

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

Avaliação de Estratégias de Visualização em Dados  
Climáticos: Uma Análise através da Perspectiva do Usuário

Vinícius Antônio Campos Fagundes

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

© Vinícius Antônio Campos Fagundes, Agosto de 2017

*Catálogo na publicação*  
*Setor de Catalogação e Classificação*

F151a Fagundes, Vinícius Antônio Campos.  
Avaliação de estratégias de visualização em dados climáticos: uma análise  
através da perspectiva do usuário / Vinícius Antônio Campos Fagundes. — João  
Pessoa, 2017.  
182 f. : il.

Orientadora: Tatiana Aires Tavares.  
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CI/PPGI

1. Informática. 2. Computação distribuída. 3. Técnica de visualização.  
4. Dados climáticos. 5. Mapeamento sistemático. 6. Experiência de usuário.  
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 Vinicius Antonio Campos Fagundes, candidato ao título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de Computação, realizada em 29 de agosto de 2017.

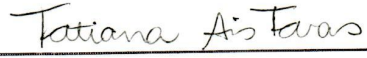
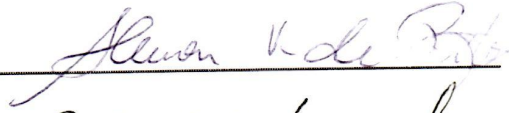
1 Aos vinte e nove dias do mês de agosto, do ano de dois mil e dezessete, às dez horas, no  
2 Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, em Mangabeira, reuniram-se os  
3 membros da Banca Examinadora constituída para julgar o Trabalho Final do Sr. Vinicius  
4 Antonio Campos Fagundes, vinculado a esta Universidade sob a matrícula nº  
5 2015104990, candidato ao grau de Mestre em Informática, na área de "Sistemas de  
6 Computação", na linha de pesquisa "Computação distribuída", do Programa de Pós-  
7 Graduação em Informática, da Universidade Federal da Paraíba. A comissão examinadora  
8 foi composta pelos professores: Tatiana Aires Tavares (PPGI-UFPB), Orientadora e  
9 Presidente da Banca, Alisson Vasconcelos de Brito (PPGI-UFPB), Examinador interno,  
10 Carlos Antônio Costa dos Santos (UFCG), Examinador externo à instituição. Dando início  
11 aos trabalhos, o Presidente da Banca, cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos  
12 a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que o mesmo fizesse a  
13 exposição oral do trabalho de dissertação intitulado "Avaliação de estratégias de visualização  
14 em dados climáticos: uma análise através da perspectiva do usuário". Concluída a  
15 exposição, o candidato foi arguido pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer:  
16 "**aprovado**". Do ocorrido, eu, Clauirton de Albuquerque Siebra, Coordenador do Programa  
17 de Pós-Graduação em Informática, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos  
18 membros da banca examinadora. João Pessoa, 29 de agosto de 2017.

  
Prof. Dr. Clauirton 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)


“Primeiro, pense. Segundo, acredite.  
Terceiro, sonhe. E por último, se desafie”.

— *WALT DISNEY*

*A todas as pessoas mencionadas adiante, que possibilitaram a execução deste trabalho e a conclusão de mais uma etapa em minha formação*

## **Agradecimentos**

A Deus, por me privilegiar com mais uma etapa em minha formação acadêmica;

Aos meus pais, Otoni e Rosiane e irmão, Matheus, pela força, carinho, incentivo e suporte durante todos estes anos e aos meus tios, Madalena e Otomar que sempre me auxiliaram na ausência de meus pais;

À minha orientadora e querida amiga, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Tatiana Aires Tavares pelo incentivo, perseverança e orientação durante tantos anos e por tantas aventuras juntos;

A tio Suênio, pelo auxílio no final desta jornada;

A Murian, Tati, Tio Francisco, Ieda e Marcos, pela atenção, suporte e passeios durante minha estadia no Rio Grande do Sul a fins acadêmicos;

Aos voluntários que participaram desta pesquisa, enriquecendo-a e possibilitando bons resultados;

À minha namorada, Ulle Montenegro, por tanto amor, carinho e paciência nesta etapa final e principalmente por ser linda e maravilhosa;

Aos meus amigos de infância, Aline, Carlos, Danielle, Heitor, Igor, Islânia, Railson, Raul, Renan, Stéfano, Stefanyo e Thiago por tantos momentos de felicidade juntos ao longo de tantos anos, vocês são verdadeiros irmãos;

Às verdadeiras amizades construídas desde a graduação e que ainda hei de perdurar por toda a eternidade, Raul e Bráulio, por tantas madrugadas a dentro entre provas e projetos, tudo valeu a pena;

Aos Selvagens do Centro de Informática, Alia, Aline, Angelina, Cláudio, Ícaro, Janielle, Liza, Marina, Maritan, Samara, Tati, Valdecir e Yeda, vocês sabem como tornar a diversão ainda mais divertida (Mulher-aranha que o diga);

Ao Sexteto, Allain e Eduarda, Matheus e Karol, Ulle e minha pessoa (afinal, são 6), por aqueles momentos de descontração que só vocês sabem proporcionar, "saaaaaaaabe".



## Resumo

Dados meteorológicos assim como suas previsões estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano. É muito comum, por exemplo, ver previsões meteorológicas em telejornais ou ainda alertas a determinadas localidades sobre um possível desastre natural prestes a ocorrer, como inundações, furacões, entre outros. Para a análise e disseminação destas informações são utilizadas técnicas de visualização sobre estes dados para que sejam apresentados ao público de maneira compreensível. Porém, nem sempre tal informação climática está apresentada de forma clara, dificultando o seu entendimento. Este trabalho de proposta de dissertação apresenta um estudo sobre as formas de representação mais utilizadas destas técnicas de visualização, buscando identificar quais são as principais técnicas e como utilizá-las nos mais diversos tipos de dados meteorológicos. Assim, foi realizado um mapeamento sistemático na área a fim de identificá-las, bem como suas formas de representação, seja em 2D, 3D ou até interativa. Por fim, uma avaliação de uso com usuários voluntários é proposta, buscando identificar o quão bem este tipo de informação é compreendida quando disseminando a informação sobre algum dado climático em específico.

**Palavras-chave:** Técnicas de Visualização, Dados Climáticos, Mapeamento Sistemático, Experiência de Usuário

## Abstract

Meteorological data as well as their predictions are increasingly present now a days. It is very common , for example, see weather forecasts on TV news or alerts to specific locations on a possible natural disaster about to occur, such as floods, hurricanes, among others. For the analysis and dissemination of this information, visualization techniques are used so that these data are presented to the public in an understandable way. But such climate information isn't always clearly presented, making it difficult to understand. This work of dissertation proposal presents a study about the most used forms of representation of these visualization techniques, trying to identify the main techniques and how to use them in most of the types of meteorological data. Thus, a systematic mapping was performed in the area in order to identify them, as well as their forms of representation, 2D, 3D or even interactive. Finally, an evaluation of use with volunteer users is proposed, seeking to identify how well this type of information is understood when disseminating information about a specific climate data.

**Keywords:** Visualization Techniques, Climate Data, Mapping Study, User Experience

# Conteúdo

|          |                                                                |          |
|----------|----------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                              | <b>1</b> |
| 1.1      | Contexto e Motivação . . . . .                                 | 2        |
| 1.2      | Objetivos . . . . .                                            | 4        |
| 1.2.1    | Objetivos Específicos . . . . .                                | 4        |
| 1.3      | Parcerias . . . . .                                            | 5        |
| 1.4      | Estrutura da Dissertação . . . . .                             | 6        |
| <b>2</b> | <b>Fundamentação Teórica: Visualização de Dados Climáticos</b> | <b>8</b> |
| 2.1      | Representação de Dados Meteorológicos . . . . .                | 10       |
| 2.2      | Técnicas de Visualização de Dados Climáticos . . . . .         | 13       |
| 2.2.1    | Gráfico de Séries Temporais . . . . .                          | 13       |
| 2.2.2    | Histogramas . . . . .                                          | 16       |
| 2.2.3    | Isolinhas . . . . .                                            | 17       |
| 2.2.4    | Mapeamento por cor . . . . .                                   | 20       |
| 2.2.5    | <i>Scatterplot</i> . . . . .                                   | 23       |
| 2.2.6    | Glifos . . . . .                                               | 24       |
| 2.2.7    | <i>Streamline</i> . . . . .                                    | 27       |
| 2.2.8    | <i>Height Mapping</i> . . . . .                                | 30       |
| 2.2.9    | Renderização de Volume . . . . .                               | 31       |
| 2.3      | Formas de Representação . . . . .                              | 33       |

---

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.1    | Representação n-dimensional . . . . .                 | 34        |
| 2.3.2    | Representação interativa . . . . .                    | 35        |
| <b>3</b> | <b>Revisão Sistemática da Literatura</b>              | <b>37</b> |
| 3.1      | Escopo e Questões de Pesquisa . . . . .               | 39        |
| 3.2      | Estratégias de Busca . . . . .                        | 40        |
| 3.2.1    | Critérios de Seleção . . . . .                        | 40        |
| 3.2.2    | Engenhos e <i>String</i> de busca . . . . .           | 41        |
| 3.2.3    | Extração e Síntese de Dados . . . . .                 | 42        |
| 3.2.4    | Ferramenta <i>Parsifal</i> . . . . .                  | 42        |
| 3.3      | Resultados Quantitativos . . . . .                    | 44        |
| 3.3.1    | Distribuição dos Trabalhos . . . . .                  | 45        |
| 3.4      | Resultados Qualitativos . . . . .                     | 49        |
| 3.4.1    | Compilação de técnicas de visualização . . . . .      | 50        |
| 3.4.2    | Exemplos de Uso de Técnicas de Visualização . . . . . | 51        |
| 3.4.3    | Avaliação de Uso . . . . .                            | 58        |
| 3.4.4    | Visualização Interativa . . . . .                     | 61        |
| 3.4.5    | Análise Comparativa . . . . .                         | 65        |
| <b>4</b> | <b>Experimentos</b>                                   | <b>72</b> |
| 4.1      | Identificação de Técnicas de Visualização . . . . .   | 72        |
| 4.2      | Caracterização do público-alvo . . . . .              | 75        |
| 4.3      | Ferramenta de Avaliação . . . . .                     | 76        |
| 4.3.1    | Formulário AttrakDiff . . . . .                       | 76        |
| 4.3.2    | Formulário VisAWI . . . . .                           | 77        |
| 4.3.3    | Condução dos Experimentos . . . . .                   | 79        |
| <b>5</b> | <b>Avaliação e Resultados Obtidos</b>                 | <b>84</b> |

|          |                                                                    |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1      | Cenário Utilizado . . . . .                                        | 85         |
| 5.2      | Análise Quantitativa . . . . .                                     | 87         |
| 5.2.1    | Entrevista . . . . .                                               | 87         |
| 5.2.2    | Quesito 1: As imagens são compreensíveis . . . . .                 | 92         |
| 5.2.3    | Quesito 2: As imagens são agradáveis . . . . .                     | 94         |
| 5.2.4    | Quesito 3: A composição de cores está mal ajustada . . . . .       | 95         |
| 5.2.5    | Quesito 4: As imagens precisam de informações adicionais . . . . . | 96         |
| 5.3      | Análise Qualitativa . . . . .                                      | 98         |
| 5.3.1    | Análise VisAWI . . . . .                                           | 98         |
| 5.3.2    | Análise AttrakDiff . . . . .                                       | 103        |
| <b>6</b> | <b>Considerações Finais</b>                                        | <b>111</b> |
| 6.1      | Conclusões . . . . .                                               | 111        |
| 6.2      | Contribuições . . . . .                                            | 113        |
| 6.3      | Trabalhos Futuros . . . . .                                        | 114        |
|          | <b>Referências Bibliográficas</b>                                  | <b>126</b> |
| <b>A</b> | <b>Ferramenta <i>Parsifal</i></b>                                  | <b>127</b> |
| <b>B</b> | <b>Formulário Utilizado</b>                                        | <b>138</b> |

# Lista de Símbolos

**IHC** : Interação Humano-Computador

**TSM** : Temperatura da Superfície do Mar

**CAPES** : Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior

**UFCG** : Universidade Federal de Campina Grande

**UFAL** : Universidade Federal de Alagoas

**UFPB** : Universidade Federal da Paraíba

**MSG** : Meteosat Segunda Geração

**INSA** : Instituto Nacional do Semiárido

**NOAA** : *National Oceanic and Atmospheric Administration*

**LAPIS** : Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite

**CPTEC** : Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

**SIG** : Sistema de Informação Geográfica

**RV** : Realidade Virtual

**RA** : Realidade Aumentada

**TUI** : *Tangible User Interface*

**CUDA** : *Compute Unified Device Architecture*

**ESM** : *Earth System Model*

**SOM** : *Self-organizing-map*

**QP** : Qualidade Pragmática

**QH** : Qualidade Hedônica

**QH - E** : Qualidade Hedônica - Estímulo

**QH - I** : Qualidade Hedônica - Identidade

**ATT** : Atratividade

**TCLE** : Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

**UX** : *User Experience*

**UACA** : Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

# Lista de Figuras

|      |                                                                                                                                                               |    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Temperatura máxima anual. Fonte: [Alder e Hostetler 2015]                                                                                                     | 13 |
| 2.2  | Temperatura média anual. Fonte: [NOAA]                                                                                                                        | 14 |
| 2.3  | Estatísticas de mortes causadas por eventos climáticos extremos. Fonte: [Shen et al. 2013]                                                                    | 15 |
| 2.4  | Mudanças sazonais de temperatura e velocidade. Fonte: [Sun et al. 2012]                                                                                       | 15 |
| 2.5  | Precipitação média. Fonte: [Anik et al. 2015]                                                                                                                 | 16 |
| 2.6  | Previsão de temperatura. Fonte: [Vision]                                                                                                                      | 17 |
| 2.7  | Tendência de temperatura do nordeste brasileiro. Fonte: [Braga, Paulo e Almeida]                                                                              | 18 |
| 2.8  | Regiões com diferentes potenciais de velocidade máxima. Fonte: [GeoCoops]                                                                                     | 19 |
| 2.9  | Pressão ao nível do mar na América do Sul. Fonte: [COLA]                                                                                                      | 20 |
| 2.10 | Previsão de temperatura da América do Sul medida em °C durante o período de 12/07/2017 a 20/07/2017 (acima) e 20/07/2017 a 28/07/2017 (abaixo). Fonte: [COLA] | 21 |
| 2.11 | Evapotranspiração do território brasileiro em mm/h. Fonte: [LAPIS]                                                                                            | 22 |
| 2.12 | Níveis de ozônio da camada de ozônio. Fonte: [MayaVi]                                                                                                         | 23 |
| 2.13 | Cálculo da árvore euclidiana de extensão mínima. Fonte: [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008]                                                               | 24 |
| 2.14 | Nuvem de atributo. Fonte: [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008]                                                                                             | 24 |

|      |                                                                                                                       |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.15 | Produção primária líquida de árvore perene tropical de folha larga.<br>Fonte: [Nocke, Flechsig e Bohm 2007] . . . . . | 25 |
| 2.16 | Condições extremas de fluxo oceânico. Fonte: [Nocke, Flechsig e<br>Bohm 2007] . . . . .                               | 26 |
| 2.17 | Utilização de glifos 3D para representar um furacão. Fonte: [Kehrer 2011]                                             | 26 |
| 2.18 | Orientação e velocidade do vento na América do Sul. Fonte: [COLA]                                                     | 28 |
| 2.19 | Monitoramento do vento. [earth] . . . . .                                                                             | 29 |
| 2.20 | Linha de corrente do vento. Fonte: [CPTEC] . . . . .                                                                  | 30 |
| 2.21 | Avaliação de <i>height mapping</i> . Fonte: [Johansson, Neset e Linnér 2010]                                          | 31 |
| 2.22 | Superfície terrestre em escala de cinza sob a técnica de <i>height mapping</i> .<br>Fonte: [JHT] . . . . .            | 31 |
| 2.23 | Campo de vento visualizado através de <i>streamlines</i> . Fonte: [Liu, Gong<br>e Yu 2015] . . . . .                  | 32 |
| 2.24 | Renderização de volume em conjunto com mapeamento por cor. Fonte:<br>[Bajaj] . . . . .                                | 33 |
| 3.1  | Etapas de um mapeamento sistemático . . . . .                                                                         | 38 |
| 3.2  | Número de artigos por técnicas de visualização . . . . .                                                              | 46 |
| 3.3  | Número de artigos por formas de representação . . . . .                                                               | 47 |
| 3.4  | Relação entre técnicas de visualização e formas de representação . . . .                                              | 48 |
| 3.5  | Utilização de streamlines e mapeamento por cor em tempestade . . . .                                                  | 52 |
| 3.6  | Padrões de seca do nordeste brasileiro . . . . .                                                                      | 53 |
| 3.7  | Uso do Interactive Map Projections . . . . .                                                                          | 54 |
| 3.8  | Visão geral dos dados produzidos após análise . . . . .                                                               | 55 |
| 3.9  | Diferentes fontes de CO2 reportadas pelo inventário do <i>Vulcan Project</i> .                                        | 56 |
| 3.10 | Uso de glifos, <i>scatterplots</i> e mapeamento por cor em correlação de tem-<br>peratura e pressão . . . . .         | 57 |
| 3.11 | Padrões espaciais da temperatura da superfície terrestre . . . . .                                                    | 58 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.12 | Uso do <i>height mapping</i> como forma de avaliação . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                             | 60 |
| 3.13 | Amostra do <i>Climate Quiz</i> . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 61 |
| 3.14 | Exemplo demonstrativo de como gradientes de temperatura podem ser visualizados e interativamente explorados em contexto físico utilizando o display tomográfico in situ . . . . .                                                                                                                                          | 62 |
| 3.15 | <i>WeatherPlay</i> : a) mapa de regiões. b) região selecionada pelo usuário . .                                                                                                                                                                                                                                            | 63 |
| 3.16 | Exemplo de edição de mapa. a) Dado bruto de satélite em escala de cinza. b) Porção da imagem sendo pintada por usuário. c) O "excesso de tinta"em cada pixel sendo armazenado em uma imagem-máscara. d) Processo repetitivo de utilização da máscara para determinar quais pontos se referem aos pixels pintados . . . . . | 64 |
| 3.17 | Representação do cenário no tempo atual (acima) e no ano de 2222 após mudanças climáticas (abaixo) . . . . .                                                                                                                                                                                                               | 65 |
| 4.1  | Visão geral do formulário AttrakDiff. Fonte: [AttrakDiff] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                        | 77 |
| 4.2  | Visão geral do Formulário VisAWI. Fonte: [VisAWI] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                | 78 |
| 5.1  | Modelo das etapas utilizadas para avaliação dos usuários . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                         | 86 |
| 5.2  | Grau de escolaridade dos usuários voluntários . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                    | 88 |
| 5.3  | Faixa etária dos usuários voluntários não-especialistas . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                          | 89 |
| 5.4  | Nível de conhecimento dos participantes em visualização climática . . .                                                                                                                                                                                                                                                    | 90 |
| 5.5  | Nível de conhecimento dos participantes em técnicas de visualização . .                                                                                                                                                                                                                                                    | 91 |
| 5.6  | Situações em que os usuários não-especialistas tiveram contato com visualização climática . . . . .                                                                                                                                                                                                                        | 92 |
| 5.7  | Q1: Dados quantitativos . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 93 |
| 5.8  | Q2: Dados quantitativos . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 94 |
| 5.9  | Q3: Dados quantitativos . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 96 |
| 5.10 | Q4: Dados quantitativos . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 97 |

|      |                                                                                                                 |     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.11 | Isolinhas - Análise qualitativa . . . . .                                                                       | 99  |
| 5.12 | Mapeamento por Cor - Análise qualitativa . . . . .                                                              | 100 |
| 5.13 | <i>Streamlines</i> - Análise qualitativa . . . . .                                                              | 101 |
| 5.14 | Formulário AttrakDiff - Descrição dos pares de conceitos . . . . .                                              | 104 |
| 5.15 | Formulário AttrakDiff - Diagrama de valores médios . . . . .                                                    | 107 |
| 5.16 | Formulário AttrakDiff - Portfólio de resultados . . . . .                                                       | 110 |
|      |                                                                                                                 |     |
| A.1  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Home Page . . . . .                                                                | 127 |
| A.2  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Review . . . . .                                                                   | 128 |
| A.3  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Planning, Protocolo . . . . .                                                      | 129 |
| A.4  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Planning, Checklist de avaliação de qualidade . . . . .                            | 129 |
| A.5  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Planning, Forma de extração de dados . . . . .                                     | 130 |
| A.6  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Conducting, Busca . . . . .                                                        | 131 |
| A.7  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Conducting, Artigos científicos importados com<br>aplicação de critérios . . . . . | 132 |
| A.8  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Conducting, Seleção de artigos científicos . . . . .                               | 133 |
| A.9  | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Conducting, Avaliação de qualidade . . . . .                                       | 134 |
| A.10 | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Conducting, Extração de dados . . . . .                                            | 135 |
| A.11 | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Conducting, Análise de dados . . . . .                                             | 136 |
| A.12 | Ferramenta <i>Parsifal</i> - Reporting, Dados para planilhas . . . . .                                          | 137 |
|      |                                                                                                                 |     |
| B.1  | Formulário - Apresentação . . . . .                                                                             | 139 |
| B.2  | Formulário - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) . . . . .                                        | 140 |
| B.3  | Formulário - Entrevista . . . . .                                                                               | 143 |
| B.4  | Formulário - Técnicas de visualização utilizadas . . . . .                                                      | 144 |
| B.5  | Formulário baseado no VisAWI - Isolinhas . . . . .                                                              | 148 |
| B.6  | Formulário baseado no VisAWI - Mapeamento por cor . . . . .                                                     | 152 |
| B.7  | Formulário baseado no VisAWI - <i>Streamlines</i> . . . . .                                                     | 156 |

---

|     |                                            |     |
|-----|--------------------------------------------|-----|
| B.8 | Formulário baseado no AttrakDiff . . . . . | 163 |
|-----|--------------------------------------------|-----|

# Lista de Tabelas

|     |                                                                  |     |
|-----|------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1 | Técnicas de visualização de dados climáticos agrupadas . . . . . | 12  |
| 3.1 | Critérios de Seleção . . . . .                                   | 41  |
| 3.2 | Trabalhos classificados de acordo com sua relevância . . . . .   | 45  |
| 3.3 | Trabalhos listados no Capítulo 2 . . . . .                       | 50  |
| 3.4 | Análise de técnicas e ferramentas mais utilizadas . . . . .      | 59  |
| 3.5 | Análise Comparativa . . . . .                                    | 69  |
| 3.6 | Trabalhos Relacionados . . . . .                                 | 70  |
| 4.1 | Critérios para seleção das técnicas de visualização . . . . .    | 73  |
| 4.2 | Formulário VisAWI - Escala de 1 a 7 . . . . .                    | 81  |
| 4.3 | Formulário AttrakDiff - Pares de conceitos . . . . .             | 83  |
| 5.1 | Análise dos diagramas . . . . .                                  | 102 |

# Capítulo 1

## Introdução

A área da Interação Humano-Computador (IHC) está relacionada a funcionalidade, projeto e avaliação de sistemas computacionais, ela visa proporcionar uma experiência de usuário efetiva e agradável para os indivíduos. Fatores humanos são, portanto, extremamente importantes para o desenvolvimento e produção de sistemas computacionais eficazes e eficientes [Karray et al. 2008], [Harper et al. 2008].

De acordo com [Tavares e Barbosa 2014], novos formatos e tecnologias trazem novas possibilidades. O design de uma interface de usuário efetiva é tanto um desafio quanto uma grande oportunidade para promover soluções multidisciplinares e inovadoras que estimulam diversas habilidades integradas em uma equipe criativa.

Nesse sentido, o crescente avanço das tecnologias de um modo geral, desde modelos matemáticos até sistemas de monitoramento com capacidades continentais vêm possibilitando dados mais precisos à respeito do clima. Inúmeras técnicas e métodos são utilizados para tal propósito, seja para o design de imagens climáticas para divulgação ou mesmo sistemas cujo objetivo é informar determinada população à respeito de possíveis desastres que venham ocorrer devido às condições críticas do clima local. Fato este alvo da investigação científica deste trabalho.

## 1.1 Contexto e Motivação

A mídia, em uma abordagem geral, divulga constantemente informações a respeito do clima, como localidades propensas a chuvas, furacões, aumento ou diminuição de temperatura, entre outros. Informações desta natureza são imprescindíveis em todo e qualquer veículo de comunicação, como telejornais. A informação repassada de forma incorreta ou mesmo incompleta prejudica não só a compreensão da mesma mas também é um problema de cunho mais grave, visto que pode gerar interpretações equivocadas sobre diferentes fenômenos naturais que poderiam ocorrer em diferentes locais.

O uso de dados meteorológicos como divulgação da informação é bastante comum no dia a dia e é, portanto, importante que seja repassada de forma simples, completa e objetiva para que seja bem compreendida pelo público em geral, visto que a informação divulgada atingirá uma ampla escala de cobertura.

Em uma visão mais técnica, estes dados meteorológicos são uma alternativa para prover informações em tempo real, que podem ser acessadas online e cobrem boa parte das localidades do mundo, de acordo com [Mason et al. 2015]. Normalmente para cada tipo de dado, seja de temperatura, de posição e velocidade do vento ou de pressão atmosférica, existe um tipo de técnica de visualização que pode ser utilizada para evidenciar a informação que se deseja representar. É muito comum fazer uso de mapas ou imagens climáticas para descrever o clima de uma determinada região ou localidade. [Santos e Oliveira 2017], por exemplo, analisam as tendências da temperatura do ar e precipitação em 13 localidades do estado do Pará, utilizando dados diários das temperaturas máxima e mínima do ar e precipitação, gerando mapas que fazem uso de algumas técnicas de visualização e observaram que o número de dias e noites quentes por ano tem aumentado e proporcionando assim uma redução significativa dos dias e noites frias sobre o estado.

Em diversos trabalhos o objetivo não é apenas a análise e difusão de condições climáticas, mas a prevenção de eventos causados por condições meteorológicas extremas,

como inundações, tempestades, furacões, entre outros, como em [Nóbrega et al. 2014] e [Santos e Manzi 2010] que identificaram tendências de índices extremos de precipitação sobre o estado da Paraíba e do Ceará, respectivamente, associando-os com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico. Eventos estes que não só degradam a natureza como também representam alto risco para a sociedade em geral, tanto economicamente, podendo até superar orçamentos governamentais, quanto o perigo em si a cada indivíduo residente daquele local ou zona de desastre.

A ocorrência de fenômenos meteorológicos é um problema ao qual todos estamos sujeitos, tendo como principais fatores variantes o tipo de evento e qual a sua intensidade, de acordo com a localização geográfica afetada. Para gerenciar esse tipo de situação, diversos meios de monitoramento são utilizados para, através de coleta e análises de dados meteorológicos, prever onde, quando, qual o tipo de evento e com qual intensidade ele pode ocorrer.

Como forma de representar os resultados dessas análises, uma pesquisa inicial nessa área constatou que há uma diversidade de técnicas de visualização para eventos meteorológicos, mas que não há uma relação de associação entre determinada técnica e tipo de dado climático envolvido. [Tominski, Donges e Nocke 2011], por exemplo, avaliam quais técnicas são as mais utilizadas entre pesquisadores; [Johansson, Neset e Linnér 2010] avaliam o uso de uma técnica em específico em quesitos de estética. Nota-se, então, a ausência de trabalhos cujo foco seja na identificação ou na classificação das melhores formas de representação para cada tipo de dado meteorológico na perspectiva do usuário.

Com base nessas observações, este trabalho tem como **objetivo** efetuar uma avaliação de uso com usuários quanto ao uso de técnicas de visualização associadas aos tipos de dados meteorológicos. Para isto, foi executado uma revisão sistemática da literatura a fim de buscar um amplo conhecimento acerca do estudo de dados climáticos, identi-

ficando as técnicas de visualização mais utilizadas, suas formas de representação e em que situações elas são utilizadas. Após esta fase de aquisição de conhecimentos, inicia-se a fase de interação com o usuário, que foi feita através de um formulário com o intuito de avaliar o seu nível de compreensão quanto às técnicas utilizadas para representar tais dados, visto que nem sempre tais informações são facilmente compreendidas.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar diferentes técnicas de visualização de dados meteorológicos e quantificar seu impacto na experiência do usuário na visualização destes dados.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são necessários:

1. Realização de um mapeamento sistemático para catalogar as técnicas de visualização mais utilizadas e suas relações com dados climáticos;
2. Elaboração de um questionário para avaliação de uso;
3. Identificação de técnicas e imagens a serem utilizadas como alvo do estudo;
4. Realização de experimentos para avaliação com usuários, buscando aprimorar a experiência do mesmo, identificando o grau de entendimento destes quando apresentados à diferentes técnicas de visualização sob diferentes fenômenos naturais.

Assim, ao considerar a perspectiva de usuário, espera-se auxiliar o entendimento do mesmo quanto à forma de representação de técnicas de visualização, por serem elementos críticos na visualização de dados meteorológicos. Dados estes que são utilizados por

sistemas para os mais diversos fins, desde a divulgação de fenômenos até alertas sobre situações críticas.

## 1.3 Parcerias

Este trabalho é do projeto **Análise e Previsão dos Fenômenos Hidrometeorológicos Intensos do Leste do Nordeste Brasileiro** aprovado pela CAPES no Edital 24/2014 - Pró-Alertas.

Neste projeto, busca-se 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. Além disso, o projeto explora a análise e previsão dos fenômenos hidrometeorológicos intensos para a costa leste do Nordeste Brasileiro. A previsão de fenômenos intensos é um problema de localização, tempo e intensidade. Isso demanda um sistema de previsão numérica em alta resolução espacial, associado ao monitoramento com uso de satélites e radares meteorológicos. Este projeto de ensino e pesquisa é organizado em conjunto e as linhas específicas que o projeto aborda são: Desenvolvimento de produtos derivados de informações de satélites ambientais, radares meteorológicos ou outros sistemas de monitoramento indireto da atmosfera.

Neste projeto destaca-se a integração dos laboratórios:

- LAPIS<sup>1</sup> (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

---

<sup>1</sup><http://www.lapismet.com/>

tempo de curto prazo (*nowcasting*).

- INSA <sup>2</sup> (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

Este trabalho está estruturado nos seguintes capítulos:

### **Capítulo 1: Introdução**

Este capítulo destina-se a contextualizar o trabalho de forma geral, descrevendo o problema e qual a solução proposta, para então apresentar os objetivos gerais e específicos a serem atingidos com esta pesquisa.

### **Capítulo 2: Fundamentação Teórica: Visualização de Dados Climáticos**

Apresenta uma abordagem mais específica na área, expondo conceitos relevantes para o entendimento do trabalho proposto, com o objetivo de fundamentar os capítulos posteriores.

### **Capítulo 3: Revisão Sistemática da Literatura**

Nesta capítulo é realizada uma revisão sistemática da literatura em relação aos conceitos que são importantes no contexto do trabalho apresentado, identificando diversos trabalhos que serviram de base para a investigação da avaliação proposta, exibindo analogias entre si e com o trabalho proposto.

### **Capítulo 4: Experimentos**

---

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

Descreve os métodos e ferramentas utilizados para a realização da avaliação proposta com usuários.

### **Capítulo 5: Avaliação e Resultados Obtidos**

Este capítulo descreve detalhadamente o processo de avaliação realizado com usuários voluntários, apresentando os resultados sob análises quantitativas, qualitativas e comparativas.

### **Capítulo 6: Considerações Finais**

Finalmente, este capítulo apresenta as considerações finais acerca do trabalho exposto, exibindo um sumário dos resultados, as contribuições do trabalho e trabalhos ou investigações futuras.

