no contexto de visualização climática *
- Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

25. A possibilidade de interação é essencial para a Realidade Virtual ser utilizada como ferramenta de ensino no contexto de visualização climática *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

26. A experiência de visualização em ambiente imersivo proporcionada pela aplicação mudou minha visão sobre utilização de Realidade Virtual nesse contexto *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Fortemente	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo Fortemente

27. Algum comentário ou sugestão sobre a aplicação ou sobre os conceitos utilizados?