## Capítulo 2

# Fundamentação Teórica: Visualização de Dados Climáticos

Notícias a respeito do clima estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano, assim como é frequente o acesso a informações climáticas, como previsões do tempo. Há, portanto, uma necessidade de difusão de informação ao público de todas as idades, sejam o público especializado ou geral. Desta forma, a informação deve chegar ao usuário final de forma coerente em termos de visualização.

Conforme o trabalho de [Dasgupta et al. 2015], muitos meteorologistas utilizam da visualização como uma maneira de localizar rapidamente dados climáticos relevantes em meio aos dados provenientes de previsão. Esses meteorologistas muitas vezes integram mentalmente múltiplas informações de visualização, que utilizam uma ampla gama de convenções de codificação e são, portanto, complexos para serem apenas captados mentalmente. Isto pode gerar falhas no design e na interpretação de visualizações, além de imprecisão e ineficiência nos dados analisados e disponibilizados, entre outras consequências.

De acordo com [Johansson, Neset e Linnér 2010], visualização é uma poderosa ferramenta persuasiva, que pode fornecer entendimento intuitivo e complexo sobre de-

terminado dado. Ou seja, a visualização visa comunicar a informação de forma clara e eficiente. O que não quer dizer que a mesma tenha de ser entediante para ser funcional ou muito sofisticada para parecer agradável. O ideal é mesclar ambas as ideias, tanto a estética quanto a funcional necessitam uma da outra, tornando a análise de dados complexos compreensível e intuitiva. [Kehrer 2011] vai mais além, dividindo os objetivos da visualização em três grandes casos de uso:

1. Exploração visual, que trata da investigação de características desconhecidas dos dados a fim de propor hipóteses;
2. Análise visual, representando a análise de aspectos dos dados para confirmar ou rejeitar as hipóteses;
3. Apresentação, que, como o próprio nome sugere, procura disseminar os resultados a diferentes públicos.

A exploração visual de dados utiliza a habilidade única da visão para detectar padrões e, portando, auxiliar usuários a identificar características relevantes do conjunto de dados, como pontos representando alguma grandeza de estudo em uma imagem, elaborando, assim, hipóteses sobre estes dados. Na análise visual, as hipóteses resultantes sobre os dados podem então serem quantitativamente avaliadas e confirmadas por uma análise estatística, para que sejam apresentados os resultados ao público.

A visualização tem se mostrado uma ferramenta eficiente em estudos climáticos e há muitas técnicas de visualização, como isolinhas [Mendonça 2001], mapeamento por cor [Andrysko, Benes e Gurney 2008], histogramas [Anik et al. 2015], *scatterplot* [Nocke, Schumann e Böhm 2004], entre outros. Estas técnicas apresentam resultados de análises e abrem um leque de possibilidades no estudo de dados meteorológicos. Muitos trabalhos da área também exploram o seu uso, [Tominski, Donges e Nocke 2011], por exemplo, realizaram um questionário com pesquisadores da área e constataram que

técnicas de visualização tradicionais 2D são as mais utilizadas. Com o avanço de visualização da informação, mais pesquisadores aplicaram o estado da arte de técnicas de visualização em estudos climáticos. [Johansson, Neset e Linnér 2010] utilizaram uma plataforma SIG para apresentar dados meteorológicos; [Li, Zhang e Meng 2014] inclui três modelos de visualização, focando em analisar mudanças climáticas e avaliar sua usabilidade em outras aplicações; [Janicke et al. 2009] estudaram como visualizar as variações do clima; entre outros.

Em se tratando de técnicas de visualização de dados climáticos, é de grande importância que cada técnica utilizada represente de forma objetiva o tipo de informação meteorológico que se deseja transmitir, a fim de que o entendimento da visualização de tal dado não se torne algo de difícil compreensão. Para isto, é necessário conhecimento a respeito das técnicas existentes, assim como a utilidade de cada uma a respeito do tipo de fenômeno estudado. Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos e classificações teóricas e práticas que respaldam o presente trabalho, como quais são as técnicas de visualização mais utilizadas, quais suas formas de representação e como classificá-las.

## **2.1 Representação de Dados Meteorológicos**

Para [Fry 2004], o processo de entendimento de dados é dividido em sete passos, desde a captura até a interação: aquisição, análise, filtração, mineração, representação, refinamento e interação. Tais etapas podem ser aplicadas a toda e qualquer área do conhecimento. Para o processo de visualização climática, cada etapa possui um conjunto de tarefas distintas.

A aquisição, neste caso, trata-se da captura dos dados de satélites, ou imagens; a análise ordena cada imagem em categorias, de acordo com o tipo de informação que se deseja obter; na etapa de filtração, são removidas todas as informações desnecessárias

para estudo; as técnicas de visualização são aplicadas na etapa de mineração, de forma a definir padrões de grandeza; tais imagens são então apresentadas para que possam ser refinadas e seu conteúdo aprimorado, permitindo interação com o dado.

Já [Healey e Sawant 2012] vão além, ressaltando os desafios e elucidando questões críticas para a concepção da visualização de forma efetiva:

- Resolução, o número total de pixels alocados para um objeto na tela ou elemento necessário para produzir apenas diferenças visíveis em sua aparência visual;
- Ângulo visual, o tamanho físico, medido em graus de ângulo visual subentendido, que um objeto ou elemento se forma na retina do espectador para produzir diferenças em sua aparência visual;
- Visualização de parâmetros, a quantidade de dados que está sendo exibida, seu formato na tela e a velocidade em que é mostrado ao espectador;
- Técnicas de visualização, o tipo e o número de recursos visuais exibidos e os métodos utilizados para mapear as informações de dados para suas representações visuais correspondentes;
- Propriedades do conjunto de dados sendo visualizados e as tarefas de análise sendo executadas pelo espectador.

Segundo [Ahern et al. 2006], a escolha de técnicas de visualização para um domínio específico da ciência é um processo de refinamento gradual que deve ser verificável, expositivo e transmissível em relação à ciência. A visualização deve ter uma relação quantitativa clara com os dados, expor e suportar habilmente algum elemento de relevância científica nos dados e facilitar a transferência de conhecimento. Portanto, as técnicas de visualização de dados meteorológicos visam facilitar a interpretação de inúmeras tabelas de dados preenchidos com uma grande quantidade de números, transformando estes dados em representações visuais e aprimorando sua compreensão.

Essas técnicas são agrupadas de acordo com alguns fatores. Existem diversas classificações na literatura para tais técnicas. [Shneiderman 1996], por exemplo, classificou as técnicas de acordo com os tipos de dados (1D, 2D, 3D, multidimensional, temporal, árvore e rede) e tarefas de usuário (visão geral, *zoom*, filtro, detalhes em demanda, relação, história e extração); [Silva e Catarci 2000] classificam baseados na visualização e características de interação; [Wolfgang e Schumann 2003] as estruturam em estáticas e dinâmicas; [Tory e Moller 2004] agrupam as técnicas de acordo com as características dos modelos de dados empregados; entre outros.

Apesar da diversidade entre os autores estas técnicas podem ser classificadas, além de suas dimensões, em escalar e vetorial, diferenciando aquelas técnicas que necessitam apenas de um valor numérico (escalares) daquelas que além disso, também fazem o uso de direção e sentido (vetoriais), como apresentados em Tabela 2.1:

|                    | 2D                                                                                                 | 3D                     |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Técnicas Escalares | Gráficos (tem-porais, barras), histogramas, isolinhas, <i>height mapping</i> , <i>scatter-plot</i> | Renderização de volume |
| Técnicas Vetoriais | Mapeamento por cor, <i>streamline</i> , glifos                                                     | glifos                 |

Tabela 2.1: Técnicas de visualização de dados climáticos agrupadas

## 2.2 Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

Devido à diversidade de tipos de dados meteorológicos apresentados, existem as mais variadas técnicas de visualização, envolvendo combinação de cores, linhas, gráficos em geral, símbolos, entre outros. A natureza de determinada técnica está associada ao tipo de dado que se deseja representar. Temperatura, por exemplo, normalmente está associada à uma escala de cores, enquanto que vento está associada à linhas de fluxo contínuo, representando sua orientação e velocidade. Na maioria dos casos, mais de uma técnica é utilizada para representar estas e outras grandezas.

### 2.2.1 Gráfico de Séries Temporais

Esta técnica pode ser exemplificada através de gráficos temporais em que a variação da grandeza a ser medida é feita em pontos (ou *plots*). Um gráfico de séries temporais exibe observações no eixo y contra intervalos de tempo igualmente espaçados no eixo x. São frequentemente usados para examinar variações diárias, semanais, de sazonalidade ou anuais, ou efeitos antes-e-depois de uma mudança no processo.

Figura 2.1 apresenta um exemplo de uso da ferramenta National Climate Change Viewer USGS, [Alder e Hostetler 2015], mostrando a temperatura máxima anual. O gráfico representa simulações da temperatura histórica (azul) e futura (vermelho).

Figura 2.1: Temperatura máxima anual. Fonte: [Alder e Hostetler 2015]

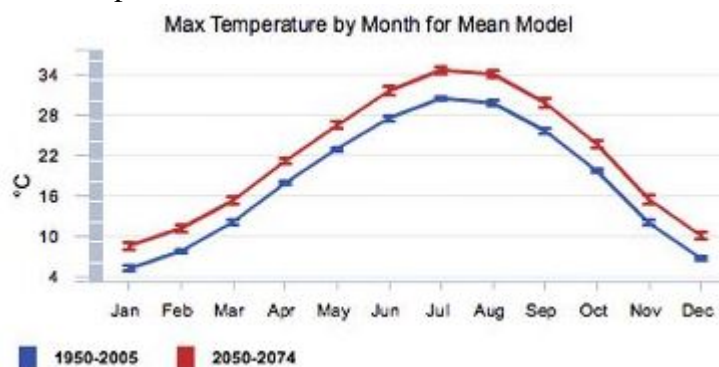
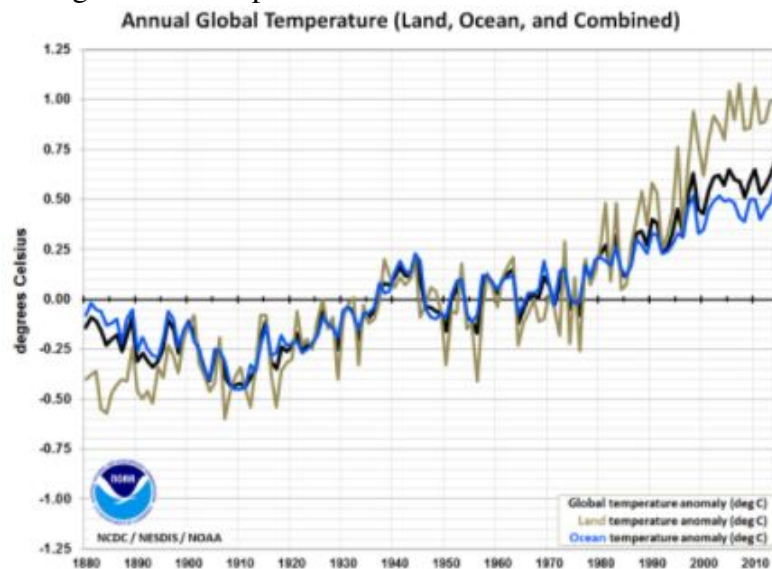


Figura 2.2 representa um gráfico mostrando a temperatura anual média da terra (marrom), dos oceanos (azul) e global (preto) pela Administração Oceânica e Atmosférica<sup>1</sup> (NOAA, do inglês *National Oceanic and Atmospheric Administration*).

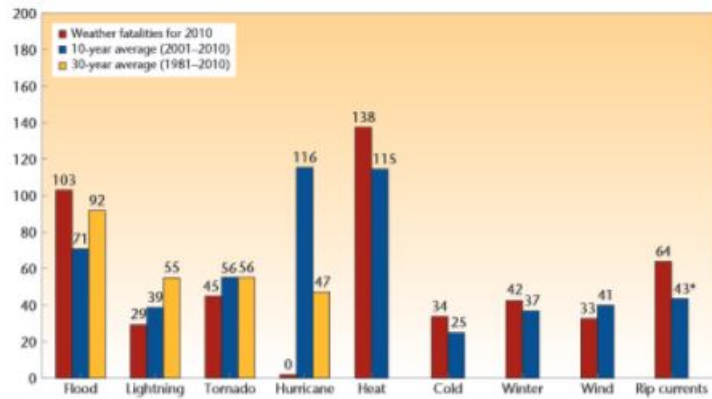
Figura 2.2: Temperatura média anual. Fonte: [NOAA]



Um outro gráfico, no trabalho de [Shen et al. 2013] em Figura 2.3, são apresentadas as estatísticas de mortes causadas por eventos climáticos extremos durante os últimos 10 anos (azul) e 30 anos (amarelo). As estatísticas de 2001-2010 mostram que o furacão é o evento climático extremo mais causador de mortes.

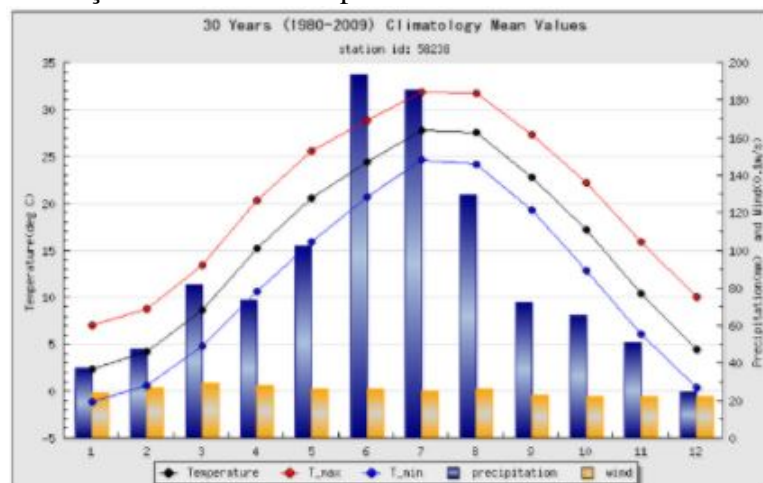
<sup>1</sup><http://www.noaa.gov/>

Figura 2.3: Estatísticas de mortes causadas por eventos climáticos extremos. Fonte: [Shen et al. 2013]



Em outro estudo, [Sun et al. 2012] apresentam um gráfico, Figura 2.4, ilustrando mudanças sazonais de temperatura e velocidade do vento em Nanjing, na China. As linhas temporais mostram que a temperatura mensal (média diária e máxima/mínima diária) é menor em janeiro e maior em julho e agosto, indicando uma diferença de 25°C entre o inverno e o verão. Curiosamente a velocidade do vento desta estação, representada por um histograma, não apresenta mudanças sazonais significativas.

Figura 2.4: Mudanças sazonais de temperatura e velocidade. Fonte: [Sun et al. 2012]

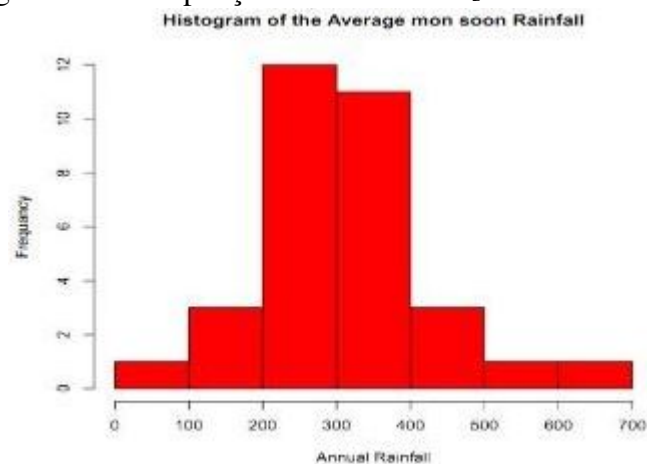


### 2.2.2 Histogramas

É uma representação gráfica, na forma de barras, da distribuição de frequências de um conjunto de dados quantitativos contínuos. O histograma pode ser um gráfico por valores absolutos ou frequência relativa ou densidade, desde que sejam arranjados em intervalos contínuos no qual a mudança de um desses valores não seja possível, como em típicos gráficos de barras que utilizam categorias em sua distribuição ao invés de intervalos. Assim, o usuário obtém informações quantitativas sobre a distribuição sem prejudicar a visualização dos dados.

Em Figura 2.5, [Anik et al. 2015] utilizam um histograma para representar a precipitação média de monções. Interpretando-o, pode-se estimar a distribuição de probabilidade de uma variável contínua. O eixo X corresponde à unidade média de chuva e o eixo Y corresponde à frequência.

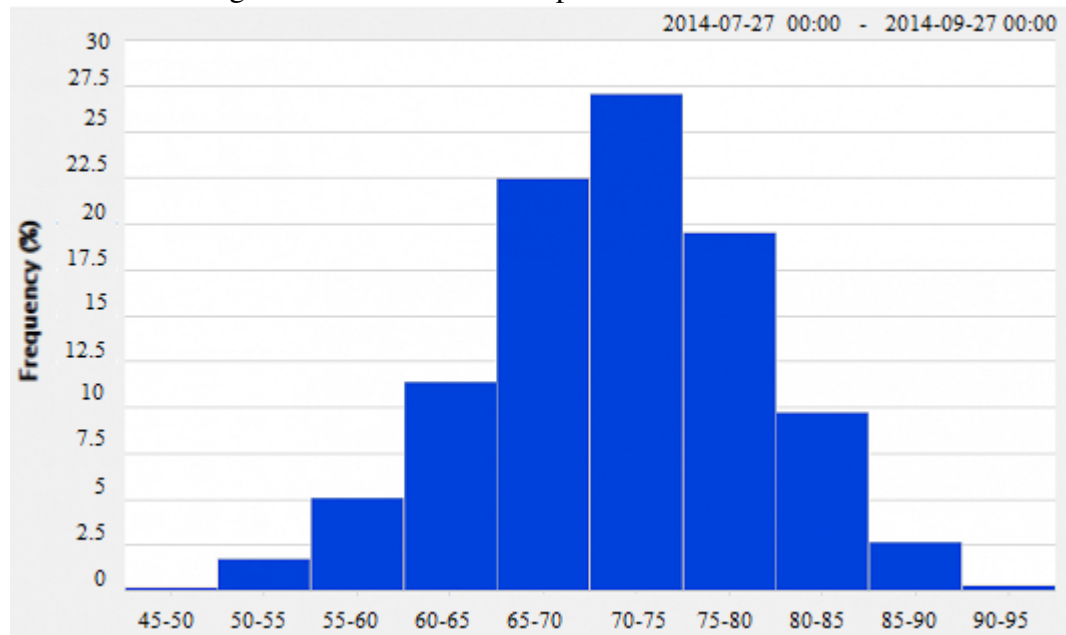
Figura 2.5: Precipitação média. Fonte: [Anik et al. 2015]



O histograma apresentado através do Vista Data Vision<sup>2</sup> apresenta, neste caso, a previsão de temperatura no intervalo de julho a setembro de 2014 em °F.

<sup>2</sup>Ferramenta para soluções de monitoramento

Figura 2.6: Previsão de temperatura. Fonte: [Vision]



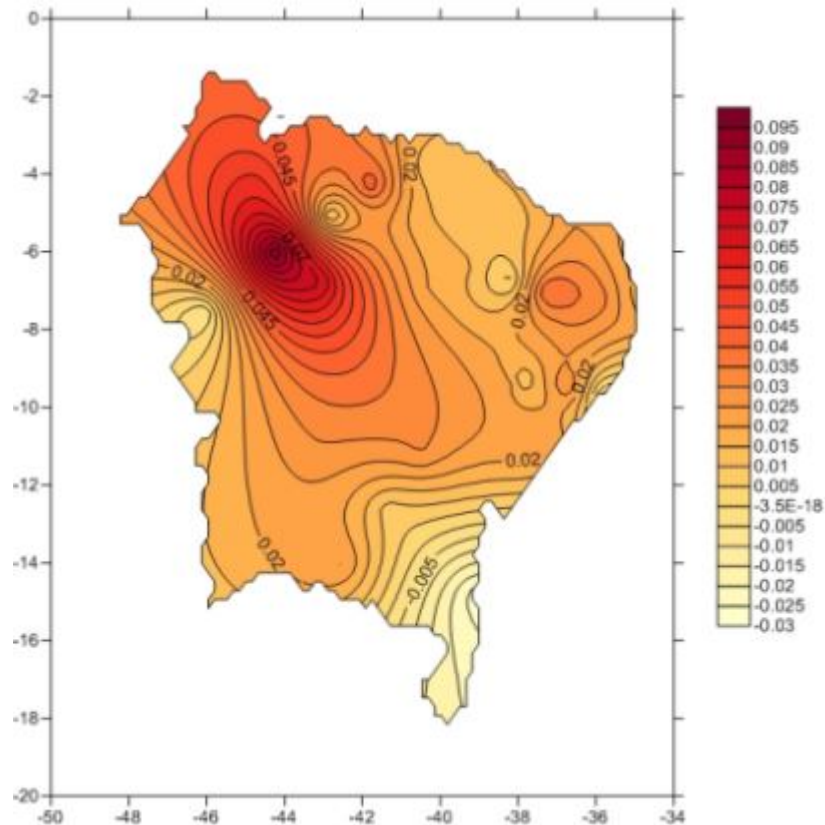
### 2.2.3 Isolinhas

Um método frequentemente usado para representar a distorção nas projeções de um mapa são as isolinhas, para mostrar regiões de distorção angular ou regional igual. São, na prática, linhas sobre a superfície de determinada região que diferencia uma das outras, fornecendo informações valiosas sobre a geometria desta região e suas propriedades. É bastante utilizada devido à sua simplicidade. Por exemplo, em um mapa topográfico elas podem representar a altura acima de algum plano fixado nas coordenadas do mundo.

Este método é útil porque dá ao usuário uma idéia do padrão geral de distorção na projeção, mas as linhas podem interferir com a informação geográfica representada e, na prática, esta técnica é limitada para mostrar valores discretos. Quando utilizada com cores, as isolinhas são preenchidas com a cor da superfície do objeto, associando-se a cada isolinha uma cor.

No trabalho de [Braga, Paulo e Almeida] as isolinhas são utilizadas para representar a tendência de temperatura para o período chuvoso do nordeste brasileiro em 2012, como pode ser observado em Figura 2.7.

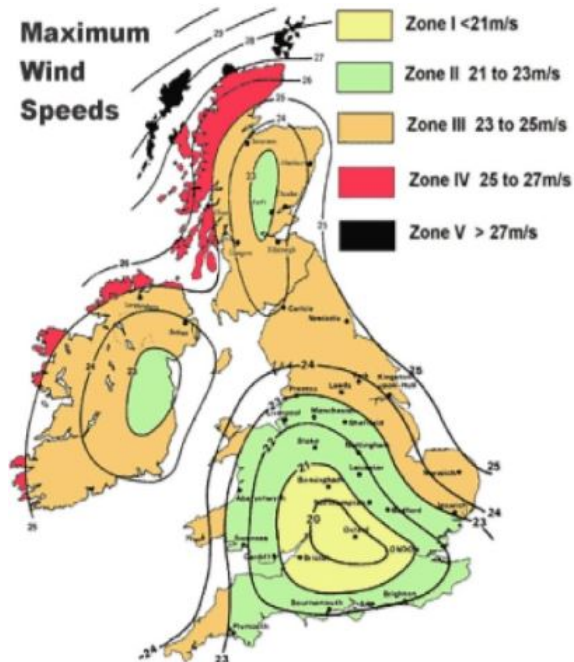
Figura 2.7: Tendência de temperatura do nordeste brasileiro. Fonte: [Braga, Paulo e Almeida]



Em outro uso desta técnica, GeoCoops<sup>3</sup> a utilizou para diferenciar regiões com diferentes potenciais de velocidade máxima do vento no Reino Unido, mostrado em Figura 2.8.

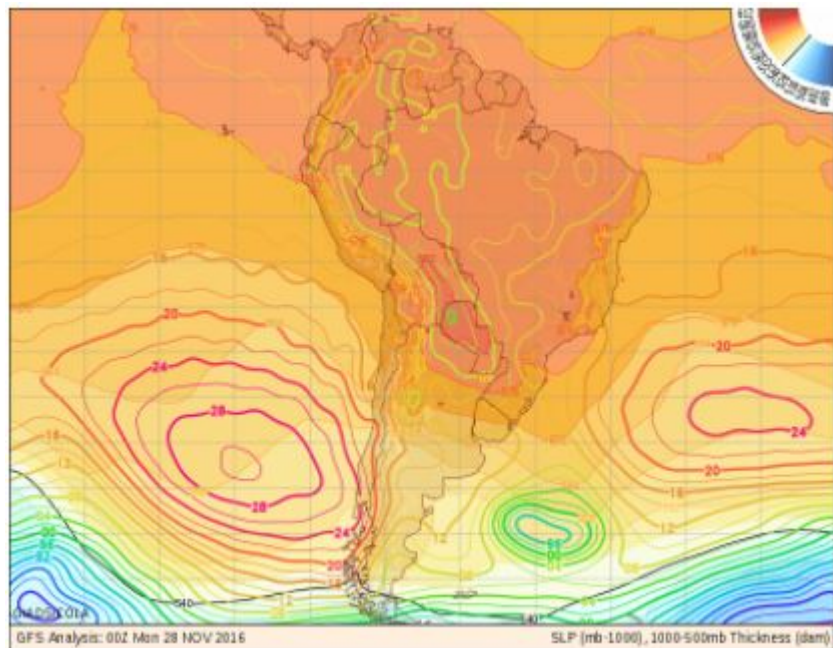
<sup>3</sup>Cooperativa formada por uma rede qualificada de especialistas em geociências ativas nos domínios do ambiente e planejamento urbano

Figura 2.8: Regiões com diferentes potenciais de velocidade máxima. Fonte: [GeoCo-ops]



Um outro uso misto de técnicas pode ser observado em Figura 2.9, onde são utilizadas isolinhas em conjunto com mapeamento por cor para demonstração da pressão ao nível do mar na América do Sul no dia 28/11/2016.

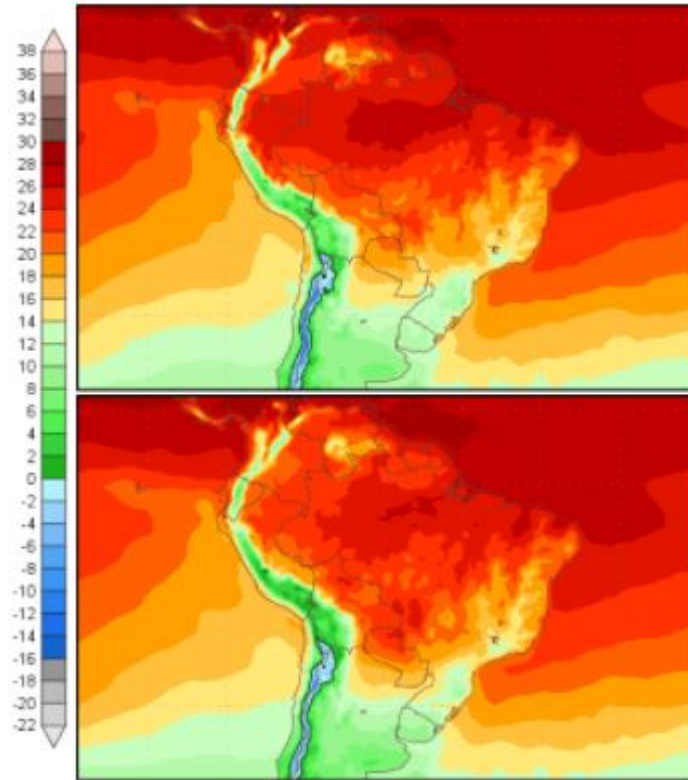
Figura 2.9: Pressão ao nível do mar na América do Sul. Fonte: [COLA]



#### 2.2.4 Mapeamento por cor

O mapeamento por cor é uma das maneiras mais usuais de exibir informação escalar sobre uma superfície ou para diferenciar regiões umas das outras em uma mesma imagem através de uma escala de cores. Normalmente são utilizadas para codificar temperaturas, vegetações, nível de pressão, entre outros, [Mendonça 2001]. No trabalho de [Samsel et al. 2015], esta técnica é utilizada de forma aninhada para ressaltar áreas de interesse, ou mesmo áreas pouco perceptíveis, em oceanos. Foram utilizadas cores em escala do azul ao verde, ao invés do convencional azul-vermelho. Um outro exemplo de uso desta técnica é apresentado em Figura 2.10.

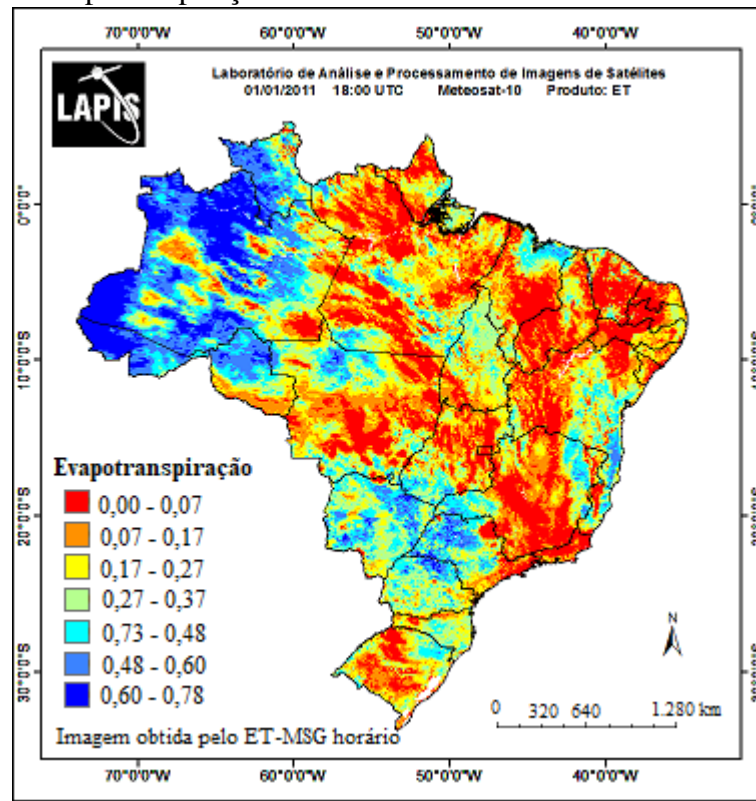
Figura 2.10: Previsão de temperatura da América do Sul medida em °C durante o período de 12/07/2017 a 20/07/2017 (acima) e 20/07/2017 a 28/07/2017 (abaixo). Fonte: [COLA]



O uso da cor é, em alguns casos, preferível ao uso de isolinhas porque uma representação visual de mudança contínua de certa magnitude fornece informações mais completas do que as linhas discretas que representam a mesma magnitude. Além disso, o mapeamento por cor não apresenta linhas adicionais que podem ser confundidas entre si com outras informações geográficas como, por exemplo, a divisão política de determinado território.

O LAPIS utilizou esta técnica, em um dos exemplos de mapas topográficos disponíveis, para demonstrar a evapotranspiração (em mm/h) do território brasileiro em 01/01/2011, como pode ser observado em Figura 2.11.

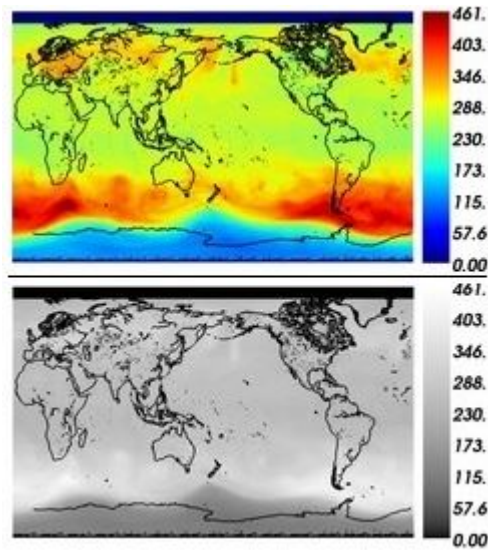
Figura 2.11: Evapotranspiração do território brasileiro em mm/h. Fonte: [LAPIS]



Em outro exemplo, apresentado em Figura 2.12, é possível visualizar os níveis de ozônio na camada de ozônio através do MayaVi<sup>4</sup>, medidos em unidade de Dobson, no dia 01/10/2005. As cores variam do azul (baixo nível de ozônio) até vermelho (alto nível de ozônio) (acima) e também em escala de cinza (abaixo).

<sup>4</sup>Ferramenta de visualização de dados científicos

Figura 2.12: Níveis de ozônio da camada de ozônio. Fonte: [MayaVi]



### 2.2.5 Scatterplot

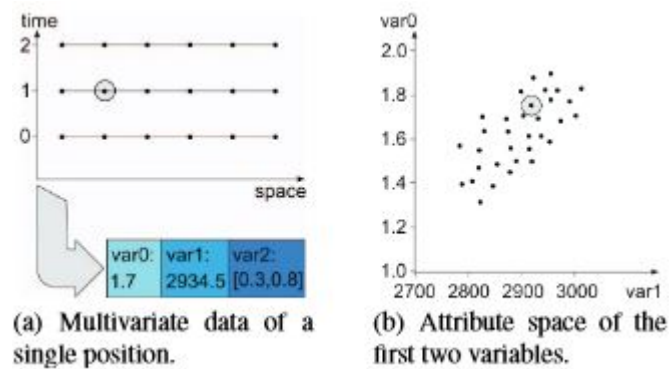
*Scatterplots* são pontos que utilizam coordenadas cartesianas para demonstrar valores, geralmente de duas variáveis, de um conjunto de dados. Os dados são dispostos em uma coleção de pontos, cada um contendo um valor, representando sua posição nos eixos horizontal e vertical. Se são analisadas mais de duas variáveis, *scatterplots* são estendidos para matrizes de *scatterplots*.

De acordo com [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008], *scatterplots* e matrizes de *scatterplots* são um exemplo comum para visualizar e explorar dados multivariados, pois partes interessantes de *scatterplots* podem ser selecionadas e destacadas nesse conjunto de dados, proporcionando um nível de abstração mais alto que glifos, por exemplo. Além disso, o usuário pode pesquisar mais facilmente por certas combinações de valores ou detectar correlações. Em [Wong et al. 2014], a visualização de matriz de *scatterplots* apresentam pares 2D de pontos de dados multivariados, que são projetados em *scatterplots* 2D para aproximar dados similares de pontos correspondentes.

Ainda em [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008], esta técnica é utilizada para

o cálculo da árvore euclidiana de extensão mínima em que Figura 2.13a) representa a determinação de um vetor no espaço e Figura 2.13b) corresponde a um ponto no espaço.

Figura 2.13: Cálculo da árvore euclidiana de extensão mínima. Fonte: [Jänicke, Böttlinger e Scheuermann 2008]



No mesmo estudo, *scatterplots* são utilizadas em uma nuvem de atributo utilizando três diferentes variáveis, em Figura 2.14. Da esquerda para direita: componente Z da velocidade, norma de velocidade e pressão.

Figura 2.14: Nuvem de atributo. Fonte: [Jänicke, Böttlinger e Scheuermann 2008]



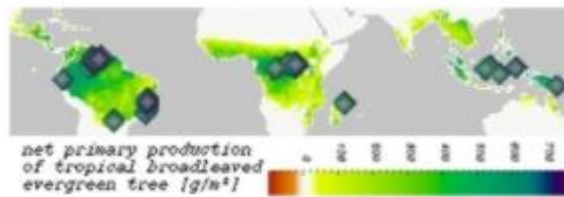
## 2.2.6 Glifos

São ícones geralmente utilizados para representar, simultaneamente, múltiplas variações de dados em uma mesma imagem, ou seja, são ferramentas desenvolvidas para exibir

dados multivariados. Um glifo é produzido pelo mapeamento de cada variável com determinada característica da imagem. Segundo [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008], glifos são utilizados para representar os valores individuais de cada posição destacada, sendo superior ao uso de *scatterplots* nestes casos pois são mais adequados se o usuário deseja analisar valores em determinadas regiões.

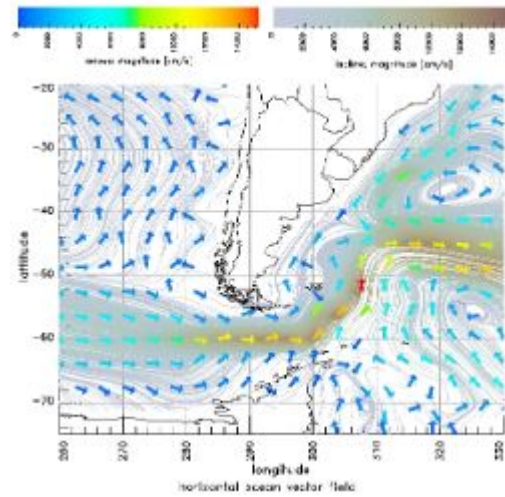
De acordo com [Nocke, Flechsig e Bohm 2007], um problema ao utilizar técnicas padrões para exibir dados espaciais ocorre em altas resoluções, pois representações visuais de valores individuais ou de uma faixa de valores de interesse se tornam muito pequenos (como o tamanho de um pixel individual). Como solução, glifos podem ser utilizados para representar essa faixa de valores. Isso pode ser visualizado em Figura 2.15.

Figura 2.15: Produção primária líquida de árvore perene tropical de folha larga. Fonte: [Nocke, Flechsig e Bohm 2007]



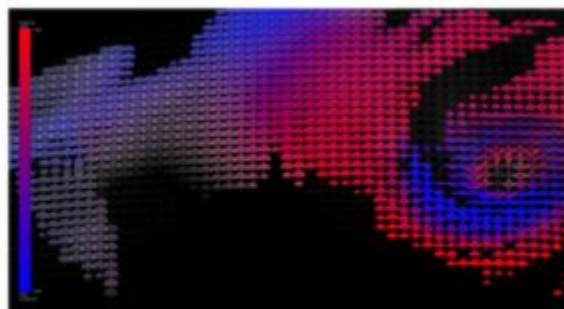
Ainda em [Nocke, Flechsig e Bohm 2007] são utilizados glifos para representar a visualização de fluxo 2D adaptada para exibir campos vetoriais oceânicos. Foram utilizadas *streamlines* mapeadas na forma de glifos de tamanho constante. Figura 2.16 ilustra uma determinada região de interesse e representa condições extremas de fluxo oceânico em torno da região do Cabo *Horn*.

Figura 2.16: Condições extremas de fluxo oceânico. Fonte: [Nocke, Flechsig e Bohm 2007]



No trabalho de [Kehrer 2011], é proposto a utilização de glifos em 3D para diversos casos diferentes, como furacão, em que é representado não apenas como um ponto em determinada localidade, mas sendo representado inteiramente com glifos, variando em tons de cor, para mudanças de temperatura; tamanho, para representar a quantidade de nuvens; e tons de cinza, para pressão atmosférica e precipitação, como em Figura 2.17.

Figura 2.17: Utilização de glifos 3D para representar um furacão. Fonte: [Kehrer 2011]



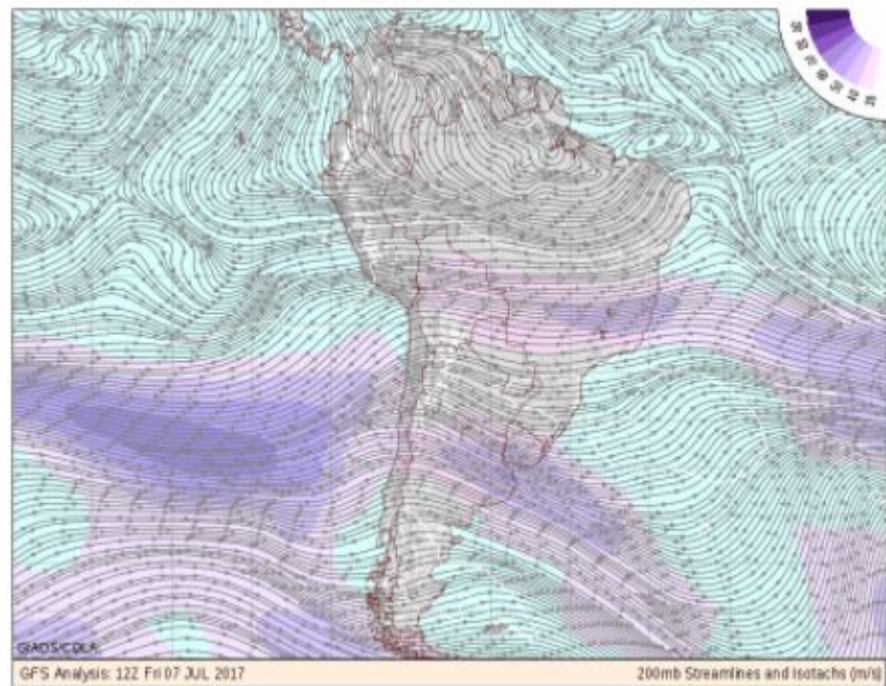
### 2.2.7 *Streamline*

*Streamlines* são setas direcionais normalmente utilizadas para representar o vento, elas apontam na direção do fluxo e o comprimento da seta representa a velocidade, na grande maioria dos casos. Cores podem ser utilizadas em conjunto com as *streamlines* a fim de uma melhor visualização da grandeza de estudo, como o vento e sua orientação, por exemplo.

Diferentes características de fluxos são caracterizadas por diferentes propriedades geométricas. Para *streamlines* discretas, cada segmento de linha entre amostras de pontos consecutivas é um objeto linear 1D. Por outro lado, uma coleção delas juntas preenchem o espaço de uma maneira mais complexa, como observado por [Chaudhuri et al. 2014]. Em outro estudo, [Wong et al. 2014] apresenta uma visualização que contém ambos campo de fluxos de partículas curvilíneas em um formato 3D e um globo com informações do mapa. No sistema apresentado, usuários podem dar *zoom* e rotacionar o globo para diferentes ângulos de visualização.

Um exemplo de uso desta técnica pode ser observado em Figura 2.18, que demonstra a orientação e velocidade do vento na América do Sul no dia 07/06/2017.

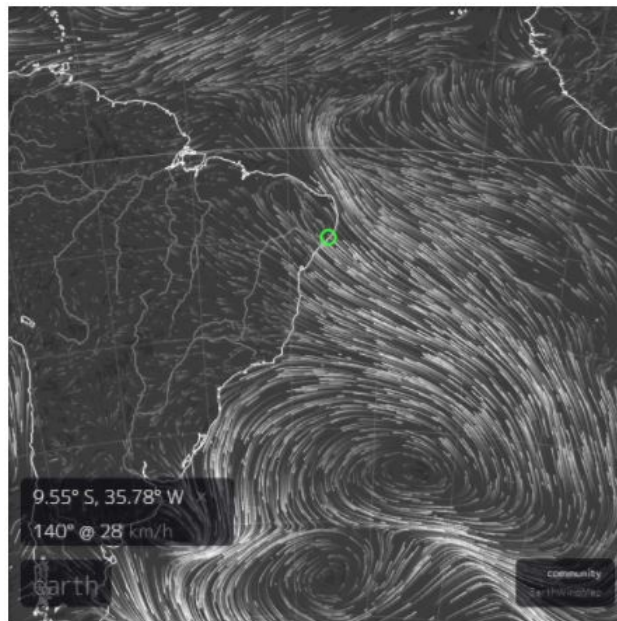
Figura 2.18: Orientação e velocidade do vento na América do Sul. Fonte: [COLA]



Na ferramenta [earth]<sup>5</sup> é possível editar animações de mapa da superfície terrestre sob diferentes fenômenos/técnicas e perspectivas. Um deles é o monitoramento do vento utilizando *streamlines*, apresentado em Figura 2.19.

<sup>5</sup>Ferramenta para confecção de mapas topográficos sob diferentes projeções

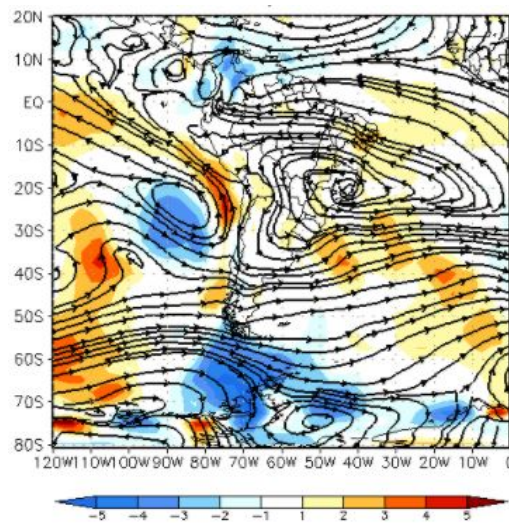
Figura 2.19: Monitoramento do vento. [earth]



O CPTEC<sup>6</sup> (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) também desenvolve imagens a partir de dados coletados de satélite. Em um dos produtos desenvolvidos, Figura 2.20, é possível visualizar o uso de *streamlines* para apresentação de linha de corrente e anomalia da componente zonal do vento em 250hPa em maio de 2008 na América do Sul.

<sup>6</sup>Laboratório de estudo e previsão climática

Figura 2.20: Linha de corrente do vento. Fonte: [CPTEC]



### 2.2.8 Height Mapping

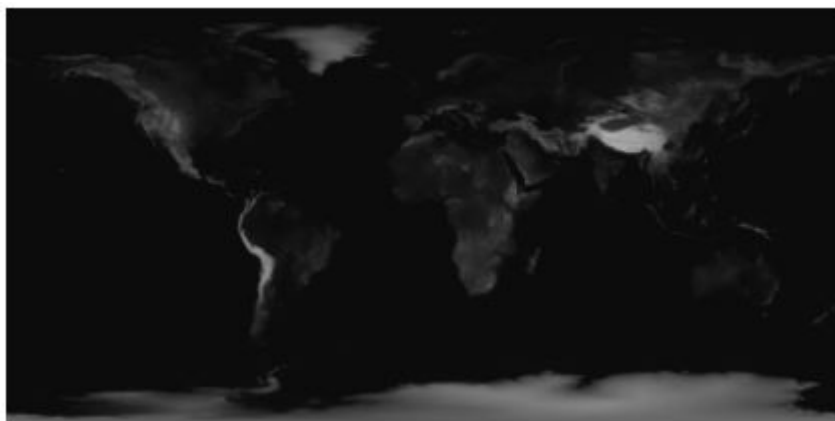
É uma técnica utilizada para representar diferentes informações de acordo com a "altura" dos territórios diferenciados em relevo. É uma imagem bidimensional utilizada para armazenar valores relativos à elevação de uma superfície para a exibição como gráficos tridimensionais. Geralmente as imagens apresentam-se em escala de cinza, onde o preto representa a menor e o branco a maior altitude possível. São amplamente utilizados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou, do inglês, *GIS (Geographic Information System)*) e na renderização de terrenos em geral. Eles são a maneira ideal de armazenar um terreno de acordo com a sua elevação. [Johansson, Neset e Linnér 2010] avaliam a técnica de *height mapping* em quesitos de estética. Um dos modelos avaliados pode ser observado em Figura 2.21

Figura 2.21: Avaliação de *height mapping*. Fonte: [Johansson, Neset e Linnér 2010]



Outro exemplo é apresentado em Figura 2.22, em que é demonstrado a superfície terrestre em projeção equiretangular, normalizado em uma escala de cinza de 8 bits, sendo o oceano em zero (preto) e o topo do monte Everest em 255 (branco).

Figura 2.22: Superfície terrestre em escala de cinza sob a técnica de *height mapping*. Fonte: [JHT]



### 2.2.9 Renderização de Volume

São um conjunto de técnicas utilizadas para apresentar uma projeção 2D de um conjunto de dados discretamente amostrados 3D, tipicamente um campo escalar 3D. Tem se mostrado uma ferramenta eficiente na análise de campos escalares volumétricos. [Gerstner et al. 2002] utilizam radares para a previsão de precipitação de chuva na região de estudo através de técnicas de renderização de volume e extração de isosuperfícies.

Esta técnica permite que os dados sejam visualizados de múltiplos ângulos, inclusive observar as estruturas internas de objetos 3D, como destacado por [Liu, Gong e Yu 2015], que utiliza da mesma para representar campos volumétricos de vento em conjunto com *streamlines*. Neste trabalho é possível a interação com uma interface para visualizar os dados sob diferentes perspectivas. Figura 2.23 ilustra a interface utilizada e exemplos de uso.

Figura 2.23: Campo de vento visualizado através de *streamlines*. Fonte: [Liu, Gong e Yu 2015]

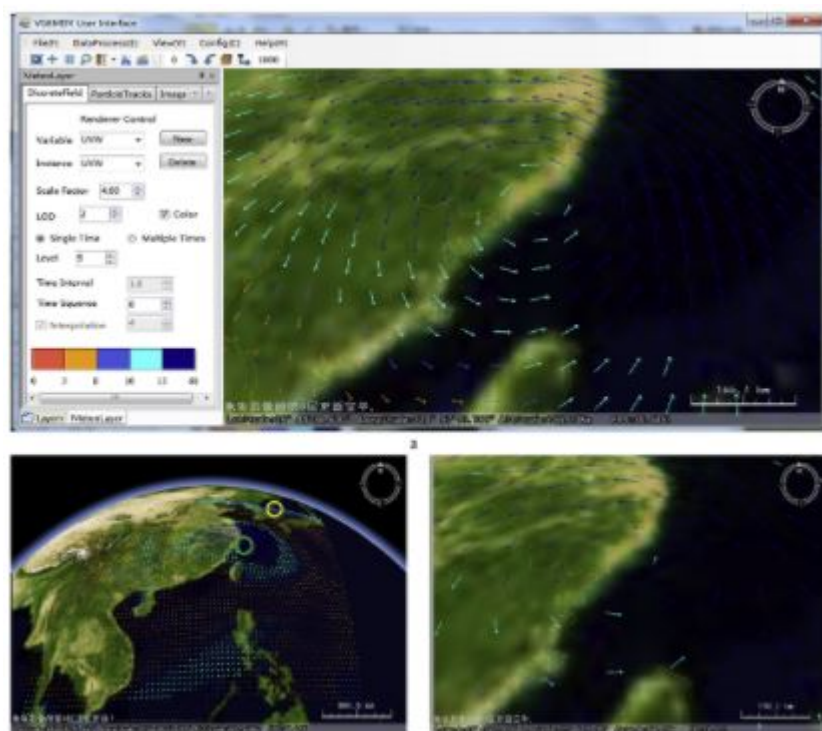
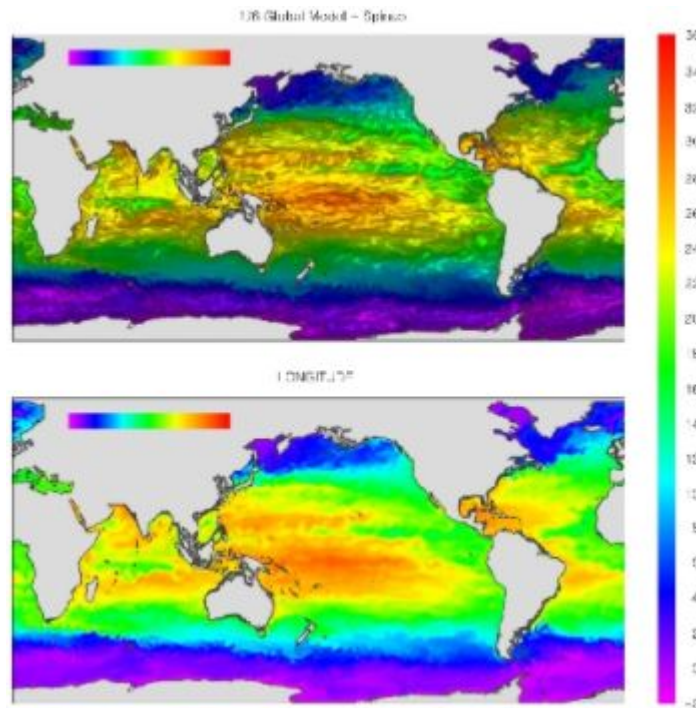


Figura 2.24 contém uma aplicação desta técnica sobre a superfície oceânica em uma escala de temperatura utilizando color mapping. Acima: aplicação da técnica de renderização de volume. Abaixo: Temperatura oceânica sem o uso de renderização de volume.

Figura 2.24: Renderização de volume em conjunto com mapeamento por cor. Fonte: [Bajaj]



## 2.3 Formas de Representação

Usualmente a visualização de dados climáticos é feita através de formas de representação em duas dimensões, através de imagens capturadas de satélite que são então processadas para divulgação ou estudo. Novos métodos, ou técnicas, aderiram ao escopo de visualização climática, incluindo formas de representação em três dimensões, com interação, com realidade virtual e/ou até realidade aumentada.

As representações n-dimensionais contemplam todas as técnicas de visualização apresentadas e foi assim classificada por ser particularmente diferente da representação interativa, que, normalmente, dispõe de dispositivos para interação natural por parte do usuário do sistema.

Estas formas de representação, em linhas gerais, abordam os mais diversificados

tipos de fenômenos meteorológicos, como temperatura das superfícies terrestre e oceânica, orientação e velocidade do vento em fluxos atmosféricos e oceânicos, humidade relativa do ar, pressão atmosférica, furacões, vulcões, entre outros. Os estudos a serem apresentados no Capítulo 3 desta dissertação contemplam estas formas de representação de tais fenômenos, de acordo com as técnicas de visualização utilizadas em cada um.

### 2.3.1 Representação n-dimensional

A forma convencional de representação em 2D é a que contém a grande maioria de trabalhos e estudos, no que diz respeito a visualização de dados meteorológicos, visto que esta visualização normalmente é feita através de imagens e/ou vídeos. Também é esta forma de representação que detém a maioria das técnicas de visualização utilizadas. Fenômenos como temperatura, vento, precipitação, pressão atmosférica, entre outros, normalmente são representadas através de técnicas em 2D.

Representação na forma bidimensional é destacada por imagens planas sem profundidade, tipicamente nos eixos X e Y, quando utilizados. Este tipo de representação é vista apenas por um ângulo e requerem um menor processamento na produção deste tipo de dado.

Diferentemente da representação bidimensional, a forma de representação tridimensional possui profundidade e muitas vezes sombras, texturas e formas diferenciadas, dando a ilusão de uma visão tridimensional em um campo bidimensional, como uma imagem. Em outros casos, esta forma de representação possibilita ao usuário a visualização destes dados através de diferentes ângulos, quando interagindo com um sistema, por exemplo.

Embora visualizações tridimensionais possam adicionar um grande valor em termos de expressividade, elas não anulam o valor das projeções bidimensionais no balanceamento da compensação frequente em expressividade e eficácia para executar inferências precisas ao visualizar dados multidimensionais, segundo [Dasgupta et al. 2015] e [Mac-

kinlay 1986]. Na verdade, visualizações 2D mostraram ser mais eficientes para efetuar com precisão inferências específicas em dados 3D, em algumas situações, de acordo com [Jansen, Dragicevic e Fekete 2013].

### 2.3.2 Representação interativa

Esta categoria pode conter conteúdo de qualquer outra forma de representação, visto que foram catalogados trabalhos em 2D e em 3D que, além disso, também possibilitam alguma interação. Também nesta categoria estão mais destacados trabalhos que utilizam da realidade virtual e da realidade aumentada em visualização climática, pois são os que possibilitam uma maior interação por parte do usuário.

As interações dos usuários podem ajudar a entender melhor os padrões de uma perspectiva cognitiva, a mente humana pode ter dificuldades para perceber e diferenciar com precisão muitas cores e combiná-las em diferentes pontos de vista. Com a seleção e ações do usuário, estes podem entender um padrão específico e sua conexão com as outras visualizações com maior precisão.

A realidade virtual (RV) é definida por [PINHO 2000] como um cenário dinâmico armazenado em computador e exibido através de computação gráfica. O desenvolvimento de uma interface para esta forma de representação é realizada para efetuar operações de seleção, manipulação e navegação; ou seja, modificação de parâmetros do objeto tridimensional, alterando suas propriedades geométricas; definição de quais objetos do ambiente virtual se deseja interagir e; a mudança de posição do observador neste ambiente, possibilitando uma nova visão ou exploração de conteúdos previamente não-visíveis; respectivamente.

Realidade aumentada é normalmente definida pelas seguintes características, segundo [Akay e Marsh 2001]:

1. Combina o real com o virtual

## 2. Interação em tempo real

## 3. Utiliza visualização em 3D

A apresentação de informações na tela em realidade aumentada é relativamente simples. Para a apresentação visual de recursos espacialmente localizados no campo de visão do usuário, as aplicações em RA devem registrar e corrigir continuamente a relação espacial entre o visor, os olhos do usuário e o ambiente ao qual as visualizações estão vinculadas.

Assim, extraindo a ideia central da utilização de RV e RA, conclui-se que o usuário escolhe visivelmente os atributos de dados selecionados com os quais deseja interagir para obter informações sobre as relações destes dados, que apresentam-se na tela ou outro meio de visualização.

Alguns dos trabalhos encontrados através da revisão sistemática contemplam este tipo de representação, como visto em [Wall 2010], que apresenta uma interface tangível com múltiplas tecnologias de interação que permitem aos usuários interagir, experimentar e adquirir conhecimentos sobre mudanças climáticas. O objetivo é usar tecnologias interativas, conscientizar efetivamente e educar o público sobre mudanças climáticas. Esta pesquisa investiga a aplicação de tecnologias de interface de usuário tangível (TUI, do inglês *Tangible User Interface*) para controle de visualização e som atmosférico. As interações realizadas pelo usuário influenciam a visualização e o som no ambiente de interação.

## Capítulo 3

# Revisão Sistemática da Literatura

Como forma de reunir as principais informações a respeito destes dados, este capítulo apresenta o mapeamento sistemático sobre técnicas de visualização de dados climáticos, juntamente com os trabalhos mais significativos encontrados.

De acordo com [Kitchenham, Budgen e Brereton 2011], um mapeamento sistemático é realizado para identificar, avaliar e interpretar os estudos que estejam disponíveis e que sejam relevantes a uma determinada questão de pesquisa. Através dele é possível identificar se uma área possui estudos primários suficientes para realização de uma revisão sistemática de literatura ou ainda se a área em questão possui subtemas pouco explorados em estudos primários. [Petersen et al. 2008] propõe que um mapeamento sistemático seja iniciado com a busca de trabalhos conhecidos, de forma a aplicar critérios de inclusão e exclusão de acordo com suas respectivas relevâncias e então classificar os níveis de relevância com suas palavras-chave e *abstracts*. Após esta etapa, inicia-se a busca por outros trabalhos utilizando tais palavras-chave. Ainda segundo [Petersen et al. 2008], o protocolo de busca de um mapeamento sistemático, pode ser dividido em cinco fases:

1. Definições de questões de pesquisa;

2. Conduzir a busca por documentos relevantes;
3. Triagem de artigos baseado nos critérios de inclusão/exclusão;
4. Classificação dos artigos;
5. Extração e síntese de dados.

Figura 3.1 mostra um esquema mais detalhado dos passos necessários para a realização de um mapeamento sistemático:



Figura 3.1: Etapas de um mapeamento sistemático

Para auxiliar nas etapas de planejamento, refinamento e análise do mapeamento sistemático foi utilizada a ferramenta Parsifal<sup>1</sup>, desenvolvida com o propósito de suporte para fazer pesquisadores trabalharem juntos, mesmo que remotamente, desde a definição do protocolo utilizado até a extração dos resultados. A ferramenta serve como meio para documentar todo o processo de revisão, além de destacar o que é mais importante em cada etapa como definição de objetivos, questões de pesquisa, string de busca, critérios utilizados, entre outras. Por fim, é possível filtrar os trabalhos selecionados com base no foco do mapeamento e ainda extrair o conteúdo abordado naqueles considerados relevantes.

<sup>1</sup><https://parsif.al/>

Esta revisão sistemática foi realizada por quatro pesquisadores com o objetivo de investigar a utilização de técnicas de visualização e suas formas de representação no estudo de visualização climática. Iniciado primeiramente com três membros, este mapeamento sistemático começou a ser desenvolvido em setembro de 2016 e foi concluído no início de março de 2017. O quarto membro de desenvolvimento iniciou sua participação após a etapa de revisão dos trabalhos selecionados, em que foi possível uma seleção mais rigorosa dos possíveis trabalhos finais a serem selecionados.

### 3.1 Escopo e Questões de Pesquisa

Para gerar as imagens via satélite são necessários sistemas e serviços que funcionam como estações meteorológicas capazes essencialmente de captar e transmitir dados. Um exemplo é o serviço EUMETCast que permite uma melhor disseminação, aplicação e exploração de dados meteorológicos e ambientais. As imagens, quando capturadas de satélite, representam dados brutos sem significado algum no momento em que são capturadas e necessitam de processamento para sua representação, [Barbosa 2013].

Segundo [Nascimento e Ferreira 2005] o processo de visualização está relacionado com a transformação de algo abstrato em imagens (mentais ou reais) que possam ser visualizadas pelos seres humanos. O objetivo final é auxiliar no entendimento de determinado assunto, o qual, sem uma visualização, exigiria maior esforço para ser compreendido. Nesse contexto, um dos desafios no estudo das técnicas de visualização é promover o entendimento de informações a partir de representações visuais de dados para as mais diversas áreas do conhecimento, como arqueologia, hidrologia, geologia, agricultura, geografia, entre outros.

Muitos são os meios de se apresentar estes dados e há todo um processamento no que diz respeito à visualização, como filtragem, mapeamento e renderização dos dados, de acordo com [Nocke et al. 2008]; buscando tornar cada vez mais viável o seu uso para

as diferentes mídias existentes. Por conta de existirem diversos tipos de imagens, cada uma possui um tipo de representação de imagem única, de forma a diferenciá-las para estudo, com elementos destacados em cada tipo, como cores variando de um tom a outro em uma escala para descrição de temperaturas e tipos de climas da região, linhas curvas com pontos em destaque para descrição de relevos ou áreas de estudo, entre outros.

Procura-se responder, como conclusão deste trabalho, as questões de pesquisa que guiaram à criação do mapeamento sistemático, regravando-o de forma que ele possa dar uma explanação geral acerca do tema mapeado. As questões de pesquisa são então elucidadas:

1. Quais são as técnicas de visualização mais utilizadas em sistemas de dados climáticos?
2. Quais são as formas de representação mais utilizadas em sistemas de dados climáticos?

## **3.2 Estratégias de Busca**

O mapeamento sistemático foi realizado através de buscas automáticas em alguns dos principais engenhos de busca. Estes foram escolhidos de acordo com a relevância de trabalhos encontrados. As estratégias de busca utilizadas foram divididas em etapas, facilitando o seu entendimento com o objetivo de apresentar os dados de forma mais objetiva e clara.

### **3.2.1 Critérios de Seleção**

Após uma busca inicial por trabalhos relacionados, foram definidos critérios de inclusão e exclusão pelos quais os trabalhos seriam incluídos ou não no mapeamento sistemático, tais critérios são apresentados em Tabela 3.2.1.

| Critérios de Inclusão                                                 | Critérios de Exclusão                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Trabalhos que apresentem técnicas de visualização em dados climáticos | Trabalhos que não apresentem técnicas de visualização em dados climáticos |
| Trabalhos que apresentem formas de interação em dados climáticos      | Trabalhos duplicados nos diferentes engenhos de busca                     |
| Trabalhos apresentados na língua inglesa                              | Trabalhos com acesso restrito nos engenhos de busca apresentados          |
| Trabalhos publicados a partir do ano de 2000                          | Trabalhos publicados em outra língua que não a inglesa                    |

Tabela 3.1: Critérios de Seleção

### 3.2.2 Engenhos e *String* de busca

Baseado nas questões de pesquisa apresentadas e considerando que o trabalho trata-se do uso de técnicas de visualização em dados climáticos de visualização, a *string* de busca foi então elaborada:

*("Climate") AND ("Data" OR "Events") AND ("Visualization" OR "Visualization Models" OR "Visualization Techniques" OR "Interaction Devices") AND NOT (Health OR Building OR Supply)*

Procurou-se manter a *string* de busca de forma genérica e utilizando termos de equivalência semelhantes, no intuito de obter resultados satisfatórios. O uso do conectivo "AND NOT" fez-se necessário pois com a exclusão dos termos contidos no mesmo foi possível eliminar diversos trabalhos que não fazem parte do escopo deste mapeamento.

Três engenhos de busca foram utilizados no total, *IEEE Xplore Digital Library*<sup>2</sup>,

<sup>2</sup><http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

*Scopus*<sup>3</sup> e *ScienceDirect*<sup>4</sup>. Por conta de cada engenho de busca ter suas propriedades e regras, a *string* de busca teve de ser adaptada para cada um, sem alteração de resultados ou significado, com o objetivo de manter a integridade das palavras-chave e obter os melhores resultados possíveis.

A busca realizada utilizou a *string* sobre os metadados dos artigos resultantes, ou seja, cada termo da *string* é analisado de acordo com o título, *abstract* e/ou palavras-chave de cada artigo. Os trabalhos apresentados como retorno são provenientes da análise destes metadados.

### 3.2.3 Extração e Síntese de Dados

Por conta de ser um tema vasto com diversos resultados, incluindo trabalhos relevantes e aqueles que não se enquadram no escopo deste trabalho, foram estabelecidos alguns métodos para a análise de cada artigo encontrado. Conforme mencionado, os artigos resultantes são provenientes da busca através dos metadados dos engenhos de busca.

Em seguida, dois processos de filtragem foram executados. Primeiramente foram analisados o título, *abstract* e palavras-chave dos artigos retornados pela pesquisa, com o objetivo de encontrar os que sejam potencialmente relevantes. Isto é feito a partir da análise dos termos da *string* de busca contidos nos metadados e pela compreensão do tema de tal trabalho que está sendo analisado. A partir de tais resultados preliminares, o segundo processo de filtragem foi executado, que consistia em analisar o texto completo de tais artigos potencialmente relevantes.

### 3.2.4 Ferramenta *Parsifal*

O mapeamento sistemático realizado contém as principais técnicas de visualização utilizadas na literatura e informações adicionais, como suas formas de representação e

---

<sup>3</sup><https://www.scopus.com/>

<sup>4</sup><http://www.sciencedirect.com/>

fenômenos nos quais estas técnicas podem ser utilizadas, conforme observado nos diversos estudos a serem apresentados.

Esta ferramenta fornece todo um processo de documentação sobre as etapas de desenvolvimento de um mapeamento, auxiliando equipes cujos membros estão geograficamente afastados, pela sua boa estrutura e organização. Esta ferramenta é dividida em quatro etapas principais de desenvolvimento (*review*, *planning*, *conducting* e *reporting*) que, por sua vez, possuem outras subdivisões. Todas as etapas de desenvolvimento do mapeamento nesta ferramenta estão contidas no Anexo-A desta dissertação.

1. *Review*: Esta é a etapa mais simples a ser realizada pela ferramenta, pois engloba apenas o nome e uma descrição geral da revisão sistemática
2. *Planning*: nesta etapa são definidos o protocolo, *checklist* de avaliação de qualidade e a forma de extração de dados:
  - Protocolo: sub-etapa em que são definidos os objetivos, questões de pesquisa, palavras-chave e sinônimos, *string* de busca, engenhos de busca e critérios de seleção;
  - *Checklist* de avaliação de qualidade: sub-etapa que atribui pontuação para cada questão de pesquisa, com o objetivo de aumentar/diminuir a qualidade dos trabalhos retornados na busca efetuada;
  - Forma de extração de dados: nesta sub-etapa são definidas as técnicas de visualização e formas de representação a serem analisadas em cada artigo científico na próxima etapa do mapeamento.
3. *Conducting*: Esta é a etapa da execução propriamente dita do mapeamento sistemático e está dividida em 6 sub-etapas:
  - Busca: sub-etapa onde é feita a adaptação da *string* de busca para cada engenho utilizado e descrições adicionais sobre cada um;

- Importação de Artigos Científicos: responsável pela inclusão de artigos científicos à cada engenho de busca pré-definido, via código *latex*;
  - Seleção de Artigos: responsável por aceitar ou rejeitar artigos científicos de acordo com critérios definidos. Esta é a sub-etapa de principal discussão entre os membros do mapeamento;
  - Avaliação de Qualidade: atribuição de pontuação a artigo de acordo com as questões de pesquisa pré-definidas;
  - Extração de Dados: atribuição das técnicas de visualização e formas de representação a cada trabalho incluso no mapeamento;
  - Análise de Dados: gráficos gerados de acordo com a quantidade de artigos por cada engenho de busca e distribuídos ao longo dos anos definidos no mapeamento.
4. *Reporting*: etapa responsável por exportar em planilha dados das etapas 3 etapas de desenvolvimento do mapeamento
- *Review*: nome e descrição;
  - *Planning*: objetivos, questões de pesquisa, palavras-chave, *string* de busca, engenhos de busca, critérios de seleção, *checklist* de avaliação de qualidade e forma de extração de dados;
  - *Conducting*: engenhos de busca e *strings* utilizadas e número de estudos importados.

### 3.3 Resultados Quantitativos

Nesta subseção são apresentados e discutidos os dados a respeito dos trabalhos encontrados. No total, foram encontrados 625 artigos incluindo os três engenhos de busca

nos quais foram realizadas as pesquisas. À medida em que os critérios eram aplicados e outras etapas de desenvolvimento eram executadas, este número diminuía para cada engenho de busca. Estes dados gerais são expostos em 3.2. Apesar quantidade de artigos, poucos foram selecionados como "Aceitos", visto que muitos desviavam do foco do trabalho.

Tabela 3.2: Trabalhos classificados de acordo com sua relevância

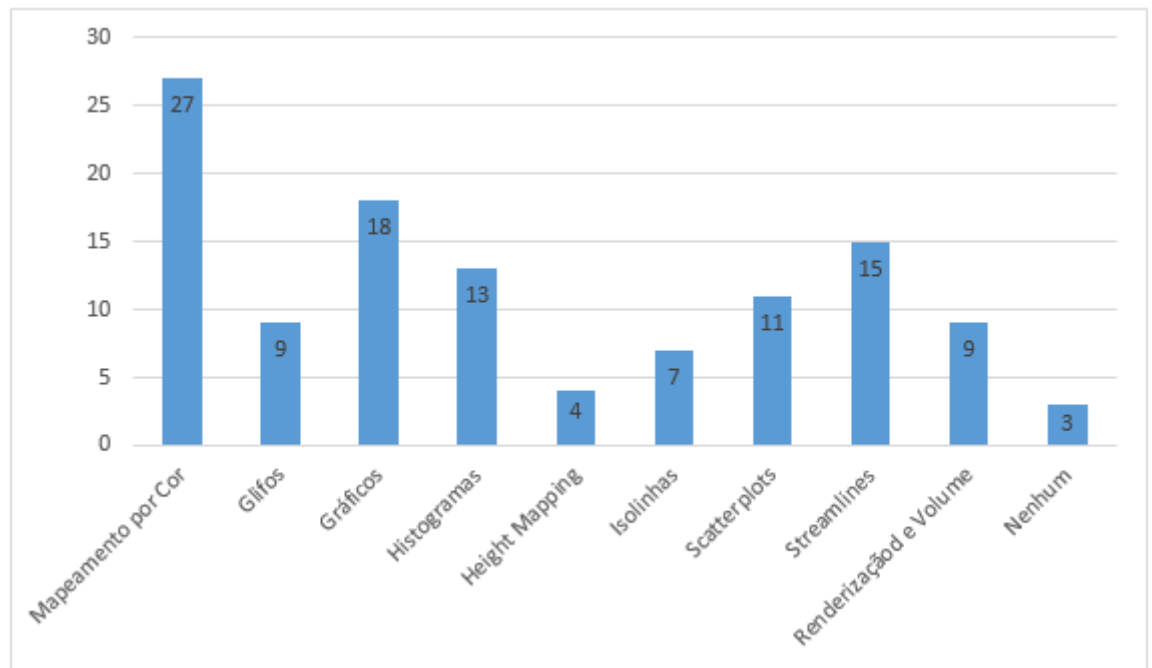
|               | Resultados Iniciais | Aplicação de Critérios | Revisão | Artigos Aceitos |
|---------------|---------------------|------------------------|---------|-----------------|
| IEEE Xplore   | 186                 | 76                     | 55      | 19              |
| Scopus        | 392                 | 91                     | 52      | 19              |
| ScienceDirect | 47                  | 22                     | 16      | 3               |
| Total         | 625                 | 189                    | 123     | 41              |

### 3.3.1 Distribuição dos Trabalhos

Foram catalogadas as técnicas de visualização de dados climáticos mais presentes nesses trabalhos, bem como dispositivos e métodos utilizados para representar e interagir com esses dados. Ao todo foram descritas 9 técnicas de visualização, sendo elas: (a) Mapeamento por cor, que diferencia regiões ou níveis de intensidade de algum evento através de cores distintas; (b) Glifos, que utilizam ícones em locais específicos para representar algum valor ou evento; (c) Gráficos de séries temporais, que representa valores referentes a duas ou mais variáveis ao longo do tempo através de uma curva em um plano cartesiano; (d) *Height Mapping*, que ilustra valores através de elevações em 3D na superfície de uma região; (e) Histogramas, que mostra a distribuição de dados numéricos em relação a alguma grandeza de estudo; (f) Isolinhas, que utiliza contornos na superfície de uma região para delimitar diferentes níveis de algum fenômeno; (g) *Scatterplots*, que apresentam dados através de coleções de pontos dispostas em um

plano cartesiano ou em mapas; (h) *Streamlines*, que utilizam linhas de fluxo direcionais em um mapa para representar a orientação e velocidade de fenômenos específicos; (i) Renderização de volume, que ilustra um mapa com valores de algum fenômeno através de um campo escalar 3D. O gráfico apresentado em Figura 3.2 ilustra o número de trabalhos que abordam cada uma das técnicas descritas.

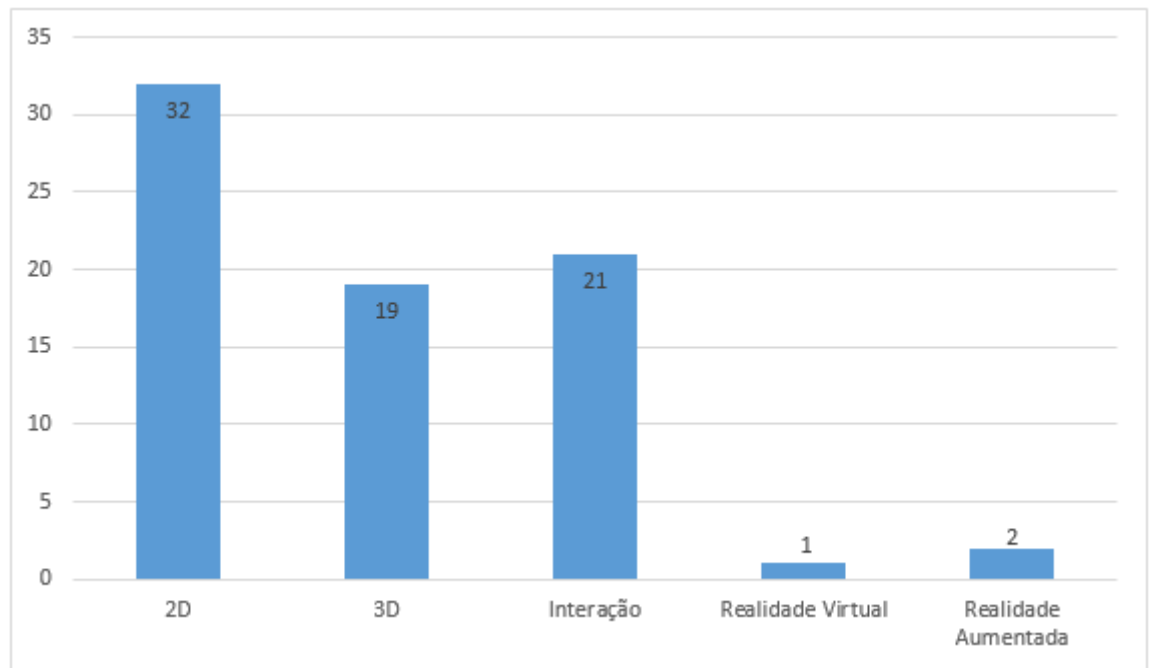
Figura 3.2: Número de artigos por técnicas de visualização



Com relação à segunda questão de pesquisa, foram identificadas diferentes formas de representação nos trabalhos: (a) Representação 2D, com formas convencionais de apresentação de dados e técnicas de visualização climática; (b) Representação 3D, com representações tridimensionais também comuns à área incluindo algumas técnicas de visualização; (c) Interativa, englobando métodos, ferramentas e dispositivos que possibilitam alguma forma de interação ao usuário; (d) Realidade Aumentada, em que a representação virtual é gerada por dispositivos sob o ambiente real; (e) Realidade Virtual, em que a representação também conta com auxílio de dispositivos, mas para pro-

jeção em um ambiente virtual. A forma interativa em si engloba, alguns trabalhos, tanto a realidade virtual quanto a aumentada, porém foram distribuídas em categorias separadas para ressaltar possíveis lacunas para outros estudos. O gráfico apresentado em Figura 3.3 mostra o número de trabalhos que envolvem as formas de representação e visualização descritos.

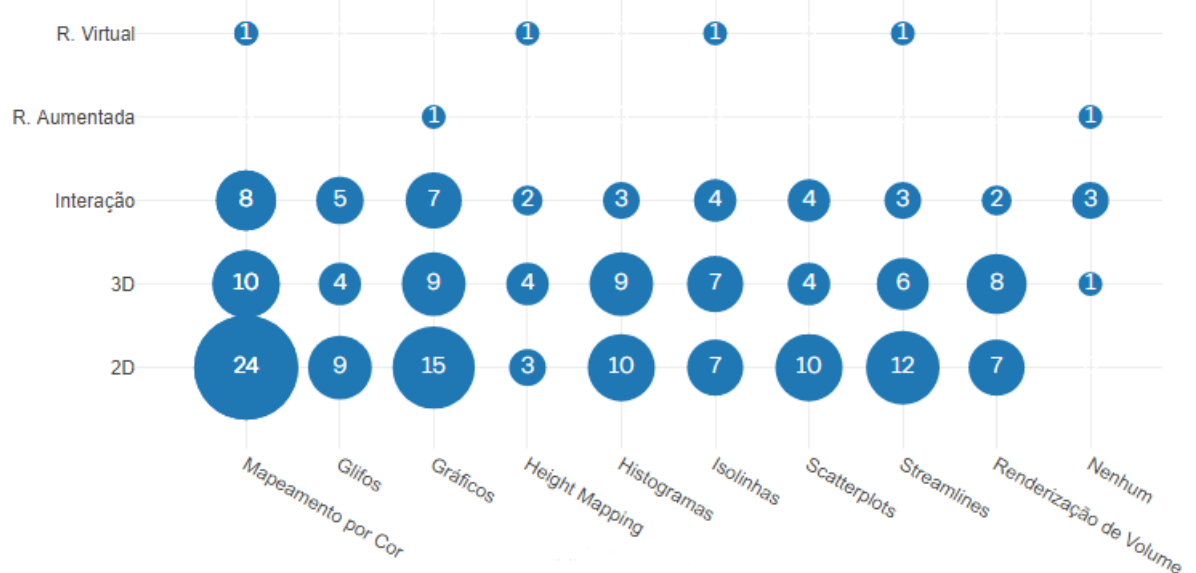
Figura 3.3: Número de artigos por formas de representação



Após as primeiras análises descritas, foram identificadas as principais técnicas de visualização de dados climáticos mais comumente utilizadas, além de ferramentas e métodos de visualização e projeção também presentes nesse contexto, em alguns casos com auxílio de dispositivos de interação. A etapa seguinte consistiu em traçar um paralelo entre as técnicas de visualização vistas em Figura 3.2 com as formas de representação vistas em Figura 3.3, com intuito de entender como se relacionam esses dois aspectos nos trabalhos desta área e observar possíveis lacunas de abordagem. Em Figura 3.4 é apresentado um gráfico de bolhas para representar a relação entre as duas

abordagens estudadas nos trabalhos analisados e descritos.

Figura 3.4: Relação entre técnicas de visualização e formas de representação



Os resultados presentes no gráfico de bolha Figura 3.4 mostram que a utilização das técnicas com formas de representação convencionais (2D e 3D) representam grande maioria sobre os outros meios. A distribuição no uso das técnicas tem uma relação direta com o tipo de fenômeno que os trabalhos abordam onde, em diversos casos, duas ou mais técnicas podem se sobrepor em uma mesma representação, o que acaba tornando algumas mais populares. Os métodos interativos englobam ferramentas, jogos e dispositivos com algum meio de interagir com dados meteorológicos, essa variedade colabora para todas as técnicas de visualização terem ao menos um trabalho que permite ao usuário um contato mais direto com esse tipo de informação. Por fim, ficam evidentes algumas lacunas na utilização de dispositivos com propostas mais alternativas de visualização e de projeção para esse tipo de informação. Não foram encontradas muitas abordagens com realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV) em visualização climática, apesar da capacidade de imersão que ambas promovem.

## 3.4 Resultados Qualitativos

Após a seleção quantitativa, a análise prossegue agora considerando apenas o resultado da aplicação de todos os critérios como visto em Tabela 4. Nessa etapa da revisão, o foco passa a ser no conteúdo dos trabalhos com base nas questões que foram propostas no protocolo inicial. Após a análise dos trabalhos encontrados, pode-se agrupá-los em diferentes categorias de acordo com seu conteúdo:

1. Compilação de técnicas de visualização;
2. Exemplos de Uso de Técnicas de Visualização;
3. Avaliação de uso;
4. Visualização interativa.

Parte dos trabalhos do mapeamento sistemático não estão descrito neste capítulo, mas no Capítulo 2, como conteúdo complementar no estudo de visualização meteorológica e foram listados em Tabela 3.3:

Tabela 3.3: Trabalhos listados no Capítulo 2

| Artigos                                 |
|-----------------------------------------|
| [Sun et al. 2006]                       |
| [Ahern et al. 2006]                     |
| [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008] |
| [Alder e Hostetler 2015]                |
| [Healey e Sawant 2012]                  |
| [Dasgupta et al. 2015]                  |
| [Sun et al. 2012]                       |
| [Wall 2010]                             |
| [Anik et al. 2015]                      |
| [Liu, Gong e Yu 2015]                   |
| [Shen et al. 2013]                      |
| [Chaudhuri et al. 2014]                 |
| [Li, Zhang e Meng 2014]                 |
| [Wong et al. 2014]                      |
| [Janicke et al. 2009]                   |

### 3.4.1 Compilação de técnicas de visualização

Nesta categoria estão localizados os trabalhos que apresentam conjuntos de técnicas de visualização agrupadas em categorias segundo cada autor, seguindo determinados critérios como apresentados pelos mesmos.

Em [Ravi et al. 2013] as técnicas são distribuídas de acordo com suas dimensões:

- Unidimensional: que são dados correspondentes a uma variável e há apenas um valor para cada item do dado. Como exemplo são os histogramas;

- Bidimensional: correspondem a dados de duas variáveis e esta relação é facilmente visível através de imagens, como gráficos temporais, scatterplots, streamlines, colormaps, entre outros;
- Tridimensional: nesta categoria estão os dados que contêm três atributos. A representação gráfica (imagem) de tais dados mostram a profundidade e a rotação somando-se dados bidimensionais. Para representar dados tridimensionais são utilizados técnicas de métodos isosurfaces, como volume rendering e gráficos 3D.

Em [Nocke, Flechsig e Bohm 2007] é apresentado uma biblioteca adaptada para dar suporte a exploração e avaliação de dados de simulação meteorológica facilitando o estudo dos usuários das técnicas apresentadas nesta biblioteca, que permite o acoplamento de diferentes sistemas, linguagens de programação e combinação de métodos visuais. Para atender a um grande número de tipos de visualizações, são fornecidos alguns módulos de visualização:

- Visualização 1D: análise e comparação de variáveis temporais;
- Visualização 2D/2.5D: análise de distribuições espaciais e suas relações (combinação de cores, isolines e height mapping);
- Visualização de fluxos 2D: análise de diferentes características de um campo vetorial 2D (*streamlines*, glifos e mapeamento por cor);
- Visualização 3D: interseção de planos, planos paralelos, isosurfaces, volume rendering

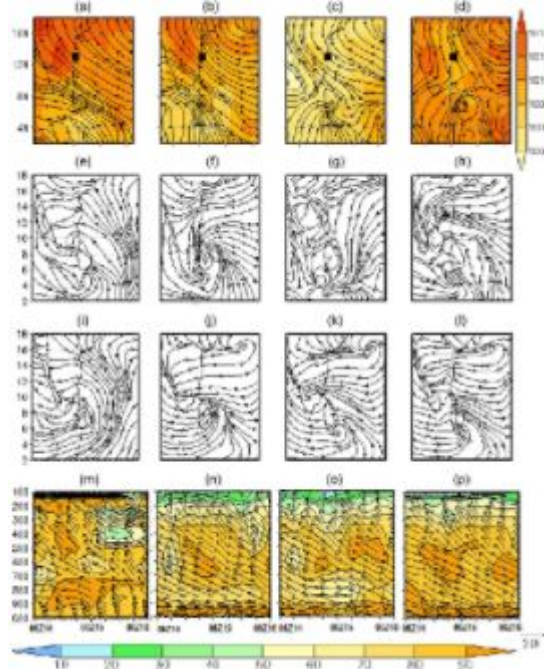
### 3.4.2 Exemplos de Uso de Técnicas de Visualização

As particularidades de uso de técnicas de visualização representam uma categoria em que estão localizados a grande maioria dos trabalhos, visto que tais trabalhos apresentam

estudos de caso e fazem o uso de técnicas em específicos, muitas vezes utilizando mais de uma para representar uma mesma grandeza.

No trabalho de [Dhanya e Chandrasekar 2014] é investigado simulações de eventos de tempestades de chuva no sul da Índia utilizando o satélite OSCAT para monitorar o evento e os impactos de ventos na superfície do oceano na região. Algumas técnicas de visualização são utilizadas na geração de mapas, como *streamlines* e mapeamento por cor, como pode ser observado em Figura 3.5.

Figura 3.5: Utilização de streamlines e mapeamento por cor em tempestade



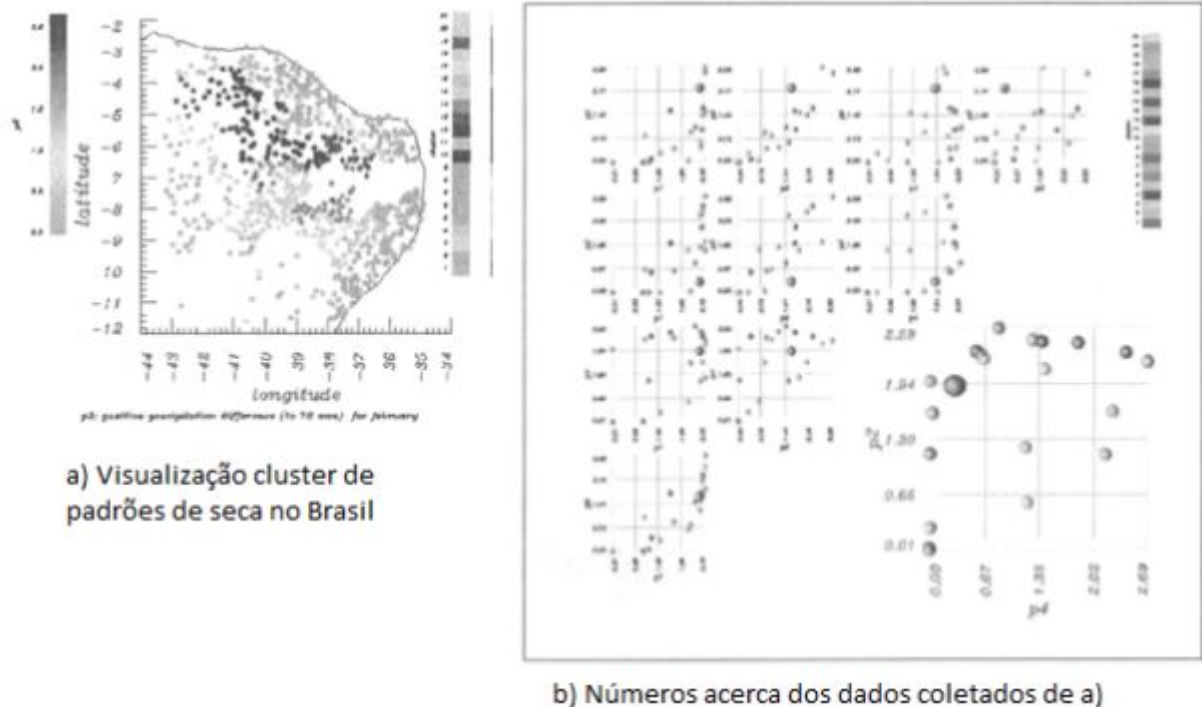
Em [Xie, Yu e Maz 2014] é utilizado um algoritmo para otimizar o uso de vários núcleos de GPU's distribuídas em CUDA (do inglês, *Compute Unified Device Architecture*) na geração de dados que requerem grande demanda de processamento gráfico. Como resultado disso, é possível melhorar o desempenho e qualidade quando produzindo estes dados, pois cada núcleo de GPU fica responsável por determinado 'pedaço' da grade de dados na renderização dos mesmos. São utilizadas técnicas de renderização

de volume 3D e histogramas para acompanhar o desempenho das GPU's.

Foi desenvolvido em [Zou e Wang 2012] uma interface de visualização para suporte a dados *ESM* (*Earth System Model*), que são utilizados para estudar o clima e estimar possíveis cenários de eventos meteorológicos. A interface apresenta algumas técnicas de animação e integra filtros e métodos de renderização, melhorando a visualização dos dados capturados. São utilizadas *streamlines*, renderização de volume em campos escalares 3D e mapeamento por cor; além de permitir interação do usuário no sistema.

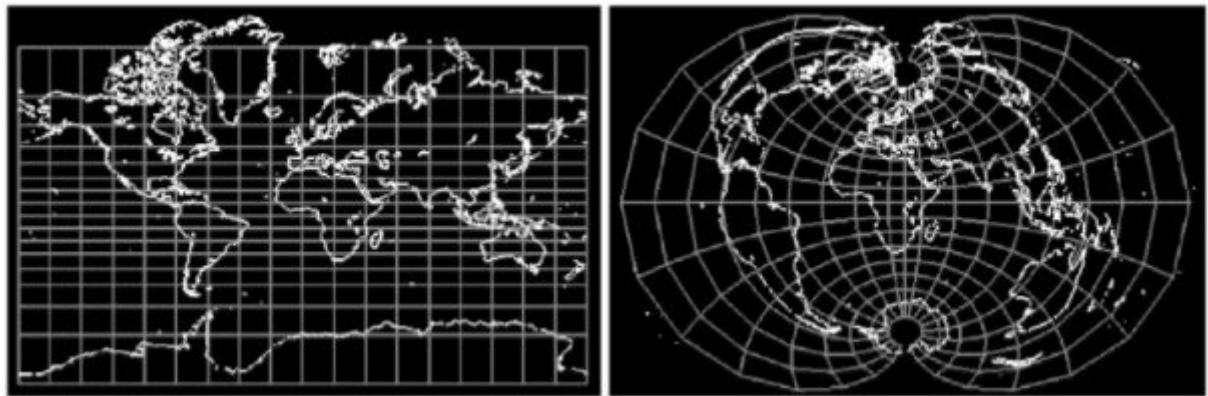
Em outro trabalho, [Nocke, Schumann e Böhm 2004] abordam métodos de visualização para a exploração de dados climáticos, integrando algoritmos de *clustering* e técnicas de visualização. É possível observar nos dados apresentados que são utilizadas *scatterplots* em sua grande maioria, como em Figura 3.6, em que são utilizados *scatterplots* em a) e matriz de *scatterplots* em b) para representar padrões de seca do nordeste brasileiro.

Figura 3.6: Padrões de seca do nordeste brasileiro



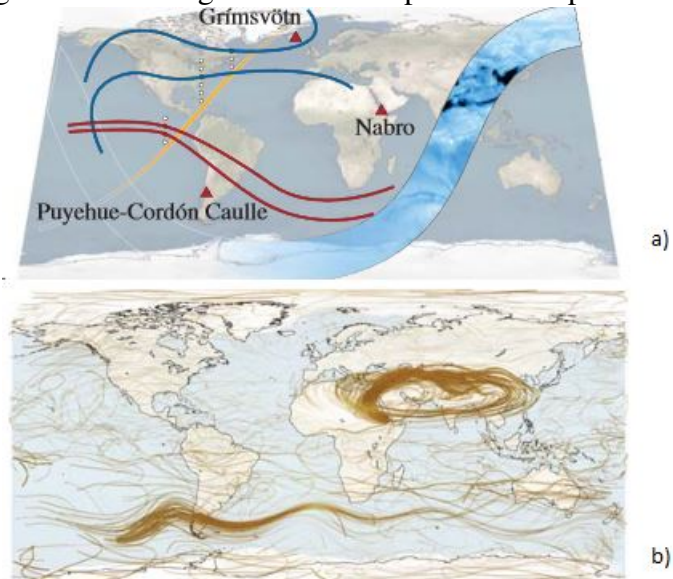
No trabalho de [Brainerd e Pang 2001] são apresentados métodos para a visualização de projeções de mapas distorcidos em um projeto denominado *Interactive Map Projections*. A ideia principal é fazer com que anéis dispostos em torno do globo terrestre possam ser interativamente posicionados e escalados para estudar distorções angulares e aéreas. Mapeamento por cor são utilizados para que o usuário possa especificar se pretende usar a distorção angular ou aérea, decidindo então como a imagem deve aparecer, ao invés de isolinhas, que apesar de bem utilizada na literatura para tal, podem interferir na informação geográfica sendo representada e é praticamente limitada a valores discretos. Glifos também são utilizados para ressaltar áreas de interesse. Figura 3.7 apresenta alguns exemplos de uso das distorções.

Figura 3.7: Uso do Interactive Map Projections

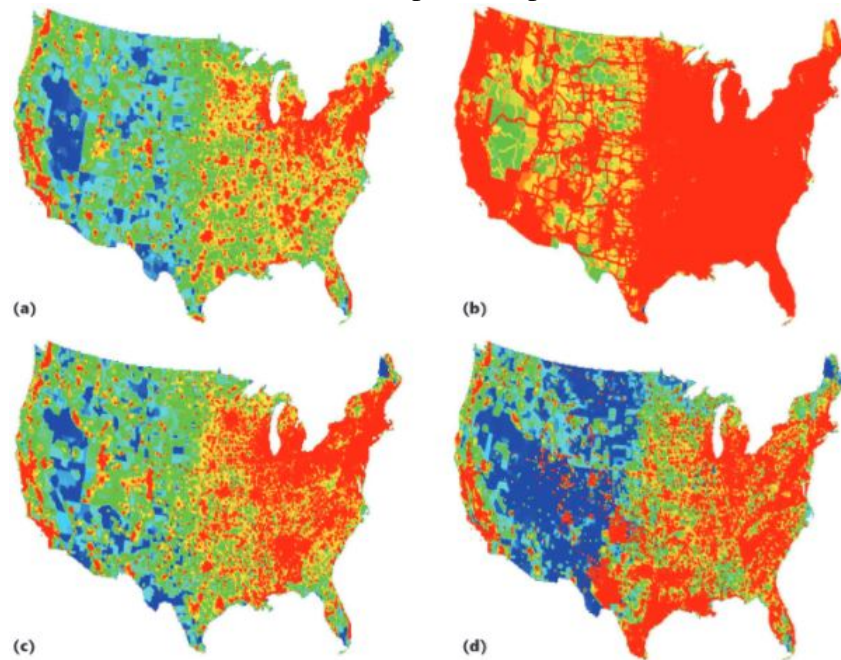


A atmosfera gerada por três vulcões em semanas consecutivas (na Islândia em maio de 2011 e em Chile e Eritréia em junho de 2011) e os efeitos e restrições que os três provocaram no tráfego aéreo de suas respectivas regiões foi estudada em [Günther et al. 2016]. As localizações dos vulcões estão demarcadas pelo uso de glifos em suas respectivas cidades e as rotas estão destacadas pelas linhas correspondentes, conforme Figura 3.8a). Em outra instância do trabalho é apresentado rotas percorridas pelas nuvens de materiais provenientes das erupções, destacadas através do uso de *streamlines* iluminadas, como visto em Figura 3.8b).

Figura 3.8: Visão geral dos dados produzidos após análise



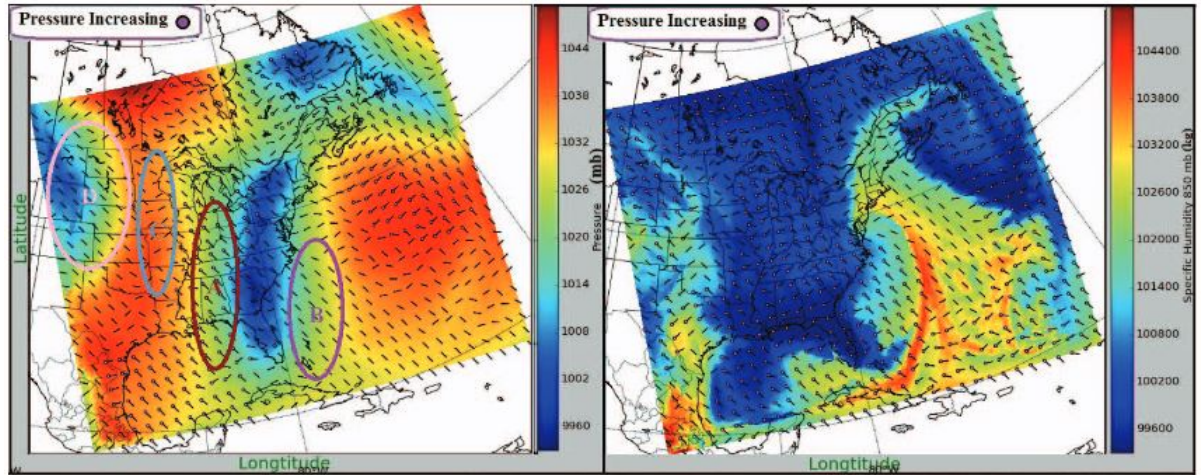
Em [Andryscio et al. 2009] é apresentado o projeto *The Vulcan Project* cujo objetivo é reduzir emissões de gases CO<sub>2</sub> nos Estados Unidos por parte de fábricas, indústrias, etc. Este projeto disponibilizou um vídeo no Youtube em 2008 para divulgação das grandes emissões de gases no intuito de conscientização, atingindo uma marca inédita de 100000 visualizações em apenas dois dias. Pode-se observar, através do uso de mapeamento por cor, diferentes instâncias de emissões destes gases: a) comercial, b) automóveis, c) residências e d) indústrias. As cores estão dispostas em uma escala RGB em que o azul representa zero emissões de gases e o vermelho representa 625 quilotons de carbono/ano. Estes dados são apresentados em Figura 3.9. [Andryscio, Benes e Gurney 2008] em outro trabalho apresentam uma ferramenta de manipulação, análise e extração de dados decorrente da emissão de CO<sub>2</sub> nos EUA, semelhante ao anterior mas com uma visão mais técnica. Nesta nova abordagem, é possível uma visualização destes dados através de histogramas para uma análise mais precisa das taxas de emissões e suas localidades.

Figura 3.9: Diferentes fontes de CO<sub>2</sub> reportadas pelo inventário do *Vulcan Project*

No trabalho de [Sun et al. 2006] é utilizada a técnica *streamline splatting* para visualização de fluxos 3D oceânicos e atmosféricos. O método *streamline splatting* utilizado integra as técnicas de geração de *streamline* com renderização de volume. Primeiramente são gerados segmentos de *streamlines* dos fluxos 3D, para então serem projetados em uma imagem plana (*splatting*).

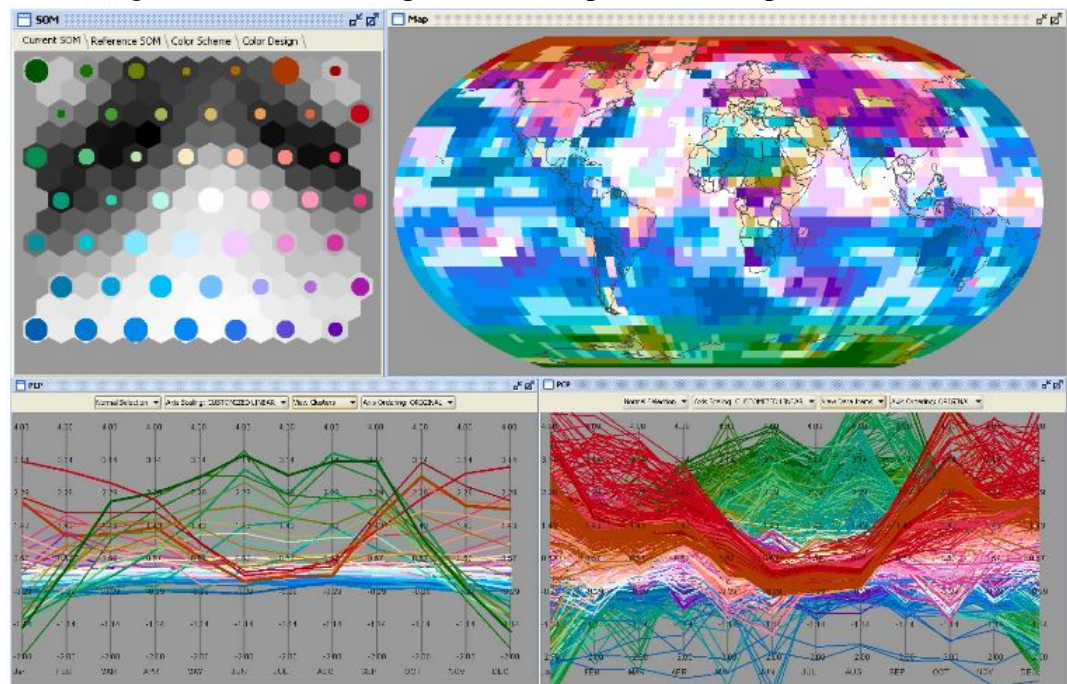
No trabalho de [Abedzadeh 2015] foram utilizados glifos, *scatterplots* e mapeamento por cor para estudar a correlação entre temperatura e pressão em dados climáticos. Os glifos são utilizados para representar a correlação entre as duas variáveis, possibilitando a meteorologistas detectar padrões entre ambas. Os *scatterplots* foram utilizados para marcar as regiões em que ocorria aumento de pressão através de círculos violetas. Já o mapeamento por cor foi utilizado para visualizar a temperatura ao fundo. Estes dados podem ser visualizados em Figura 3.10.

Figura 3.10: Uso de glifos, *scatterplots* e mapeamento por cor em correlação de temperatura e pressão



Em uma outra abordagem, [Jin e Guo 2009] exploram como trabalhar com visualizações multivariadas, ao contrário do 'convencional' com apenas um fenômeno ocorrendo por vez. Este artigo introduz uma abordagem para explorar e entender padrões de mudança de clima complexos sob múltiplas perspectivas. Para isto, utilizam do SOM (*self-organizing map*), semelhante a [Mendez et al. 2009], que são componentes de visualização multidimensionais em *clustering*, que, neste caso, projetam dados multivariados em um espaço 2D. Para cada nó do SOM são atribuídos uma cor única para que clusters vizinhos tenham cores similares. Assim, cada cor de cada SOM representa um grupo de dados armazenados de diferentes fenômenos em poucos *clusters*. Figura 3.11 representa este esquema.

Figura 3.11: Padrões espaciais da temperatura da superfície terrestre



### 3.4.3 Avaliação de Uso

Alguns dos trabalhos encontrados apresentam avaliações realizadas com usuários a respeito do uso de técnicas de visualização sob diferentes perspectivas, como as mais utilizadas, ferramentas utilizadas em conjunto ou até mesmo seu aspecto visual.

Uma outra pesquisa com voluntários foi realizada por [Tominski, Donges e Nocke 2011]. Executaram um questionário com 71 pesquisadores a fim de obter uma visão geral sobre visualização climática. Esta pesquisa teve como objetivo identificar as técnicas mais utilizadas, quais as ferramentas em conjunto e quais tarefas são realizadas com estas ferramentas. Tabela 3.4 contém os resultados desta análise.

Tabela 3.4: Análise de técnicas e ferramentas mais utilizadas

| Técnicas Mais Utilizadas    | Tarefas Realizadas                                    | Ferramentas Utilizadas                            |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Gráficos temporais, 90%     | Apresentação de resultados científicos, 93%           | Microsoft Office, 75%                             |
| Gráficos de barras, 77%     | Avaliação de modelos, 76%                             | Sistemas baseados em scripts, 44%                 |
| Mapas 2D, 66%               | Verificação de hipóteses, 70%                         | Linguagens matemáticas (MATLAB, Mathematica), 44% |
| <i>Scatterplots</i> , 56%   | Exploração de padrões e estruturas desconhecidas, 69% | Sistemas de Informações Geográficas (SIG), 38%    |
| <i>Height mapping</i> , 18% | Tornar resultados compreensíveis para a mídia, 58%    | sistemas de propósito específicos, 20%            |
| técnicas 3D, 37%            |                                                       |                                                   |

Já [Johansson, Neset e Linnér 2010] abordam como métodos de avaliação normalmente utilizados em visualização da informação podem ser utilizados para a visualização climática, aprimorando nosso entendimento de técnicas de visualização. Um dos grandes desafios da visualização climática é integrar as diferentes áreas que a ciência do clima engloba (química atmosférica, oceanografia, biologia, paleoclimatologia, física, glaciologia, geografia, ciência política, economia e sociologia), de forma a facilitar o seu entendimento quando apresentados sob a forma de dados aos usuários. Foram levantadas questões a respeito da representação visual, sobre *height mapping* (Figura 3.12), em três áreas: novidade, estética e compreensão das representações visuais; obtendo-se um

resultado satisfatório.

Figura 3.12: Uso do *height mapping* como forma de avaliação



Em outra abordagem, [Seebauer 2013] apresenta o *Climate Quiz*, que é um exemplo de *game with a purpose* (subcategoria de *serious games*), que são jogos com um propósito científico em meio ao entretenimento, cujo objetivo é mesclar diversão, qualidade e objetivos do estudo. Este jogo em questão é utilizado como instrumento para estudo de mudanças climáticas e a pontuação é feita através das escolhas corretas de relações entre causa-efeito destas mudanças. Neste trabalho é utilizado um questionário com 193 pessoas para avaliar o jogo. Uma amostra do *Quiz* é apresentado em Figura 3.13.

Figura 3.13: Amostra do *Climate Quiz*

| Quiz question                                                     | Response options <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                     | Correct answers |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| What effect does the greenhouse effect describe?                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- The protection from solar radiation by the Earth's ozone layer</li> <li>- <b>Gases in the atmosphere that trap heat</b></li> <li>- The reflection of sunlight by clouds</li> <li>- How plants grow</li> </ul>            | 89.6%<br>(n=77) |
| Is the destruction of tropical forests a cause of global warming? | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Yes</b></li> <li>- No</li> </ul>                                                                                                                                                                                      | 43.8%<br>(n=96) |
| Climate change will cause temperatures to increase:               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ...by roughly the same amount in all regions of the world.</li> <li>- ...most strongly in seaside areas.</li> <li>- <b>...most strongly in the Arctic.</b></li> <li>- ...most strongly in equatorial regions.</li> </ul> | 60.7%<br>(n=84) |

<sup>b</sup>. Correct answer is printed bold.

### 3.4.4 Visualização Interativa

Agrupados em outra categoria estão trabalhos que apresentam alguma forma de interação com os dados estudados, sejam através de TUI, realidade virtual ou mesmo realidade aumentada.

Os autores [Pettersson, Wesslén e Seipel 2004] apresentam uma nova forma de visualização e exploração interativa de dados climáticos através de um display móvel de tomografia *in situ* em realidade aumentada. Este display funciona como um dispositivo plano que registra o ambiente real, fornecendo informações de fluxos de ar e temperatura e auxiliando o usuário a evitar pontos com temperaturas baixas, como exemplificado em Figura 3.14.

Figura 3.14: Exemplo demonstrativo de como gradientes de temperatura podem ser visualizados e interativamente explorados em contexto físico utilizando o display tomográfico in situ



Um outro exemplo de interação é visto no trabalho de [Ducao et al. 2013] que apresentam o *WeatherPlay*, um website que coleta informações de clima e as apresenta através de um aplicativo em TV. O objetivo é divulgar as condições de clima do local desejado de forma simples e eficaz, em que o usuário seleciona um ícone no mapa (Figura 3.15a)), representado através de glifos, para que esta localidade seja apresentada ao usuário e este possa obter informações climáticas daquela região (Figura 3.15b)).

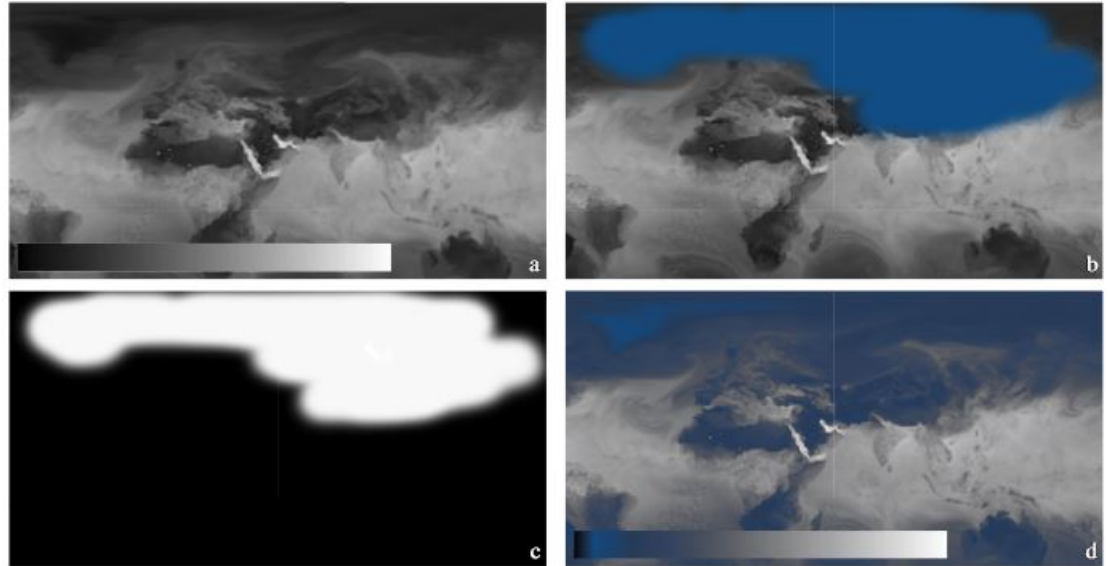
Figura 3.15: *WeatherPlay*: a) mapa de regiões. b) região selecionada pelo usuário

No trabalho de [Yannier et al. 2008], é investigado dispositivos hápticos em realidade aumentada para a visualização de dados meteorológicos. No dispositivo apresentado, usuários analisavam efeitos de causa e efeito em relação ao clima, onde eles podiam sentir o efeito de *force-feedback* conforme interagiam com o ambiente como forma intuitiva de aprendizado sobre mudanças climáticas

Em outro trabalho, [Kehrer et al. 2008] apresenta um sistema visual de exploração de dados multivariados interativo, que auxilia pesquisadores a realizarem hipóteses para conjuntos de dados de simulação e observação. O sistema se concentra em extensões que facilitam a descoberta de novos dados através de agregação de funções, como múltiplas técnicas de visualização.

No trabalho de [Schroeder e Keefe 2016] é apresentada uma interface *Sketch-and-touch* de interação para auxílio à visualização de dados meteorológicos complexos. Nesta interface é possível tornar a visualização de dados meteorológicos mais acessível para outras pessoas, pois ela possibilita a criação de mapas usando algumas técnicas de visualização pré-definidas, como mapeamento por cor, glifos, *streamlines*, entre outras. Figura 3.17 ilustra essa funcionalidade aplicando mapeamento por cor a dados capturados de satélite.

Figura 3.16: Exemplo de edição de mapa. a) Dado bruto de satélite em escala de cinza. b) Porção da imagem sendo pintada por usuário. c) O "excesso de tinta" em cada pixel sendo armazenado em uma imagem-máscara. d) Processo repetitivo de utilização da máscara para determinar quais pontos se referem aos pixels pintados



Em [Liestøl, Morrison e Stenarson 2014] é apresentado um aplicativo de realidade aumentada para visualizar uma data futura regiões em volta de acordo com dados online do clima em tempo real. O usuário pode mover-se para visualizar áreas mais distantes, conforme as condições climáticas mudam. Em um cenário construído, foi feita a reconstrução da *Oslo Opera House* e seu ambiente em volta, para o ano de 2222. Percorrendo este ambiente, é possível visualizar a cidade em decadência e sendo revegetada, além de aparentar abandonada também, com o nível do mar 2 metros acima do atual. Esta situação é apresentada em Figura 3.17.

Figura 3.17: Representação do cenário no tempo atual (acima) e no ano de 2222 após mudanças climáticas (abaixo)



### 3.4.5 Análise Comparativa

Após a explanação dos conteúdos dos trabalhos encontrados nesta revisão sistemática, estes são dispostos em Tabela 3.5, divididos de acordo com as técnicas apresentadas por cada um, a quantidade de técnicas utilizadas e suas formas de representação, respectivamente.

De acordo com os dados apresentados em Tabela 3.5 é possível observar que a grande maioria dos trabalhos apresentados abordam estudos sobre alguma situação ou problema em específico. Tais trabalhos fazem o uso de uma ou poucas técnicas de visualização no intuito de solucionar o problema apresentado de acordo com sua forma de representação.

| Artigos                             | Técnicas Utilizadas                                                               | # Técnicas | Representação               |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| [Ravi et al. 2013]                  | Gráficos, Histogramas, Isolinhas, Mapeamento por Cor, Streamlines                 | 5          | 2D, 3D                      |
| [Dhanya e Chandrasekar 2014]        | Gráficos, Mapeamento por Cor, Streamlines                                         | 3          | 2D                          |
| [Xie, Yu e Maz 2014]                | Gráficos, Histogramas, Renderização de Volume                                     | 3          | 3D                          |
| [Sun et al. 2012]                   | Histogramas, Mapeamento por Cor                                                   | 2          | 2D, 3D                      |
| [Zou e Wang 2012]                   | Mapeamento por Cor, Renderização de Volume, Streamlines                           | 3          | 2D                          |
| [Potter et al. 2009]                | Mapeamento por Cor                                                                | 1          | 2D                          |
| [Nocke, Schumann e Böhm 2004]       | Mapeamento por Cor, Scatterplots                                                  | 2          | 2D                          |
| [Brainerd e Pang 2001]              | Glifos, Isolinhas                                                                 | 2          | 2D, 3D, Interação           |
| [Tominski, Donges e Nocke 2011]     | Gráficos, Height Mapping, Histogramas, Isolinhas, Mapeamento por Cor, Streamlines | 6          | 2D, 3D                      |
| [Pettersson, Wesslén e Seipel 2004] | Nenhum                                                                            | 0          | 3D, Interação, R. Aumentada |

|                                         |                                                                                                                    |   |                   |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------|
| [Sun et al. 2006]                       | Mapeamento por Cor, Renderização de Volume, Streamlines                                                            | 3 | 2D, 3D            |
| [Shen et al. 2013]                      | Gráficos, Mapeamento por Cor, Streamlines                                                                          | 3 | 2D                |
| [Ahern et al. 2006]                     | Gráficos, Mapeamento por Cor, Scatterplots                                                                         | 3 | 2D                |
| [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008] | Glifos, Renderização de Volume, Scatterplots                                                                       | 3 | 2D, 3D            |
| [Günther et al. 2016]                   | Glifos, Mapeamento por Cor, Streamlines                                                                            | 3 | 2D                |
| [Steed et al. 2009]                     | Scatterplots                                                                                                       | 1 | 2D                |
| [Andryscio et al. 2009]                 | Histogramas, Mapeamento por Cor                                                                                    | 2 | 2D                |
| [Mendez et al. 2009]                    | Gráficos, Histogramas, Mapeamento por Cor                                                                          | 3 | 2D, 3D            |
| [Healey e Sawant 2012]                  | Glifos, Mapeamento por Cor                                                                                         | 2 | 2D                |
| [Nocke, Flechsig e Bohm 2007]           | Glifos, Gráficos, Height Mapping, Isolinhas, Mapeamento por Cor, Renderização de Volume, Scatterplots, Streamlines | 8 | 2D, 3D, Interação |
| [Wall 2010]                             | Nenhum                                                                                                             | 0 | Interação         |
| [Andryscio, Benes e Gurney 2008]        | Histogramas, Mapeamento por Cor                                                                                    | 2 | 3D, Interação     |
| [Chaudhuri et al. 2014]                 | Histogramas, Streamlines                                                                                           | 2 | 2D                |
| [Wong et al. 2014]                      | Renderização de Volume, Scatterplots, Streamlines                                                                  | 3 | 3D                |

|                                  |                                                                                      |   |                    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------|
| [Janicke et al. 2009]            | Glifos, Gráficos, Histogramas, Isolinhas, Mapeamento por Cor, Renderização de Volume | 6 | 2D, 3D, Interação  |
| [Johansson, Neset e Linnér 2010] | Height Mapping, Mapeamento por Cor                                                   | 2 | 3D                 |
| [Schroeder e Keefe 2016]         | Glifos, Gráficos, Mapeamento por Cor, Streamlines                                    | 4 | 2D, Interação      |
| [Dasgupta et al. 2015]           | Gráficos, Histogramas, Scatterplots                                                  | 3 | 2D                 |
| [Anik et al. 2015]               | Gráficos, Histogramas                                                                | 2 | 3D                 |
| [Seebauer 2013]                  | Nenhum                                                                               | 0 | Interação          |
| [Ducao et al. 2013]              | Glifos                                                                               | 1 | 2D, Interação      |
| [Yannier et al. 2008]            | Height Mapping, Isolinhas, Mapeamento por Cor, Streamlines                           | 4 | 2D, 3D, R. Virtual |
| [Li, Zhang e Meng 2014]          | Gráficos, Mapeamento por Cor, Scatterplots                                           | 3 | 2D, Interação      |
| [Kehrer et al. 2008]             | Gráficos, Histogramas, Mapeamento por Cor, Scatterplots                              | 4 | 2D, 3D, Interação  |
| [Liu, Gong e Yu 2015]            | Gráficos, Isolinhas, Renderização de Volume, Streamlines                             | 4 | 2D, 3D             |
| [Alder e Hostetler 2015]         | Gráficos, Histogramas, Mapeamento por Cor                                            | 3 | 2D                 |
| [Sukharev et al. 2009]           | Mapeamento por Cor, Renderização de Volume                                           | 2 | 2D, 3D             |
| [Abedzadeh 2015]                 | Glifos, Mapeamento por Cor, Scatterplots, Streamlines                                | 4 | 2D                 |

|                                      |                                            |   |                         |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|---|-------------------------|
| [Steed et al. 2013]                  | Gráficos, Mapeamento por Cor, Scatterplots | 3 | 2D, Interação           |
| [Liestøl, Morrison e Stenarson 2014] | Gráficos                                   | 1 | Interação, R. Aumentada |
| [Jin e Guo 2009]                     | Gráficos, Mapeamento por Cor               | 2 | 2D                      |

Tabela 3.5: Análise Comparativa

Em outra instância, alguns trabalhos foram selecionados e distribuídos em outra tabela de forma a tornar seus dados mais legíveis devido à quantidade de trabalhos apresentados em Tabela 3.5. Estes artigos também estão dispostos em Tabela 3.6, pois, diferentemente da grande maioria de trabalhos encontrados, apresentam algumas situações em específico que se assemelham mais com a proposta desta dissertação.

Em geral, pôde-se constatar que existem poucos trabalhos que fazem o catálogo de técnicas de visualização, agrupando-as em categorias. Outro ponto observado é a falta de trabalhos que avaliam o uso de tais técnicas. Os artigos contidos em Tabela 3.6 apresentam um conjunto de técnicas de visualização distribuídas de acordo com suas formas de representação, como observado em Tabela 3.5, ou apresentam avaliações realizadas no estudo de visualização meteorológica.

Desta forma, torna-se mais claro o escopo deste trabalho:

- Realizar uma análise, através de uma revisão sistemática da literatura, das técnicas de visualização mais utilizadas, apresentando-as e classificando-as de acordo com suas formas de representação;
- Efetuar uma pesquisa de avaliação com usuários voluntários especialistas e não-especialistas, no intuito de identificar o grau de compreensão do público não-especialista em termos de visualização meteorológica e no uso de técnicas de

visualização, em analogia com o público especialista através de um análise geral quanto a visualização climática.

| Artigos                          | # Técnicas | Tipo de Avaliação                                    | Técnicas Avaliadas                         |
|----------------------------------|------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| [Ravi et al. 2013]               | 5          |                                                      |                                            |
| [Nocke, Flechsig e Bohm 2007]    | 8          |                                                      |                                            |
| [Tominski, Donges e Nocke 2011]  | 6          | Com especialistas. Quais as técnicas mais utilizadas |                                            |
| [Johansson, Neset e Linnér 2010] | 2          | Com não especialistas                                | Height Mapping                             |
| Trabalho Proposto                | 9          | Com especialistas e não especialistas                | Mapeamento por Cor, Isolinhas, Streamlines |

Tabela 3.6: Trabalhos Relacionados

De acordo com Tabela 3.6, fica claro uma lacuna encontrada entre os trabalhos apresentados pelo mapeamento sistemático e que também teve relevância no desenvolvimento deste trabalho, a identificação das principais técnicas de visualização e como avaliá-las.

De acordo com o apresentado, [Nocke, Flechsig e Bohm 2007] e [Ravi et al. 2013] apresentam formas de agrupar estas técnicas sob formas de representação, além de catalogarem seu uso de forma geral, como visto em outros trabalhos também do mesmo autor, [Nocke et al. 2008] e [Nocke, Schumann e Böhm 2004], abrindo espaço para avaliações sobre as principais técnicas utilizadas, ponto não abordado nestes trabalhos.

Em outro aspecto, [Tominski, Donges e Nocke 2011], [Johansson, Neset e Linnér

2010] e [Seebauer 2013] apresentam diferentes avaliações realizadas. Por um lado, [Tominski, Donges e Nocke 2011] avalia em um mesmo estudo quais as técnicas de visualização mais utilizadas por pessoas especialistas na área, assim como ferramentas e outros objetos estudados. [Johansson, Neset e Linnér 2010], por outro lado, avaliaram a técnica *Height Mapping* com usuários em quesitos de estética, tendo uma boa aceitação em seus resultados. Novamente, estes trabalhos apresentam lacunas no que diz respeito à abordagem das técnicas de visualização de uma forma mais geral. [Seebauer 2013] executa uma avaliação sobre um *game with a purpose* relacionado a mudanças climáticas, porém devido a ausência da utilização de técnicas de visualização, este trabalho não foi incluído em Tabela 3.6.

Compilando as ideias deste conjunto de trabalhos e em busca de uma avaliação mais aprofundada, este mapeamento sistemático serviu de base na aquisição dos conhecimentos necessários em visualização climática, onde foi possível, em linhas gerais, catalogar as técnicas de visualização mais utilizadas, após uma vasta explanação dos trabalhos encontrados, e, conseqüentemente, auxiliar na definição de quais técnicas seriam utilizadas como modelo de avaliação.

# Capítulo 4

## Experimentos

Neste capítulo é descrito o processo de avaliação no estudo de dados climáticos, enfatizando desde a captura dos dados e compreensão das técnicas de visualização até a determinação do modelo de análise utilizado para avaliar as técnicas de visualização então propostas.

### 4.1 Identificação de Técnicas de Visualização

Um dos pontos fundamentais da revisão sistemática realizada foi a definição de quais técnicas utilizar como avaliação, visto que diversas foram identificadas mas nem todas representam de fato um desafio quanto à visualização. Para isto, alguns critérios necessitam de ser descritos como pré-requisitos na escolha das técnicas a serem utilizadas como forma de avaliação:

1. Técnicas tipicamente bidimensionais, segundo classificações de [Nocke, Flechsig e Bohm 2007] e [Ravi et al. 2013];
2. Quantidade, em número de utilização, de uma mesma técnica de visualização nos trabalhos sintetizados pelo mapeamento sistemático, conforme observado no

gráfico da Figura 3.2;

3. Quantidade de trabalhos em formas de representação que uma mesma técnica pode ser utilizada em 2D, apresentadas no gráfico da Figura 3.4;
4. Exclusividade quanto a avaliação, tendo em vista que *Height Mapping*, por exemplo, foi avaliada por [Johansson, Neset e Linnér 2010];
5. Representam características visíveis em uma imagem climática.

Obedecendo a estes critérios, Tabela 4.1 contém uma associação entre as técnicas de visualização identificadas pelo mapeamento sistemático e os critérios utilizados na escolha de quais destas técnicas serão utilizadas para avaliação.

Tabela 4.1: Critérios para seleção das técnicas de visualização

| Técnicas / Critérios   | Crit 1 | Crit 2 | Crit 3 | Crit 4 | Crit 5 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mapeamento por Cor     | X      | 27     | 24     | X      | X      |
| Glifos                 | X      | 9      | 9      | X      | X      |
| Gráficos               | X      | 18     | 15     | X      |        |
| <i>Height Mapping</i>  |        | 13     | 3      |        | X      |
| Histogramas            | X      | 4      | 10     | X      |        |
| Isolinhas              | X      | 7      | 7      | X      | X      |
| <i>Scatterplots</i>    | X      | 11     | 10     | X      |        |
| <i>Streamlines</i>     | X      | 15     | 12     | X      | X      |
| Renderização de Volume |        | 9      | 7      | X      | X      |

As justificativas na determinação de tais critérios são relativamente simples. O Critério 1 faz-se necessário, visto que a avaliação será realizada com o uso de imagens bidimensionais. Os critérios 2 e 3, com caráter eletivo, dizem respeito àquelas técnicas mais utilizadas, segundo trabalhos identificados pelo mapeamento. Critério 4, em

específico, é importante, visto que foi identificado um estudo de avaliação sobre uma das técnicas apresentadas. O Critério 5 tem caráter eliminatório no intuito de utilizar as técnicas que apresentam melhores características de visualização, como cores, linhas, símbolos, entre outros. Portanto, analisando Tabela 4.1, as técnicas propícias para avaliação são mapeamento por cor, glifos, isolinhas e *streamlines*.

Cada técnica possui suas propriedades e particularidades e, por vezes, podem se entrelaçar na representação de múltiplos dados simultaneamente, de acordo com o exposto ao longo do trabalho. No entanto, dentre estas quatro técnicas, glifos, exclusivamente, não representa um desafio em termos de compreensão, visto que esta técnica, na grande maioria dos casos, representa símbolo(s) apenas para destacar pontos específicos em um mapa, de acordo com o conteúdo apresentado pelo mesmo, no intuito de tornar estes pontos mais claros e visíveis.

Assim, as técnicas de visualização identificadas para realização dos experimentos de avaliação deste trabalho são:

- Mapeamento por cor;
- Isolinhas;
- *Streamlines*.

Para concluir a seleção de itens na avaliação, resta a escolha das imagens presentes no formulário. Procurou-se a imparcialidade na escolha de tais imagens, buscando adquirir imagens de diferentes *websites* em conteúdo climático, como [earth] e [COLA], assim como também imagens disponíveis pelos laboratórios LAPIS e CPTEC. Também foram utilizadas algumas imagens presentes em trabalhos encontrados ao longo do estudo. Em cada caso, as imagens são profissionalmente projetadas e divulgadas da forma como estão dispostas no formulário a ser apresentado.

## 4.2 Caracterização do público-alvo

Para a realização dos experimentos é necessário caracterizar o público-alvo em:

- Especialista: Técnicos e profissionais que lidam com informações climáticas e/ou meteorológicas;
- Não-Especialista: Usuários em geral sem conhecimento específico.

A escolha de um público familiarizado com o conteúdo faz-se necessária para prover uma avaliação mais criteriosa em termos de compreensão do conteúdo através das técnicas de visualização. Entendemos que o usuário especialista tem maior compreensão das necessidades de representação das imagens analisadas.

O público não-especialista nos fornece a visão em ampla escala, uma vez que este público é o consumidor usual das imagens geradas por ferramentas de visualização de dados climáticos. Em última análise é o público em geral que faz a compreensão da eficácia das técnicas de visualização em representar os fenômenos meteorológicos.

O uso da pesquisa qualitativa foi escolhido pois apresenta um melhor embasamento para entender de forma mais aprofundada seu propósito, identificar o grau de entendimento de usuários voluntários não-especialistas quando solicitados a visualização de imagens de dados meteorológicos, sob diferentes técnicas de visualização associados a diversos fenômenos naturais, executando uma analogia com o público especialista para destacar a diferença entre o grau de compreensão dos dois grupos. Assim, ao todo participaram da pesquisa de avaliação 36 usuários voluntários, sendo 16 usuários especialistas e 20 usuários não-especialistas.

## 4.3 Ferramenta de Avaliação

A avaliação foi realizada através de um formulário Google<sup>1</sup> baseado nos questionários propostos pelo AttrakDiff<sup>2</sup> e pelo VisAWI<sup>3</sup>, que avaliam sentimentos e percepções do usuário e cujos métodos de análise podem identificar as qualidades de uma proposta em sua perspectiva. O formulário AttrakDiff foi utilizado com os dois grupos de voluntários, enquanto que o formulário VisAWI foi utilizado com os usuários não-especializados em dados climáticos. A utilização de dois formulários propiciaram resultados mais ricos, visto que ambos possuem semelhanças e peculiaridades que os diferem um do outro.

De modo a tornar o formulário abrangente em termos qualitativos, foram utilizadas imagens representando diferentes situações meteorológicas para que cada técnica a ser avaliada seja associada a diversos tipos de fenômenos ou eventos meteorológicos, com o intuito de realizar um grande número de combinações para obter um resultado mais concreto.

### 4.3.1 Formulário AttrakDiff

O AttrakDiff apresenta 28 pares de conceitos opostos em uma escala diferencial semântica de sete pontos, variando de -3 a 3, com 7 possíveis níveis de escolha entre cada conceito do par. Este formulário é dividido em três dimensões: Qualidade Pragmática (QP), Qualidade Hedônica (QH), que é dividida em duas, Estímulo (QH - E) e Identidade (QH - I) e, finalmente, Atratividade (ATT).

A QP descreve a qualidade do estudo proposto e indica o grau de sucesso e metas que os usuários podem alcançar ao usá-lo. QH - E indica que o estudo proposto pode suportar as necessidades de desenvolvimento da pesquisa em termos de originalidade,

<sup>1</sup><https://www.google.com/forms/about/>

<sup>2</sup><http://attrakdiff.de/index-en.html>

<sup>3</sup><http://visawi.uid.com/>

interesse e encorajamento. QH - I descreve a extensão a que o estudo proposto permite a identificação do usuário com ele. A ATT indica o valor global do estudo com base na qualidade da percepção. Por tratar-se de uma análise qualitativa, este formulário suporta até no máximo um número de 20 pessoas.

Figura 4.1 contém um trecho dos pares de conceitos opostos utilizado por este formulário. Ele foi utilizado tanto com usuários familiarizados com dados climáticos quanto com usuários não familiarizados, por ter um caráter mais técnico e auxiliar a entender como usuários classificam a usabilidade e design do conteúdo apresentado.



|              |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Simples      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Complicado      |
| Feio         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Atraente        |
| Prático      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Imprático       |
| Estiloso     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Brega           |
| Previsível   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Imprevisível    |
| Econômico    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Requintado      |
| Inimaginável | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Criativo        |
| Bom          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Ruim            |
| Confuso      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Bem estruturado |
| Tedioso      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Cativante       |

Figura 4.1: Visão geral do formulário AttrakDiff. Fonte: [AttrakDiff]

### 4.3.2 Formulário VisAWI

O VisAWI apresenta 18 quesitos de avaliação do conteúdo proposto. Cada quesito contém uma escala diferencial semântica de sete pontos, variando de "discordo fortemente" a "concordo fortemente", com 7 possíveis níveis de escolha. Este formulário é dividido em quatro aspectos a partir do ponto de vista do usuário: simplicidade, diver-

cidade, coloração e destreza.

A simplicidade compreende a clareza e estrutura das imagens apresentadas, a diversidade reflete aspectos como criatividade e dinâmica das imagens, coloração diz respeito a avaliação em estética das imagens selecionadas e das combinações de cores utilizadas, a destreza avalia se as imagens são atualizadas e se foram desenvolvidas com habilidade e precisão. Semelhante ao anterior, o formulário VisAWI também possui a limitação de 20 pessoas.

Figura 4.2 contém alguns dos quesitos utilizados por este formulário. Ele foi utilizado com usuários não-especialistas em dados climáticos por fornecer uma visão mais clara e específica quanto aos itens a serem avaliados no intuito de obter resultados em termos de compreensão das técnicas avaliadas, pois mostra subjetivamente como usuários percebem as imagens apresentadas, sejam elas compreensíveis ou não. Este formulário foi utilizado em sua versão *SHORT* com 4 quesitos. Esta decisão foi tomada devido à quantidade de questões do conjunto AttrakDiff/VisAWI, para deixá-lo mais objetivo, visto que cada técnica foi avaliada independentemente, mas sem perda de desempenho nos resultados gerados.



|                                                 | Discordo fortemente   | Discordo              | Discordo parcialmente | Não concordo nem discordo | Concordo parcialmente | Concordo              | Concordo fortemente   |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| As imagens são compreensíveis                   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| As imagens são agradáveis                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| A composição de cores é atraente                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| As imagens parecem profissionalmente projetadas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Figura 4.2: Visão geral do Formulário VisAWI. Fonte: [VisAWI]

### 4.3.3 Condução dos Experimentos

A avaliação, conforme mencionada, foi realizada através de um formulário com um público especialista e um não-especialista e está aqui dividida por etapas com o objetivo de facilitar o passo-a-passo de cada parte e quesitos do formulário final utilizado, desde a apresentação sobre o tema até a última etapa de quesitos propostos, totalizando 8 páginas, com 40 alternativas ao todo, somados os 28 pares de conceitos do AttrakDiff e 4 quesitos para cada técnica do VisAWI. Seu endereço<sup>4</sup> permanece online, mas neste momento apenas para consulta.

A avaliação de um modo geral consistiu na apresentação de diferentes imagens que fazem o uso das três técnicas de visualização selecionadas e utilizadas para representar diferentes fenômenos naturais. O formulário na íntegra está localizado ao final desta dissertação, no Apêndice-B.

#### Apresentação

Ao início da avaliação, usuários eram convidados a responderem ao formulário online. Era abordado previamente a pesquisa de forma geral, assim como seus objetivos. Após a explicação do conteúdo, os voluntários podiam então dar início ao formulário.

Mesmo após a explicação da pesquisa, ao visualizar a capa do formulário, o voluntário, novamente, obtia conhecimento acerca da avaliação e sobre o seu propósito.

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Após a apresentação ao tema e sobre a abordagem do formulário, era solicitado que o presente usuário estivesse de acordo a participar da pesquisa através de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), etapa obrigatória a pesquisas envolvendo seres humanos. O TCLE contém toda uma abordagem técnica sobre o trabalho proposto

---

<sup>4</sup><https://goo.gl/forms/bQBdyBnURc7K1pm2>

e solicita, ao final, o consentimento do usuário participante.

### **Entrevista**

A próxima etapa do formulário consiste em uma breve entrevista com o objetivo de identificar que tipo de voluntário está participando da pesquisa neste determinado momento, seja ele especialista em dados climáticos ou não. Isto foi executado através de quatro perguntas básicas sobre seus conhecimentos gerais acerca do conteúdo abordado.

### **Técnicas de visualização utilizadas**

A página seguinte do formulário consiste da presença das técnicas de visualização a serem utilizadas nas próximas etapas, isto foi feito a fim de introduzir ao usuário a parte principal a ser respondida, ressaltando novamente ao mesmo para fornecer respostas de acordo com sua interpretação das imagens a serem apresentadas.

As imagens utilizadas neste formulário contemplam as técnicas isolinha, mapeamento por cor e *streamlines*. Ao todo foram utilizadas nove imagens, três para cada técnica em avaliação. Cada imagem contém uma breve explicação sobre o tipo de fenômeno que ela representa, assim como qualquer outro tipo de imagem meteorológica estudada e/ou observada em outros meios de propagação da informação. Estas imagens estão dispostas nas páginas 5, 6 e 7 do formulário:

1. Isolinhas: São linhas sobre a superfície de determinada região, diferenciando-as uma das outras e fornecendo informações valiosas sobre a geometria desta região e suas propriedades. Estas imagens estão organizadas na página 5 do formulário.
2. Mapeamento por cor: Técnica que utiliza uma escala de cores para diferenciar regiões umas das outras de acordo com o fenômeno natural apresentado. Estas imagens estão organizadas na página 6 do formulário.

3. *Streamline*: São setas direcionais que apontam na direção do fluxo e o comprimento da seta representa a velocidade do fenômeno estudado. Estas imagens estão organizadas na página 7 do formulário.

### Formulário VisAWI

O modelo de formulário VisAWI é distribuído ao longo das páginas 5, 6 e 7 juntamente com as imagens apresentadas. Cada trio de imagens é seguido por quesitos iguais do formulário, de forma a avaliar cada técnica sob as mesmas perspectivas. Os quesitos VisAWI utilizados pelo formulário englobam os quatro aspectos a serem avaliados: simplicidade, diversidade, coloração e destreza e estão distribuídos ao longo de uma escala do 1 ao 7, sendo 1 "Discordo Fortemente" e 7 "Concordo Fortemente", conforme Tabela 4.3.3:

1. As imagens são compreensíveis;
2. As imagens são agradáveis;
3. A composição de cores está mal ajustada;
4. As imagens precisam de informações adicionais.

|                     |   |   |   |   |   |   |   |                     |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---------------------|
| VisAWI              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | VisAWI              |
| Discordo Fortemente |   |   |   |   |   |   |   | Concordo Fortemente |

Tabela 4.2: Formulário VisAWI - Escala de 1 a 7

### Formulário AttrakDiff

O modelo de formulário AttrakDiff está distribuído na página 8 e é relacionado com todas as imagens e técnicas apresentadas, com o objetivo de uma visão geral no que diz



|                |  |  |  |  |  |  |  |              |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--------------|
| Repulsivo      |  |  |  |  |  |  |  | Atraente     |
| Ousado         |  |  |  |  |  |  |  | Cauteloso    |
| Inovador       |  |  |  |  |  |  |  | Conservador  |
| Tedioso        |  |  |  |  |  |  |  | Cativante    |
| Pouco exigente |  |  |  |  |  |  |  | Desafiador   |
| Motivador      |  |  |  |  |  |  |  | Desmotivador |
| Original       |  |  |  |  |  |  |  | Comum        |
| Incontrolável  |  |  |  |  |  |  |  | Controlável  |

Tabela 4.3: Formulário AttrakDiff - Pares de conceitos

## Capítulo 5

### Avaliação e Resultados Obtidos

A experiência de usuário (do inglês, *User Experience (UX)*) tem uma visão abrangente, de modo que percebe a interação de forma completa, incluindo os pensamentos, sentimentos e percepções que resultam dessa interação. Popularizado inicialmente por [Norman 1998], o termo experiência de usuário surgiu para cobrir os componentes das interações dos usuários com sistemas que vão além dos aspectos considerados pela usabilidade. É um conceito complexo com diferentes aspectos explorados por diferentes pesquisadores mas envolve basicamente três características principais:

- O usuário é envolvido;
- Esse usuário deve interagir com o produto, serviço ou interface;
- A experiência do usuário é de interesse, além de ser observável e mensurável.

Neste trabalho optou-se pela avaliação da experiência de usuário que analisa de forma mais ampla a interação usuário-sistema e compreende a relação mais íntima do usuário e suas sensações com o que lhe foi apresentado. A [ISO9241-210] define a experiência do usuário como "as percepções e reações de uma pessoa que resultam a partir do uso de um produto". De acordo com esta definição, a experiência de usuário

inclui todas as emoções, crenças, preferências, percepções, reações físicas e psicológicas, comportamentos do usuário e realizações que ocorreram antes, durante e após o uso.

De acordo com [DNX], uma boa experiência de usuário acontece quando sensações boas, positivas e satisfatórias ocorrem ao utilizar um sistema capaz de atingir a fidelidade do usuário. Tal experiência pode refletir as impressões atuais do usuário quando participando de um experimento, tornando as avaliações destas experiências uma alternativa interessante para absorver opiniões positivas e negativas para um dado produto, sistema ou interface.

Com o crescente interesse na UX, é evidente a importância desse conceito para avaliação daquilo que se estuda ou se propõe. Para questões relacionadas ao estudo de dados climáticos, avaliar as reações e/ou impressões em grau de compreensão do usuário é de mesma relevância, visto que assim é possível determinar características intrínsecas à realidade destes usuários, além de considerar aspectos importantes quanto à satisfação do usuário ao interagir com este tipo de conteúdo.

Baseado nos conceitos apresentados, este trabalho busca avaliar a experiência do usuário quando analisando diferentes representações de dados meteorológicos, apresentadas em uma interface gráfica convencional de computador. Estes dados envolvem diferentes fenômenos naturais sob diferentes técnicas de visualização, no intuito de captar o grau de compreensão do usuário quando visualizando este tipo de conteúdo. Este capítulo descreve a experiência realizada e seus resultados.

## 5.1 Cenário Utilizado

No experimento realizado, usuários eram convidados a visualizar pelo computador imagens representando alguns fenômenos meteorológicos que fazem uso de diferentes técnicas de visualização. A escolha das 9 imagens apresentadas no formulário foi feita

a partir da análise de diferentes imagens de mesma categoria, o objetivo era escolher aquelas que representam situações reais que exijam uma interpretação considerada adequada por parte dos usuários. A legenda das imagens também faz-se necessário, visto que o conjunto imagem-legenda são sempre apresentados juntos.

As etapas, como apresentadas, consistiam de uma breve entrevista com dados a respeito do usuário, um modelo de questionário do formulário VisAWI e do AttrakDiff incorporados ao formulário Google, contemplando as imagens juntamente com as técnicas de visualização. Em seguida, eram armazenadas as informações fornecidas pelos usuários para uma análise futura de seu grau de compreensão. Em síntese, estas etapas podem ser observadas em Figura 5.1.

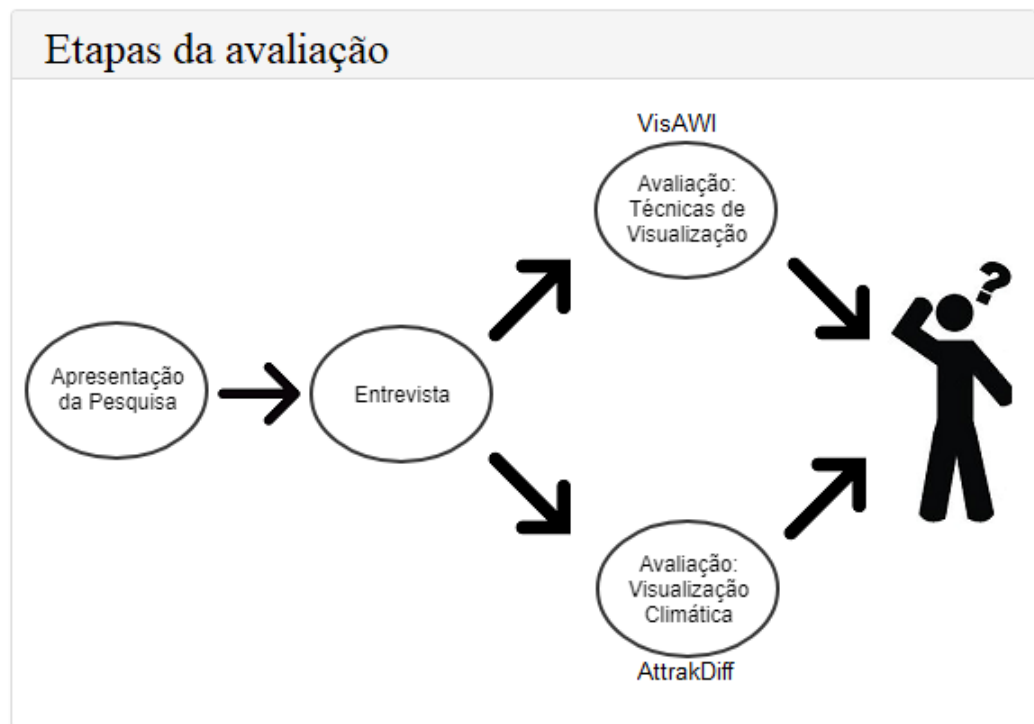


Figura 5.1: Modelo das etapas utilizadas para avaliação dos usuários

## 5.2 Análise Quantitativa

A experiência foi realizada inicialmente com usuários especialistas no tema, em uma visita à UFCG na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), envolvendo diferentes pesquisadores na área, entre alunos de graduação, pós-graduação e doutorado e professores, totalizando os 16 usuários familiarizados. Para usuários não-especialistas, esta avaliação ocorreu em diferentes momentos e envolvia voluntários de diferentes níveis de conhecimento, desde o ensino fundamental ao doutorado, visando alcançar opiniões de diferentes tipos de público, abrangendo os 20 voluntários não-familiarizados.

Esta seção está organizada de acordo com a disposição dos dados contidos no formulário utilizado como análise, em que primeiramente serão analisados questões a respeito dos usuários serem ou não especialistas em visualização climática, apresentando números e justificativas em diversos gráficos, de acordo com os dados contidos na entrevista.

Em seguida cada quesito do formulário baseado no modelo VisAWI é analisado separadamente em termos quantitativos. Estes dados são referentes às respostas dos usuários **não-especialistas** quando submetidos às diferentes imagens representando diferentes fenômenos naturais no uso das três técnicas de visualização previamente selecionadas. Estes dados foram agrupados de acordo com os quesitos utilizados pelo formulário VisAWI, cuja escala varia de 0 a 7, sendo 0 discordo fortemente e 7 concordo fortemente.

### 5.2.1 Entrevista

O grau de escolaridade dos participantes da pesquisa, especialistas e não-especialistas, está disposto no gráfico em Figura 5.2. Conforme os dados referentes ao grau de escolaridade e visto que o público não-especialista é variado, também foram catalogados as idades destes participantes, dispostos em Figura 5.3.

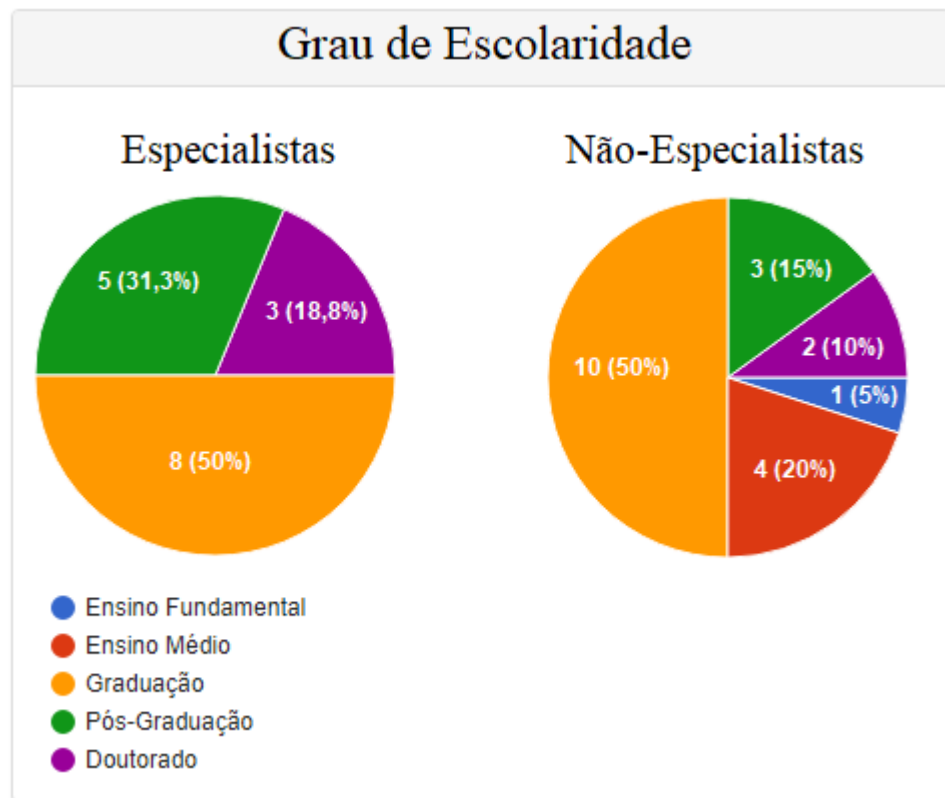


Figura 5.2: Grau de escolaridade dos usuários voluntários

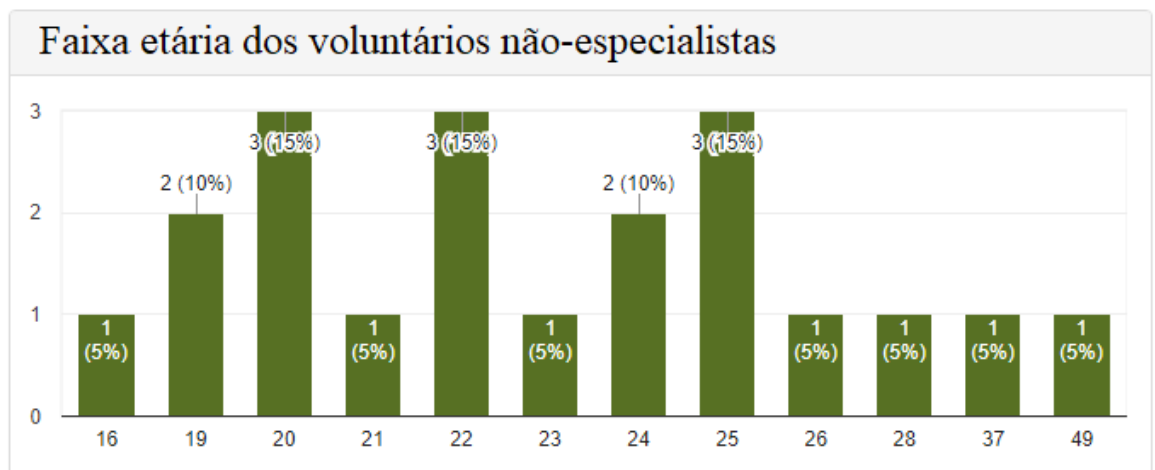


Figura 5.3: Faixa etária dos usuários voluntários não-especialistas

Em seguida iniciou-se a etapa da entrevista em que os dois públicos são então diferenciados em relação a seus níveis de conhecimento acerca de visualização em dados climáticos. Estes dados são apresentados no gráfico da Figura 5.4.

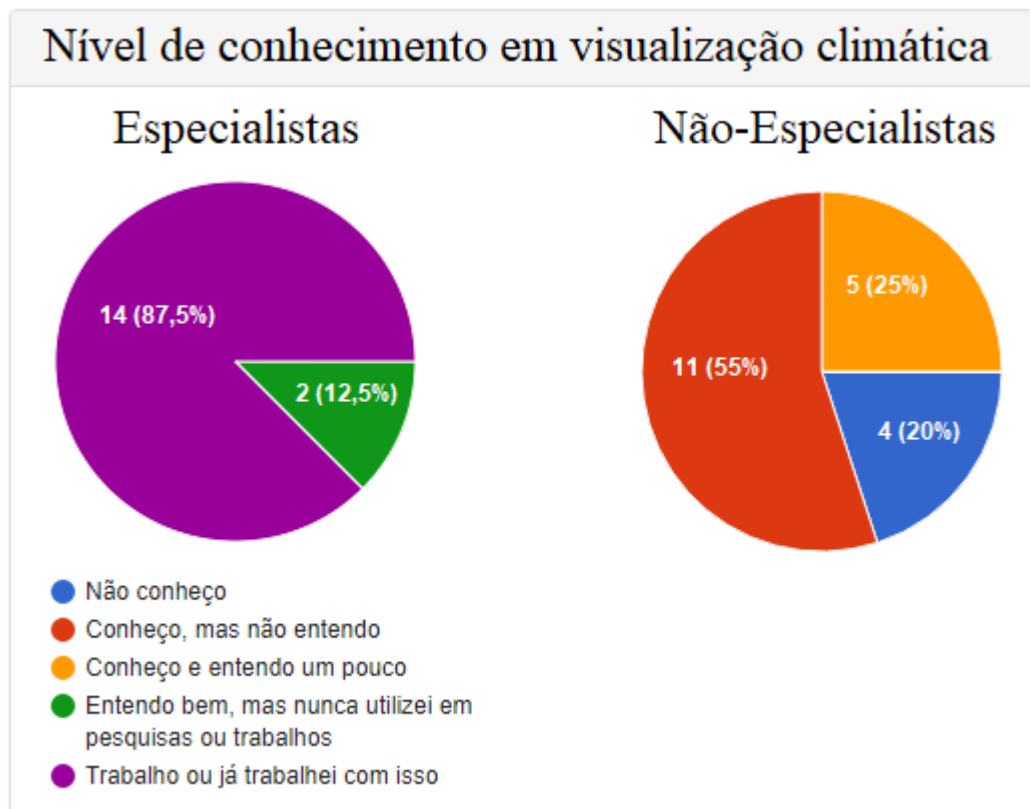


Figura 5.4: Nível de conhecimento dos participantes em visualização climática

Pode-se observar pelo gráfico, que 14 dos 16 participantes não apenas compreendem bem, mas também trabalham no estudo de dados climáticos, 2 deles de forma semelhante, compreendem do conteúdo mesmo não atuando em pesquisas científicas. Quanto aos não-especialistas, a grande maioria não conhece esse tipo de conteúdo, ou não compreende bem do que se trata, apenas 5 dos 20 disseram conhecer e entender um pouco a temática de visualização de dados meteorológicos. Afunilando ainda mais adentro no estudo destes dados, quando perguntados a respeito do conhecimento acerca de técnicas de visualização, os resultados diferem do apresentado anteriormente, como apresentado no gráfico da Figura 5.5.

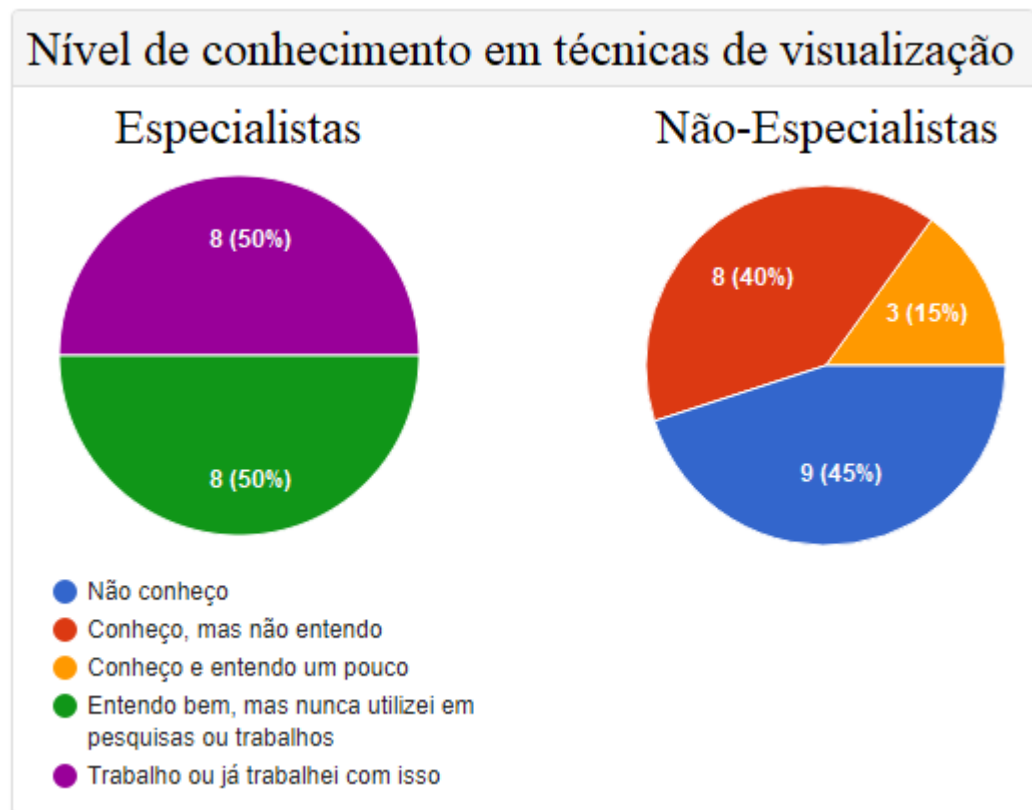


Figura 5.5: Nível de conhecimento dos participantes em técnicas de visualização

Nota-se, então, que o conhecimento dos usuários especialistas no uso de técnicas de visualização sobre estes dados permanece o mesmo, embora agora metade deste não tenha trabalho especificamente no uso de tais técnicas. Quanto aos usuários não-especialistas, pode-se observar que o número de pessoas que não compreendem aumentou, em analogia com o gráfico anterior (Figura 5.4), visto que desta vez não somente o número de pessoas que não compreendem aumentou, mas também o número de pessoas que não conhecem.

Na última etapa da entrevista, foi perguntado em que situação os participantes já tiveram contato com este tipo de informação. Aos usuários especialistas, 100% responderam em telejornais, revistas/livros e na universidade; importante ressaltar que metade

dos participantes afirmaram trabalhar com este tipo de dado. Quanto aos usuários não-especialistas, estes números são apresentados no gráfico da Figura 5.6. Como esperado, observa-se que a maioria acompanha essas informações através de telejornais, ressaltando a importância da boa conduta ao divulgar este tipo de informação nesses veículos de comunicação. Um dos participantes ainda informou que acompanha dados climáticos em sites de previsão de clima.

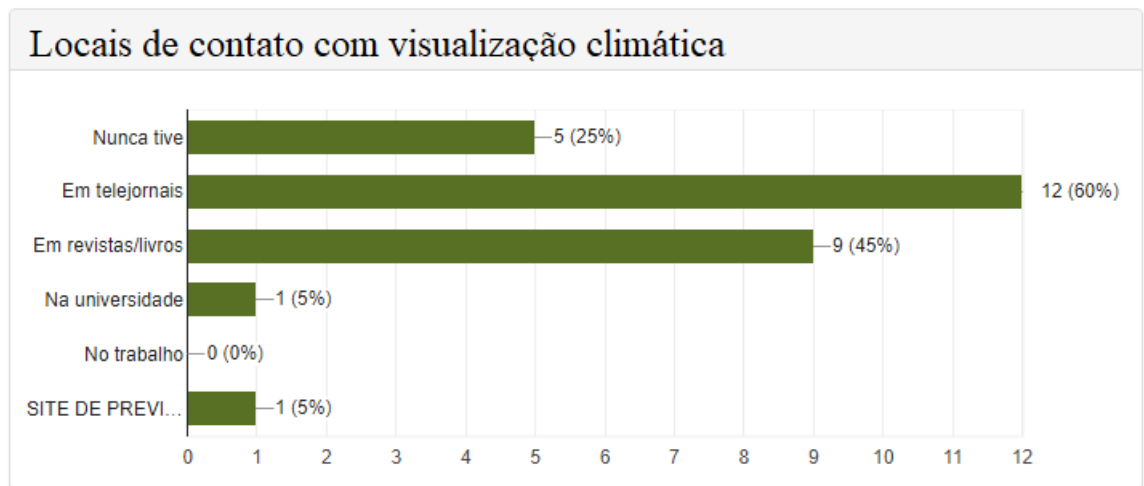


Figura 5.6: Situações em que os usuários não-especialistas tiveram contato com visualização climática

Da próxima subseção em diante, serão apresentados dados quantitativos do público **não-especialista** a respeito de cada quesito do formulário VisAWI.

### 5.2.2 Quesito 1: As imagens são compreensíveis

O gráfico da Figura 5.7 representa os dados referentes ao quesito 1 (Q1) do questionário, que aborda de maneira geral o grau de compreensão sobre as técnicas apresentadas.

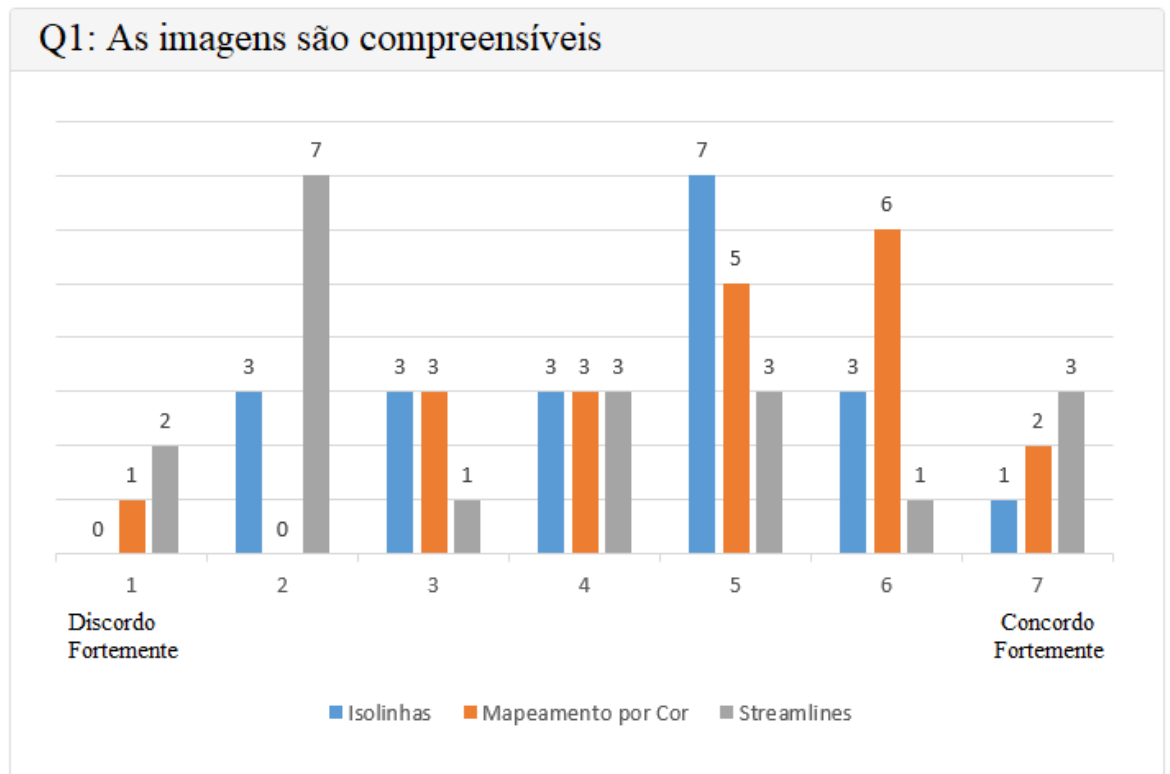


Figura 5.7: Q1: Dados quantitativos

Nota-se que a técnica *streamline* está, em sua maioria de quantidade de pessoas, destacada como incompreensível neste quesito, visto que 7 dos 20 voluntários opinaram no valor 2 da escala, muito próximo a "Discordo Fortemente" e outras 3 pessoas opinaram em valores abaixo do valor médio, ressaltando a falta de compreensão desta técnica.

Com relação à técnica de isolinha, esta apresenta um pico ligeiramente acima do valor médio, o que indica um certo nível de compreensão, porém, houve ainda 6 pessoas opinando abaixo do nível médio e outras 3 como "nem concordo e nem discordo", o que gera um fator de dúvida, visto que parte das pessoas compreendeu, mesmo que pouco, esta técnica, enquanto que outras nem tanto.

Neste quesito, o mapeamento por cor foi a técnica que obteve os melhores índices

de compreensão, obtendo um pico de 6 pessoas no valor 6 da escala e outras 7 pessoas acima do valor médio.

### 5.2.3 Quesito 2: As imagens são agradáveis

Este quesito está diretamente relacionado à escolha das imagens apresentadas. Procurou-se ser imparcial na escolha de tais imagens, no intuito de não influenciar em uma técnica ou outra, visto que as imagens foram retiradas de fontes relacionados a dados meteorológicos de maneira geral, como apresentado. O gráfico da Figura 5.8 contém os dados da relação entre as técnicas neste quesito.

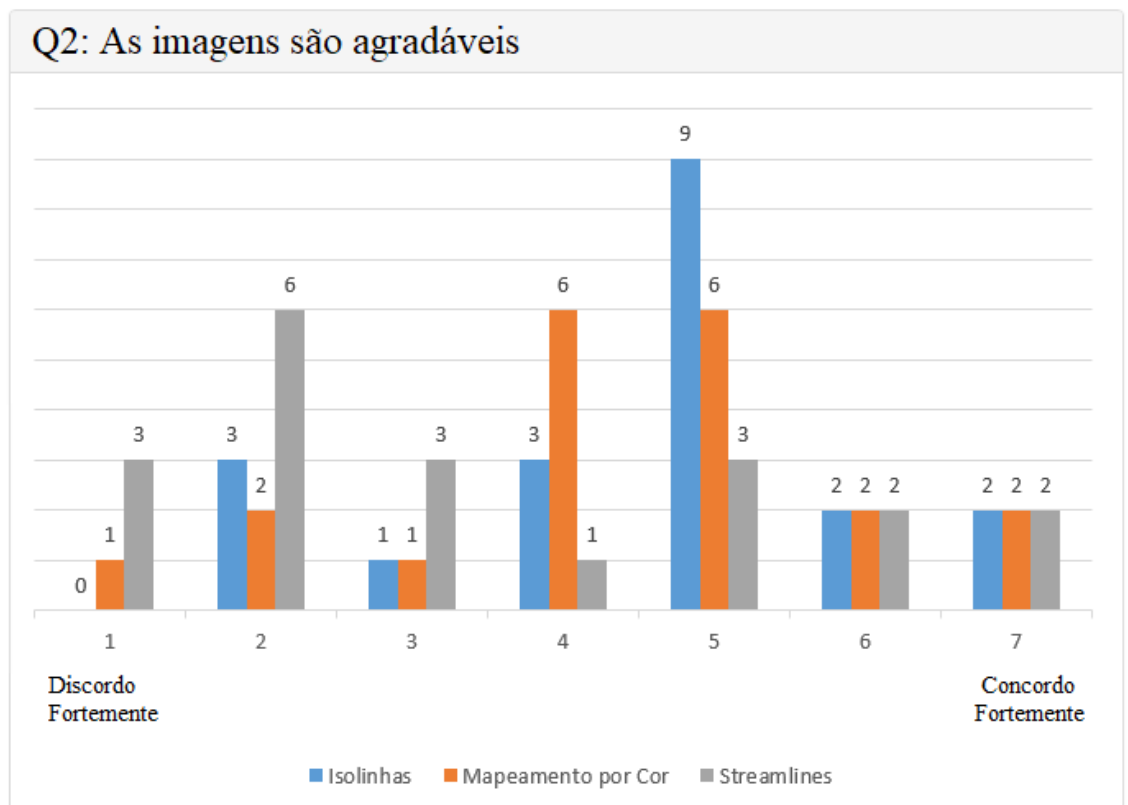


Figura 5.8: Q2: Dados quantitativos

Observa-se um pico positivo em isolinha com 9 pessoas, além de outras 4 concordando fortemente ou quase isso (quando no valor 6 da escala). Com relação ao mapeamento por cor, novamente a maioria das pessoas opinaram em valores acima do valor médio, ainda que boa parte delas estão destacadas como neutras e uma pequena parcela em valores próximos a discordo fortemente. *Streamline* novamente apresenta um pico negativo próximo a discordo fortemente, além de outras opiniões destacadas no valor 0 ou ligeiramente abaixo do valor médio.

#### 5.2.4 Quesito 3: A composição de cores está mal ajustada

Este quesito remota diretamente à técnica de mapeamento por cor, se tratando da composição de cores, porém normalmente outras técnicas de visualização, como isolinhas e/ou *streamlines*, além de outras, fazem o uso da cor em suas representações. Os dados referentes ao Q3 são apresentados em Figura 5.9.

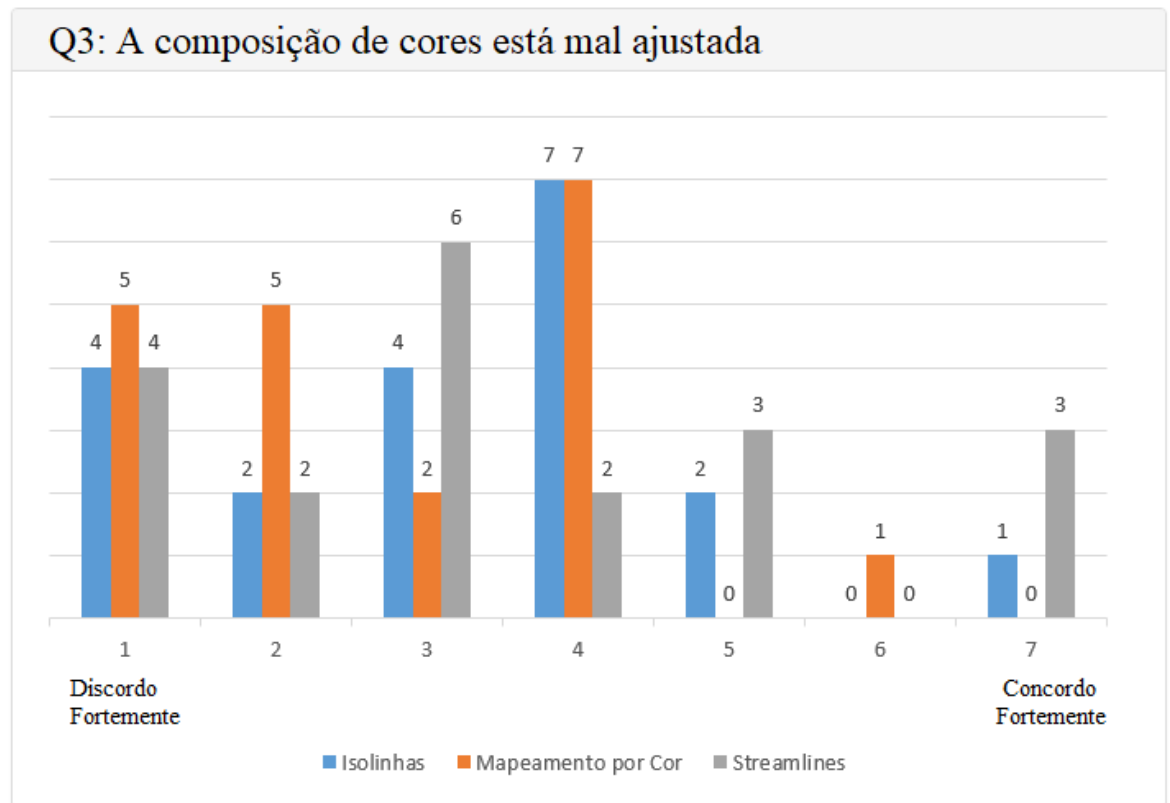


Figura 5.9: Q3: Dados quantitativos

Pode-se observar nesta avaliação que a grande maioria das pessoas, envolvendo as 3 técnicas de visualização, avaliaram de forma positiva a composição de cores apresentadas em todas as imagens, visto que elas discordam de as cores estarem mal ajustadas. Apenas uma pequena parcela avaliou de forma negativa (concordando no mal ajuste das cores, como visto nas *streamlines*, em que 3 pessoas concordaram fortemente nisto).

#### 5.2.5 Quesito 4: As imagens precisam de informações adicionais

No último quesito, é avaliado o conjunto imagem-legenda, buscando entender se as informações fornecidas como um todo (disposição de cores, linhas, texto e o desenho

em si) são suficientes para a compreensão das técnicas e fenômenos apresentados. Esses números podem ser observados no gráfico da Figura 5.10.

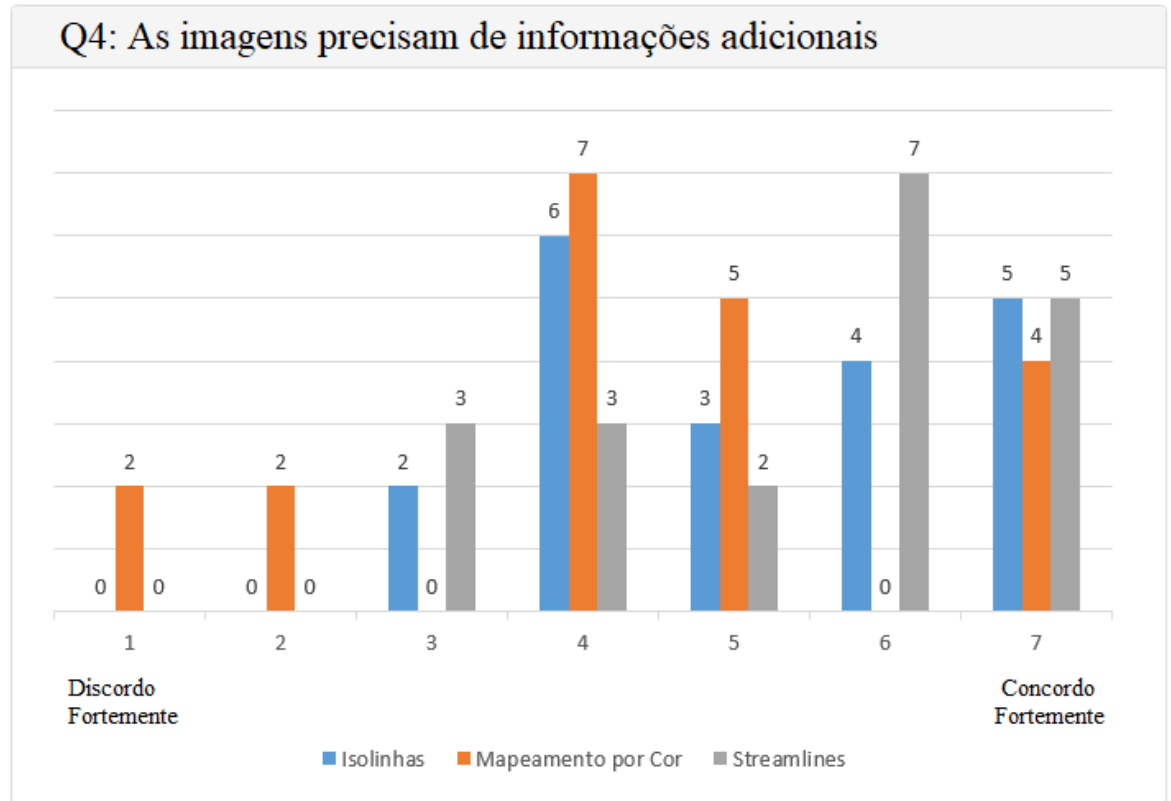


Figura 5.10: Q4: Dados quantitativos

Ao visualizar os dados apresentados neste último quesito, torna-se evidente mais uma vez a falta de compreensão no que foi apresentado. Desta vez, a maioria das pessoas em todas as técnicas avaliaram como "Concordo Fortemente" ou próximo a isto (ainda com valores acima do valor médio), afirmando que as imagens precisam de informações adicionais (*streamline* foi a técnica que apresentou maior desentendimento neste quesito, com picos nos valores 6 e 7 da escala).

## 5.3 Análise Qualitativa

Nesta seção são apresentados os resultados provenientes da análise qualitativa do formulário utilizado, apresentando dados específicos a cada modelo de formulário utilizado, os quatro aspectos do modelo VisAWI e as três dimensões do modelo AttrakDiff.

### 5.3.1 Análise VisAWI

Esta subseção está dividida em tópicos relacionados a cada uma das técnicas avaliadas, resultando em uma análise mais precisa acerca dos dados coletados dos usuários **não-especialistas**. De acordo com o exposto, o formulário VisAWI possui quatro aspectos de classificação, cada um com suas particularidades:

1. Simplicidade: clareza e estrutura na compreensão das imagens;
2. Diversidade: criatividade e dinâmica nas imagens apresentadas;
3. Coloração: estética na composição de cores utilizadas por cada imagem;
4. Destreza: o quão suficiente o conjunto imagem + legenda é na compreensão dos dados.

Em cada tópico apresentado para as técnicas, estes aspectos são avaliados de acordo com a média do total de participantes sobre cada um, fornecendo uma visão mais objetiva.

- Avaliação das Isolinhas, Figura 5.11

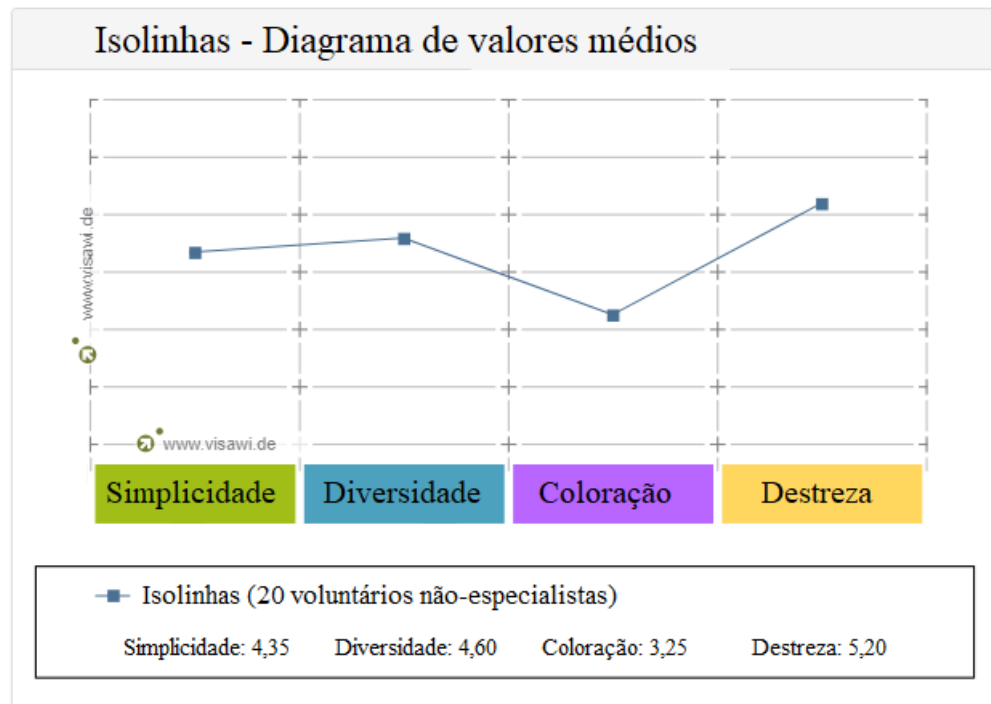


Figura 5.11: Isolinhas - Análise qualitativa

- Avaliação do Mapeamento por Cor, Figura 5.12

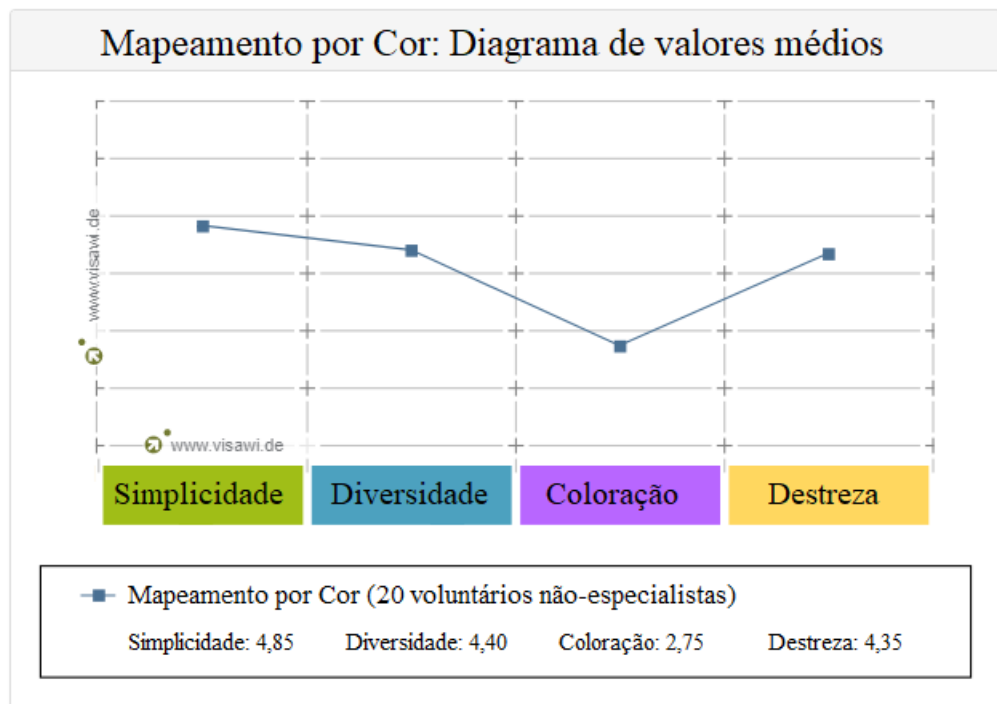
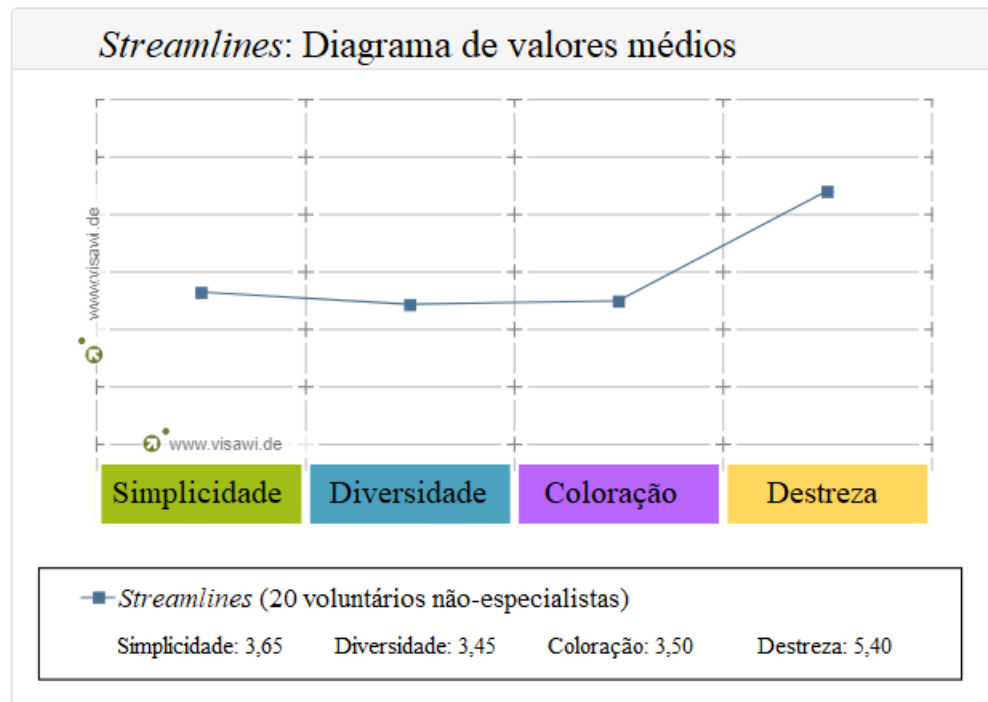


Figura 5.12: Mapeamento por Cor - Análise qualitativa

- Avaliação das *Streamlines*, Figura 5.13

Figura 5.13: *Streamlines* - Análise qualitativa

### Discussão

Os dados fornecidos pelos diagramas das técnicas estão dispostos em Tabela 5.3.1, resumizando o conjunto de resultados quantitativos, apresentados no tópico anterior, para uma analogia entre as técnicas apresentadas.

| VisAWI       | Isolinhas | Mapeamento por Cor | <i>Streamlines</i> |
|--------------|-----------|--------------------|--------------------|
| Simplicidade | 4,35      | 4,85               | 3,65               |
| Diversidade  | 4,60      | 4,40               | 3,45               |
| Coloração    | 3,25      | 2,75               | 3,50               |
| Destreza     | 5,20      | 4,35               | 5,40               |

Tabela 5.1: Análise dos diagramas

Diante do exposto, no aspecto Simplicidade (Q1), o mapeamento por cor foi a técnica que obteve um "melhor" resultado em termos de clareza e compreensão, embora este resultado na escala VisAWI represente basicamente uma neutralidade (não concordo e nem discordo) em questão de compreensão das imagens apresentadas, com o valor de 4,85, denotando uma certa dificuldade. *Streamline*, por outro lado, ficou com um valor abaixo do valor médio, ou seja, foi considerada como não compreensível, apresentando o valor de 3,65 na escala.

Em Diversidade (Q2), a técnica isolinha foi a que obteve um valor "mais alto" (4,60) embora, novamente, este valor esteja próximo à neutralidade (não discordo e nem concordo), assim como no aspecto de Simplicidade; o que significa que os voluntários nem concordam e nem discordam em termos de criatividade e dinâmica das imagens apresentadas, apesar de serem imagens consideradas como tradicionais em dados climáticos.

No aspecto Coloração (Q3), que avalia a composição de cores de uma forma geral, todas as técnicas foram consideradas como boas, visto que os usuários discordaram quando analisando se a composição de cores estavam mal ajustadas, indicando que apesar da imparcialidade em termos de compreensão, eles reconhecem que as cores utilizadas estão adequadas para todas as técnicas, embora que isolinhas e *streamlines* possuam valores próximos ao valor médio.

Já no último aspecto, em Destreza (Q4), que considera se as imagens foram bem elaboradas, observa-se uma unanimidade no que diz respeito à concordância de que as imagens precisam de informações adicionais. Ressalta-se, novamente, que as imagens utilizadas são projetadas profissionalmente e bastante utilizadas no ramo de estudos climáticos. Concluindo-se, segundo o exposto, a não compreensão em média dos dados apresentados.

### **5.3.2 Análise AttrakDiff**

Nesta seção serão analisados em uma analogia conjunta os usuários especialistas e os não-especialistas em relação às imagens apresentadas durante a avaliação realizada. O objetivo desta comparação não é apresentar o quão bem usuários especialistas compreendem estes dados, visto que os mesmos trabalham ou estudam esse tipo de conteúdo rotineiramente, mas sim mostrar, através de resultados qualitativos, a diferença entre o grau de compreensão de ambos os grupos.

Ao lidar com as dimensões do AttrakDiff, é importante analisá-las individualmente, abordando características específicas para assim identificar diferenças entre os dois grupos de usuários voluntários, observando o diferencial semântico (que varia de -3 a 3, sendo 0 o ponto de neutralidade), em que a cor azul representa usuários não-especialistas e a cor laranja, usuários especialistas, como pode ser visualizado em Figura 5.14, Figura 5.15 e Figura 5.16. Esta subseção foi dividida em seções menores visando uma melhor compreensão das análises destas figuras.

#### **Descrição dos pares de conceitos**

Em Figura 5.14, recomenda-se atenção para os pontos nas extremidades, pois são questões muito bem resolvidas ou criticadas. O que se espera é que a maioria dos pontos estejam posicionados à direita da linha divisória, ou seja, apresente valores acima de 0, dependendo do objeto de estudo.

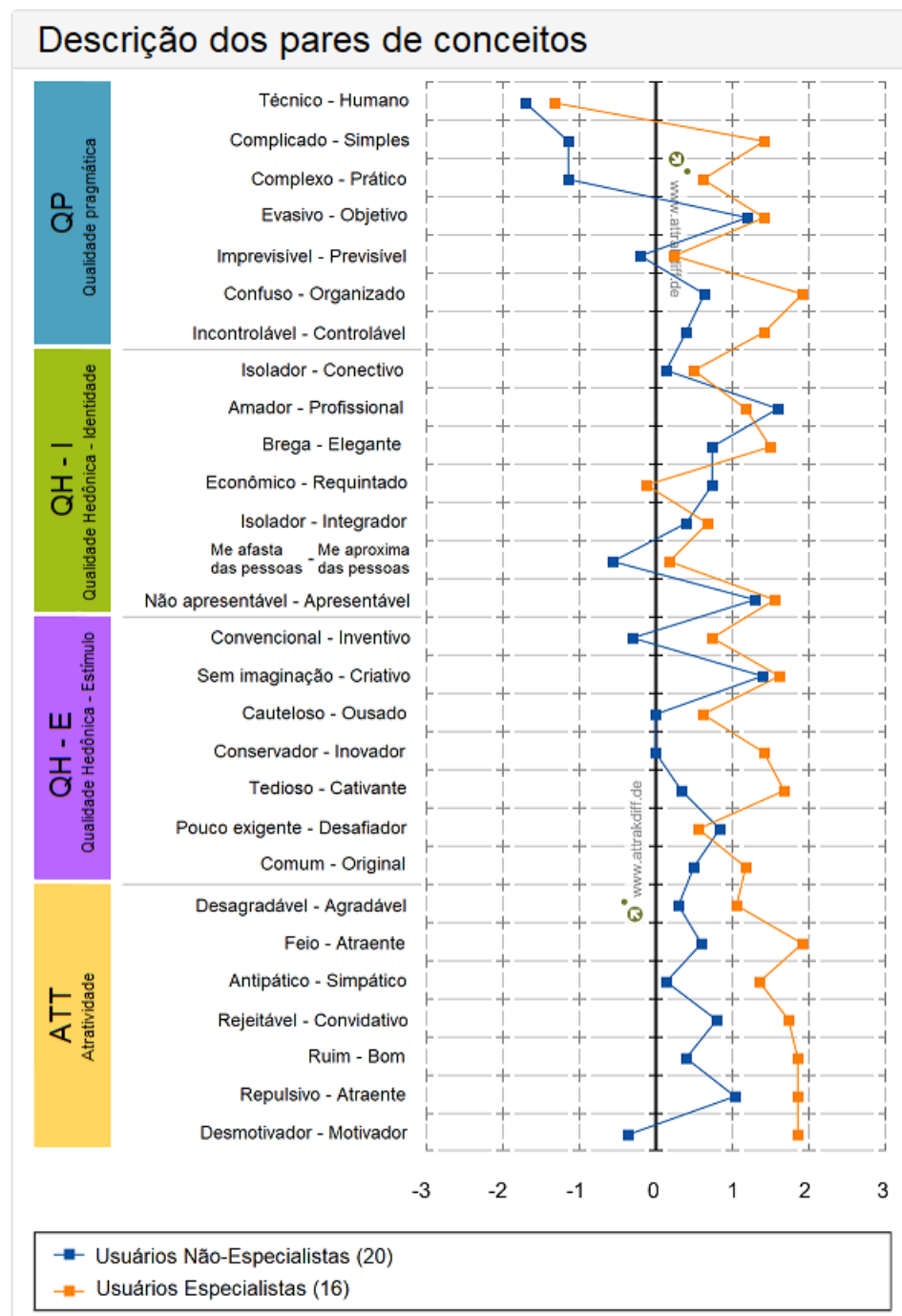


Figura 5.14: Formulário AttrakDiff - Descrição dos pares de conceitos

Como uma análise geral do gráfico da Figura 5.14, observa-se que os usuários espe-

cialistas estão dispostos à direita dos não-especialistas em praticamente todos os pares de conceitos, alguns inclusive com uma grande diferença, como nos pares "Complicado - Simples", "Complexo - Prático", "Confuso - Organizado", "Convencional - Inventivo", "Conservador - Inovador", "Tedioso - Cativante", "Feio - Atraente", "Antipático - Simpatático", "Ruim - Bom" e "Desmotivador - Motivador". Importante ressaltar os pares em que ocorre o inverso, onde os usuários não-especialistas estão localizados mais à direita:

- em "Amador - Profissional", os usuários não-especialistas estão localizados mais à direita pois consideraram as imagens mais "profissionais" que os usuários especialistas, visto que para usuários especialistas, as imagens não representam um desafio de mesmo nível que para usuários não-especialistas. Ainda assim, ambos os pontos neste par estão localizados mais à direita do valor neutro, próximo de 2, o que ressalta a qualidade das imagens em termos de profissionalismo;
- em "Econômico - Requintado", para os especialistas as imagens são mais "econômicas" que para os não-especialistas. Disso pode-se concluir que para eles as imagens apresentadas não contêm tantos aspectos que dificultem o entendimento, como muita informação, ao contrário dos não-especialistas;
- em "Pouco exigente - Desafiador" também era esperado que os usuários não-especialistas estivessem localizados à direita dos não-especialistas, visto que para este público, as imagens representam, de fato, um desafio.

Qualidade Pragmática foi a dimensão em que mais ocorreram pontos à esquerda da neutralidade, o que indica que as imagens são técnicas segundo ambos os grupos de voluntários; complicadas e complexas segundo os usuários não-especialistas, visto que para os especialistas, são consideradas simples e práticas (mais à direita sob grande diferença), respectivamente e imprevisíveis, novamente segundo os usuários não-especialistas.

Em Qualidade Hedônica - Identidade ocorreram apenas dois pontos localizados mais à esquerda do valor neutro. O primeiro, como abordado anteriormente, diz respeito ao par "Econômico - Requitado", em que para os especialistas, são imagens econômicas, pois segundo este grupo de voluntários, não apresentam tanta informação (ao contrário dos usuários não-especialistas). Outro ponto ao lado esquerdo foi no par "Me afasta das pessoas - Me aproxima das pessoas", em que os usuários não-especialistas opinaram como "me afasta das pessoas".

Na dimensão Qualidade Hedônica - Estímulo, apenas um ponto está localizado mais à esquerda, no par "Convencional - Inventivo" para usuários não-especialistas e outros 2 estão localizados exatamente sobre o valor neutro, nos pares "Cauteloso - Ousado" e "Conservador - Inovador", novamente para usuários não-especialistas. Pode-se observar, no entanto, que nos 3 pontos mencionados, os usuários especialistas estão localizados mais à direita com uma diferença considerável.

Atratividade foi a única dimensão em que, de fato, apenas um ponto está localizado à esquerda da neutralidade segundo usuários não-especialistas, no par "Desmotivador - Motivador", destacando, de certa forma, a falta de interesse neste tipo de conteúdo. Pode-se observar também nesta dimensão que praticamente todos os pontos dos usuários especialistas estão localizados à direita dos não-especialistas com uma boa diferença em número.

### **Diagrama de valores médios**

O diagrama de valores médios, Figura 5.15 distribui os valores médios atribuídos pelos participantes nas dimensões Qualidade Pragmática (QP), Qualidade Hedônica - Identidade (QH - I), Qualidade Hedônica - Estímulo (QH - E) e Atratividade (ATT). Observa-se, em uma análise geral, que os usuários especialistas mantiveram uma diferença considerável em todas as dimensões sobre os usuários não-especialistas, com exceção da Qualidade Hedônica - Identidade, como será apresentado.

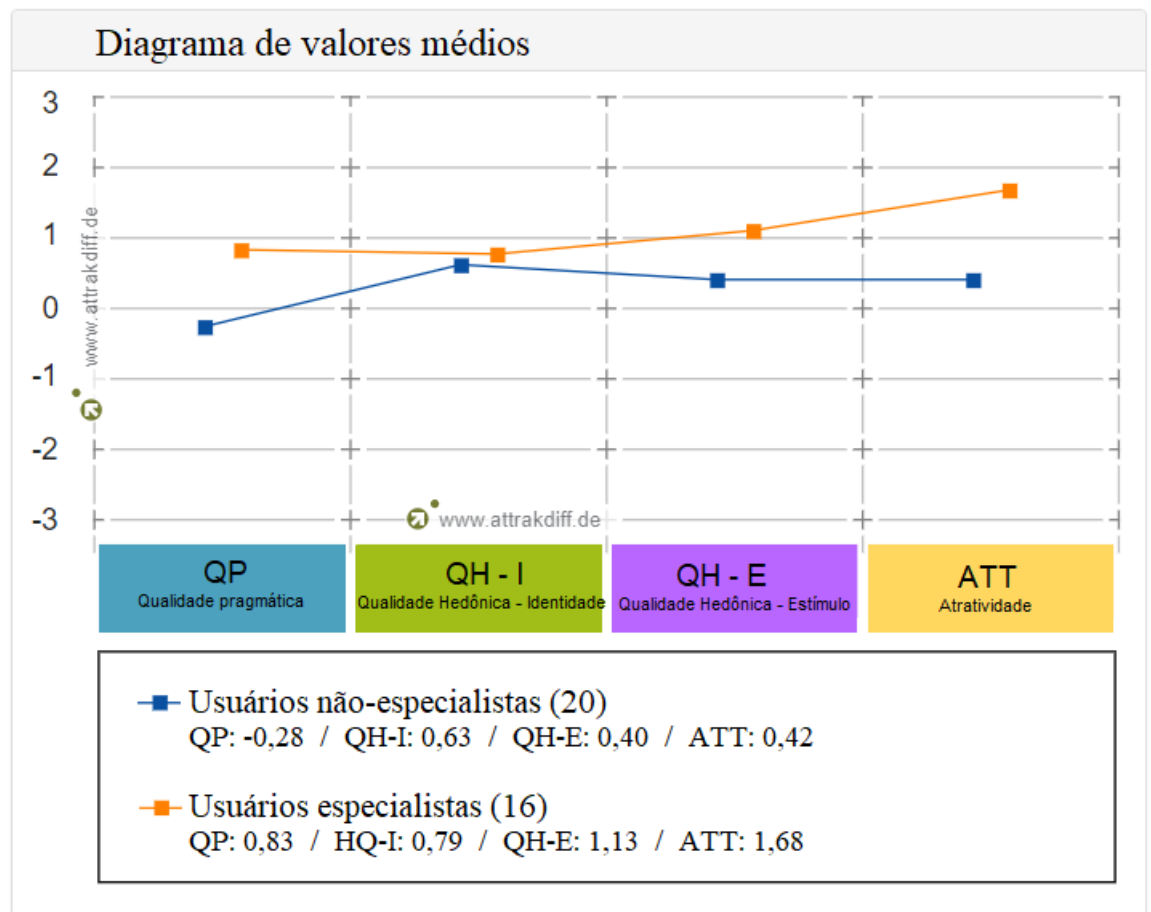


Figura 5.15: Formulário AttrakDiff - Diagrama de valores médios

A Qualidade Pragmática (QP), que indica o grau de sucesso no melhor alcance dos objetivos, obteve pontuação de -0,28 pelos usuários não-especialistas e 0,83 pelos usuários especialistas. Os pares de conceitos com maior diferença entre não-especialistas e especialistas foram "Complicado - Simples" e "Complexo - Prático"; "Técnico - Humano" também apresentou um peso alto neste valor negativo para os não-especialistas. O valor negativo ao pragmatismo nos usuários não-especialistas está diretamente relacionado à compreensão do material exposto.

A Qualidade Hedônica - Identidade (QH - I), que indica o nível de identificação do

usuário com as imagens apresentadas, obteve pontuação 0,63 para os não-especialistas e 0,79 para os especialistas, indicando que houve identificação por ambos os grupos (ainda que no grupo especialista o valor seja ligeiramente maior). Importante lembrar que esta categoria contém dois pares em que os usuários especialistas estão localizados mais à esquerda que os não-especialistas, justificando a proximidade nos valores apresentados. Apenas um par nesta categoria está localizado à esquerda do valor neutro, "Me aproxima das pessoas - Me afasta das pessoas"(usuários não-especialistas).

A Qualidade Hedônica - Estímulo (QH - E), que mensura se as imagens são originais, interessantes e estimulantes, obteve pontuação 0,40 para usuários não-especialistas e 1,13 para os especialistas. Os valores indicam que as imagens são estimulantes para o grupo especialista e nem tanto para os não-especialistas (valor pouco acima de 0). Houve grande diferença na maioria dos pares desta dimensão entre os dois grupos.

A Atratividade (ATT), que indica o quanto as imagens são atrativas para o usuário, apresentou pontuação 0,42 para os usuários não-especialistas e 1,68 para os usuários especialistas. Esta foi a dimensão que, em linhas gerais, apresentou as maiores diferenças de todos os pares dos dois grupos (apresentando ainda um par com valor negativo para usuários não-especialistas, "Desmotivador - Motivador"). Nota-se, portanto, a falta de atratividade, por parte do público não-especialista, nas imagens apresentadas.

### **Portfólio de resultados**

O portfólio de resultados, apresentado em Figura 5.16 mostra o posicionamento dos valores médios das dimensões e a confiabilidade das respostas dos participantes. Os retângulos maiores e mais claros são os retângulos de confiança. Novamente, a cor alaranjada diz respeito aos usuários especialistas e a cor azul, aos usuários não-especialistas.

A representação dos valores da Qualidade Pragmática é feita horizontalmente, e os da Qualidade Hedônica verticalmente. Quanto menor o retângulo de confiança (o retângulo maior e mais claro), mais confiáveis são os resultados, consequentemente quanto

maior o retângulo de confiança, menor será a assertividade a qual região pertence. Portanto, retângulos de confiança menores significam usuários com opiniões parecidas, ao passo que retângulos maiores significam usuários com opiniões divergentes.

Desta forma, analisando ambos os retângulos dos grupos de voluntários, observa-se que para os usuários especialistas, as imagens apresentadas são consideradas em parte desejadas, parte orientadas para tarefa, parte auto-orientadas (interação) e parte com neutralidade, visto que o retângulo de confiança está localizado nestes quatro quadrantes, representando, portanto, certa imparcialidade, visto que este tipo de conteúdo é utilizado em diferentes situações por este público, que possuem pessoas atuando sob diferentes estudos; apresentam, portanto, características pragmáticas e hedônicas, com pontuação de 0,83 para Qualidade Pragmática e 0,96 para Qualidade Hedônica, conforme visto em tópicos anteriores. O retângulo dos não-especialistas, por outro lado, é considerado totalmente neutro, com tendência negativa ao pragmatismo (-0,28), indicando uma falta de compreensão e um sutil positivismo à qualidade hedônica (0,51), também apresentados anteriormente.

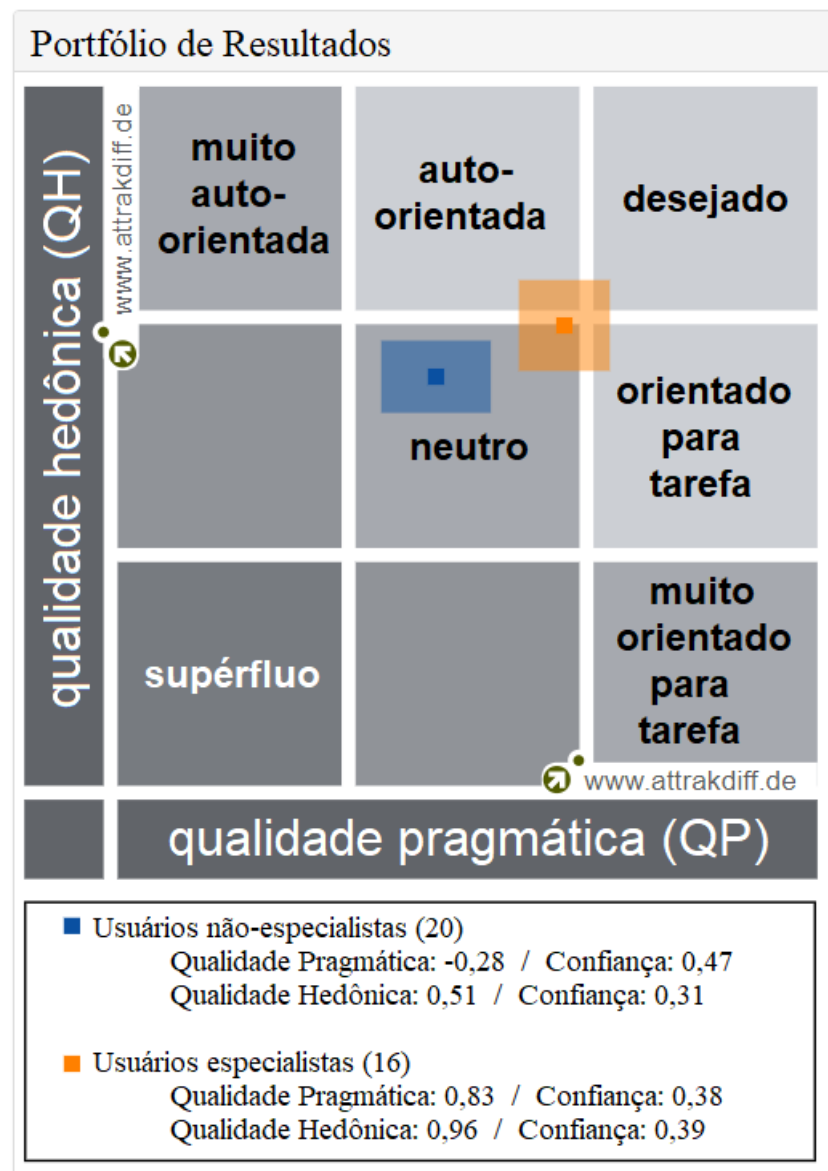


Figura 5.16: Formulário AttrakDiff - Portfólio de resultados

## Capítulo 6

### Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação com 36 usuários voluntários sobre visualização climática, em que 16 são especializados no tema e os outros 20 são considerados não-especializados. Para efetuar esta avaliação, foi realizado um estudo prévio acerca de dados meteorológicos a fim de aprofundar o conhecimento e executar com precisão o trabalho proposto: avaliar o grau de compreensão de usuários não-especialistas quando solicitados a analisarem imagens representando diferentes fenômenos meteorológicos sob diferentes técnicas de visualização, definidas ao longo do trabalho.

Este capítulo tem como objetivo principal discutir importantes questões sobre o estudo realizado, as contribuições resultantes da pesquisa e dos dados levantados na avaliação e sugestões para trabalhos futuros.

#### 6.1 Conclusões

Presentes cada vez mais em nosso cotidiano, dados climáticos constituem uma temática bastante abrangente, envolvendo diferentes tipos de estudos a respeito. Este trabalho apresentou um estudo acerca da visualização sobre estes dados, envolvendo diferentes técnicas de visualização sob diversas perspectivas ou formas de representação no

intuito de executar uma avaliação sob a perspectiva do usuário quando interpretando informações visuais em dados meteorológicos, visto que imagens desta natureza são amplamente divulgadas, atingindo públicos de todas as idades e/ou níveis de conhecimento.

Para alcançar o objetivo proposto, inicialmente foi realizada uma revisão sistemática da literatura a fim de aprofundar os conhecimentos em visualização de dados meteorológicos e catalogar as técnicas de visualização mais utilizadas, para em seguida dar início à fase de avaliação com usuários voluntários.

Na etapa de avaliação, foram utilizadas diferentes imagens meteorológicas sob três técnicas de visualização previamente definidas. Participaram da pesquisa ao todo 36 usuários, sendo 16 considerados especialistas, pois estudam ou trabalham na área de dados climáticos e 20 considerados não-especialistas, grupo este que engloba pessoas de diferentes graus de escolaridade, áreas de atuação, faixa etária e localidade, buscando alcançar um grupo diversificado para um resultado mais concreto. Para a execução da avaliação, foi utilizado um formulário Google baseado nos modelos de questionários VisAWI e AttrakDiff.

Com a análise dos dados do formulário provenientes à parte VisAWI, que avaliou as técnicas Isolinha, Mapeamento por Cor e *Streamline* com o público não-especialista, constatou-se, segundo os aspectos Simplicidade e Destreza que direta ou indiretamente avaliam o grau de compreensão das técnicas apresentadas, dificuldades em compreender a natureza das técnicas, segundo números apresentados. O ponto alto apresentado foi a "necessidade de informações adicionais", como sugerido pelos voluntários.

Na análise do formulário AttrakDiff, que buscou avaliar em linhas gerais a compreensão acerca do conjunto de imagens apresentadas e foi executado com os dois grupos de voluntários, foi possível observar a grande diferença apresentada em grau de compreensão entre o grupo não-especialista e o especialista. Também foi constatada nesta avaliação a falta de compreensão no conteúdo apresentado (qualidade pragmática) por

parte do público não-especialista, bem como a falta de atratividade neste tipo de conteúdo para este mesmo público.

Assim, ressalta-se a importância de um uso mais didático quando no exercício de difusão deste tipo de informação, visto que não há uma preocupação ao repassar as informações ao grande público que é, de fato, o grande consumidor dessas informações.

Esta abordagem, no entanto, representa um grande desafio, pois é necessário considerar diferentes tipos de público, em diferentes idades e níveis de conhecimento. Uma solução plausível para o problema em questão, seria considerar formas de apresentar as informações atendendo a essa grande diversidade de públicos, analisando cada aspecto em específico do conteúdo a ser transmitido, maximizando a compreensão destas informações.

## 6.2 Contribuições

As contribuições deste trabalho foram:

- Execução de mapeamento sistemático, contemplando:
  1. técnicas de visualização mais utilizadas pelos autores;
  2. formas de representação das técnicas apresentadas, algumas envolvendo interação e/ou realidade virtual e aumentada;
  3. técnicas de visualização e formas de representação abordados em cada artigo científico catalogado;
  4. lacunas para possíveis estudos futuros no gráfico de bolha apresentado.
- Avaliação acerca da visualização de dados meteorológicos, envolvendo as três técnicas de visualização pré-definidas, com o público não-especialista, buscando ressaltar a falta de compreensão deste público;

- Avaliação e comparação entre o público especialista e o não-especialista quando visualizando o conjunto de imagens apresentadas, ressaltando as diferenças nas interpretações e compreensões em cada grupo de voluntários;
- Publicação:
  1. Visualization of Climate Data from User Perspective: Evaluating User Experience in Graphical User Interfaces and Immersive Interfaces, na International Conference on Human Interface and the Management of Information (HCHI 2017) [Fagundes et al. 2017]. Que executa uma comparação entre a visualização através da tela e a visualização através de um *VR Glasses* sob o estudo de dados climáticos na perspectiva do usuário.

### 6.3 Trabalhos Futuros

O trabalho apresentado contém uma análise aprofundada acerca do uso de técnicas de visualização, e faz um paralelo entre as técnicas utilizadas e as formas de representação, identificando possíveis lacunas para estudos futuros, de acordo com o mapeamento sistemático apresentado, como a investigação de técnicas de visualização em formas de representação que não foram encontradas ou mesmo a investigação do uso de realidade virtual e/ou aumentada no estudo de dados climáticos, tendo em vista que poucos trabalhos foram encontrados abordando esta natureza.

Em outra abordagem, foi feita uma avaliação com usuários considerados especialistas e não-especialistas em visualização de dados climáticos, no intuito de estudar o grau de compreensão dos usuários não-especialistas. Foram constatadas diversas falhas no grau de compreensão por parte deste público, que pode ter ocorrido principalmente pela falta de padronização neste tipo de conteúdo.

De fato, existem inúmeras fontes diferentes que disponibilizam esse tipo de informação, como laboratórios, *websites*, emissoras de televisão, entre outros, o que dificulta

uma padronização geral. Mas sem dúvida uma padronização mínima neste conteúdo auxiliaria na compreensão dos dados quando divulgados, possibilitando, portanto, diversas lacunas a serem investigadas:

1. Propriedades gerais das imagens (resolução, textura e tamanho);
2. Investigação de informações adicionais em imagens de conteúdo climático (como sugerido pela grande maioria de participantes não-especialistas);
3. Quantidade de informações presentes nas imagens, visto que pouca informação pode ser insuficiente, ao passo que informação demasiada pode causar transtornos ou mesmo permanecer no problema da falta de compreensão;
4. Quais informações são essenciais na exibição deste tipo de informação;
5. Investigação de modelos padronizados para cada tipo de fonte emissora;

# Bibliografia

- [Abedzadeh 2015]ABEDZADEH, N. Correlation analysis in multidimensional multivariate time-varying datasets. In: IEEE. *Scientific Visualization Conference (SciVis), 2015 IEEE*. [S.l.], 2015. p. 139–140.
- [Ahern et al. 2006]AHERN, S. et al. Multi-scale data visualization for computational astrophysics and climate dynamics at oak ridge national laboratory. In: IOP PUBLISHING. *Journal of Physics: Conference Series*. [S.l.], 2006. v. 46, n. 1, p. 550.
- [Akay e Marsh 2001]AKAY, M.; MARSH, A. *Information Technologies in Medicine, Volume 1, Medical Simulation and Education*. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2001.
- [Alder e Hostetler 2015]ALDER, J. R.; HOSTETLER, S. W. Web based visualization of large climate data sets. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 68, p. 175–180, 2015.
- [AndrySCO, Benes e Gurney 2008]ANDRYSCO, N.; BENES, B.; GURNEY, K. Interactive poster: Visual analytic techniques for co 2 emissions and concentrations in the united states. In: IEEE. *Visual Analytics Science and Technology, 2008. VAST'08. IEEE Symposium on*. [S.l.], 2008. p. 173–174.
- [AndrySCO et al. 2009]ANDRYSCO, N. et al. Visual exploration of the vulcan co2 data. *IEEE computer graphics and applications*, IEEE, v. 29, n. 1, p. 6–11, 2009.

- [Anik et al. 2015] ANIK, T. A. et al. Spatial data visualization methodologies in ict4d research. In: IEEE. *Computer and Information Technology (ICCIT), 2015 18th International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 429–434.
- [AttrakDiff] ATTRAKDIFF.
- [Bajaj] BAJAJ, C. *Visualization of Oceanography Time-Varying Volume Data*. Acessado em: 02/02/2017. Disponível em: <<http://www.cs.utexas.edu/~bajaj/cvc/projects/xtierra/vis-ocean/>>.
- [Barbosa 2013] BARBOSA, H. *Sistema EUMETCast: Uma abordagem aplicada dos satélites meteosat de segunda geração*. [S.l.]: EDUFAL, 2013. 203 p. ISBN 8571777500.
- [Braga, Paulo e Almeida] BRAGA, A. C. R.; PAULO, R. S. Vicente de; ALMEIDA, R. S. Estudo da variabilidade climática no nordeste do brasil com base no índice da unep durante os períodos seco e chuvoso.
- [Brainerd e Pang 2001] BRAINERD, J.; PANG, A. Interactive map projections and distortion. *Computers & geosciences*, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 299–314, 2001.
- [Chaudhuri et al. 2014] CHAUDHURI, A. et al. Exploring flow fields using space-filling analysis of streamlines. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, IEEE, v. 20, n. 10, p. 1392–1404, 2014.
- [COLA] COLA. *Weather and Climate Data*. Acessado em: 10/11/2015. Disponível em: <<http://wxmaps.org/index.php>>.
- [CPTEC] CPTEC. *CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS*. Acessado em: 02/07/2017. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>.
- [Dasgupta et al. 2015] DASGUPTA, A. et al. Bridging theory with practice: An exploratory study of visualization use and design for climate model comparison. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, IEEE, v. 21, n. 9, p. 996–1014, 2015.

- [Dhanya e Chandrasekar 2014]DHANYA, M.; CHANDRASEKAR, A. Improved rainfall simulation by assimilating oceansat-2 surface winds using ensemble kalman filter for a heavy rainfall event over south india. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, v. 52, n. 12, p. 7721–7726, 2014.
- [DNX]DNX. *Usabilidad y Experiencia de Usuario. Microsoft España: Guía Práctica de Usabilidad Web*.
- [Ducao et al. 2013]DUCAO, A. et al. Weatherplay a social exploration of weather, climate, and travel tv. In: IEEE. *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2013 IEEE*. [S.l.], 2013. p. 843–844.
- [earth]EARTH. *A global map of wind, weather, and ocean conditions*. Acessado em: 15/03/2017. Disponível em: <<https://earth.nullschool.net>>.
- [Fagundes et al. 2017]FAGUNDES, V. et al. Visualization of climate data from user perspective: Evaluating user experience in graphical user interfaces and immersive interfaces. In: SPRINGER. *International Conference on Human Interface and the Management of Information*. [S.l.], 2017. p. 55–70.
- [Fry 2004]FRY, B. J. *Computational information design*. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [GeoCoops]GEOCOOPS. *The Climate of the Brithsh Isles*. Acessado em: 13/07/2017. Disponível em: <<http://www.geocoops.com/the-climate-of-the-bi.html>>.
- [Gerstner et al. 2002]GERSTNER, T. et al. A case study on multiresolution visualization of local rainfall from weather radar measurements. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the conference on Visualization'02*. [S.l.], 2002. p. 533–536.

- [Günther et al. 2016]GÜNTHER, T. et al. Visualizing volcanic clouds in the atmosphere and their impact on air traffic. *IEEE computer graphics and applications*, IEEE, v. 36, n. 3, p. 36–47, 2016.
- [Harper et al. 2008]HARPER, E. R. et al. Human-computer interaction in the year 2020. Citeseer, 2008.
- [Healey e Sawant 2012]HEALEY, C. G.; SAWANT, A. P. On the limits of resolution and visual angle in visualization. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, ACM, v. 9, n. 4, p. 20, 2012.
- [ISO9241-210]ISO9241-210. *Ergonomia da interação sistema humano - Parte 210: Projeto centrado no ser humano para sistemas interativos*. International Organization for Standardization (ISO). Acessado em: 13/12/2016. Disponível em: <<https://www.caelum.com.br/apostila-ux-usabilidade-mobile-web/experiencia/>>.
- [Janicke et al. 2009]JANICKE, H. et al. Visual exploration of climate variability changes using wavelet analysis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE, v. 15, n. 6, 2009.
- [Jänicke, Böttinger e Scheuermann 2008]JÄNICKE, H.; BÖTTINGER, M.; SCHEUERMANN, G. Brushing of attribute clouds for the visualization of multivariate data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE, v. 14, n. 6, 2008.
- [Jansen, Dragicevic e Fekete 2013]JANSEN, Y.; DRAGICEVIC, P.; FEKETE, J.-D. Evaluating the efficiency of physical visualizations. In: *ACM. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2013. p. 2593–2602.
- [JHT]JHT. *Planet Texture Maps*. Acessado em: 13/07/2017. Disponível em: <<http://planetpixlemporium.com/earth.html>>.

- [Jin e Guo 2009]JIN, H.; GUO, D. Understanding climate change patterns with multi-variate geovisualization. In: IEEE. *Data Mining Workshops, 2009. ICDMW'09. IEEE International Conference on*. [S.l.], 2009. p. 217–222.
- [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.
- [Karray et al. 2008]KARRAY, F. et al. Human-computer interaction: Overview on state of the art. Citeseer, 2008.
- [Kehrer 2011]KEHRER, J. Interactive visual analysis of multi-faceted scientific data. The University of Bergen, 2011.
- [Kehrer et al. 2008]KEHRER, J. et al. Hypothesis generation in climate research with interactive visual data exploration. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE, v. 14, n. 6, p. 1579–1586, 2008.
- [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.
- [LAPIS]LAPIS. *Laboratório de Análises e Processamento de Imagens de Satélites*. Disponível em: <<http://www.lapismet.com>, urldate = 2015-10-10, note = Acessado em: 10/10/2015>.
- [Li, Zhang e Meng 2014]LI, J.; ZHANG, K.; MENG, Z.-P. Vismate: Interactive visual analysis of station-based observation data on climate changes. In: IEEE. *Visual Analytics Science and Technology (VAST), 2014 IEEE Conference on*. [S.l.], 2014. p. 133–142.

- [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.
- [Liu, Gong e Yu 2015] LIU, P.; GONG, J.; YU, M. Visualizing and analyzing dynamic meteorological data with virtual globes: A case study of tropical cyclones. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 64, p. 80–93, 2015.
- [Mackinlay 1986] MACKINLAY, J. Automating the design of graphical presentations of relational information. *Acm Transactions On Graphics (Tog)*, ACM, v. 5, n. 2, p. 110–141, 1986.
- [Mason et al. 2015] MASON, S. et al. Accessing and using climate data and information in fragile, data-poor states. *International Institute for Sustainable Development, Winnipeg*, 2015.
- [MayaVi] MAYAVI. *The MayaVI Data Visualizer*. Disponível em: <<http://mayavi.sourceforge.net>, urldate = 2015-04-07, note = Acessado em: 04/07/2017>.
- [Mendez et al. 2009] MENDEZ, F. J. et al. Analyzing the multidimensional wave climate with self organizing maps. In: IEEE. *OCEANS 2009-EUROPE*. [S.l.], 2009. p. 1–9.
- [Mendonça 2001] MENDONÇA, M. d. B. *Aplicação de texturas em visualização científica*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2001.
- [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.

- [NOAA]NOAA. *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Acessado em: 26/11/2016. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/>>.
- [Nóbrega et al. 2014]NÓBREGA, J. et al. Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da paraíba e suas relações com a tsm dos oceanos tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 2, p. 197–208, 2014.
- [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, Schumann e Böhm 2004]NOCKE, T.; SCHUMANN, H.; BÖHM, U. Methods for the visualization of clustered climate data. *Computational Statistics*, Springer, v. 19, n. 1, p. 75–94, 2004.
- [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.
- [Norman 1998]NORMAN, D. A. *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. [S.l.]: MIT press, 1998.
- [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.
- [PINHO 2000]PINHO, M. S. Interação em ambientes tridimensionais. In: *Tutorial do 3rd Workshop on Virtual Reality-WRV*. [S.l.: s.n.], 2000.

- [Potter et al. 2009]POTTER, K. et al. Visualization of uncertainty and ensemble data: Exploration of climate modeling and weather forecast data with integrated visus-cdat systems. In: IOP PUBLISHING. *Journal of Physics: Conference Series*. [S.l.], 2009. v. 180, n. 1, p. 012089.
- [Ravi et al. 2013]RAVI, L. et al. A survey of visualization techniques and tools for environmental data. In: *Proceedings of the 2013 Intl. Conference on Computers and Their Applications (CATA 2013)*. [S.l.: s.n.], 2013.
- [Samsel et al. 2015]SAMSEL, F. et al. Colormaps that improve perception of high-resolution ocean data. In: ACM. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2015. p. 703–710.
- [Santos e Oliveira 2017]SANTOS, C. A. C. d.; OLIVEIRA, V. G. d. Trends in extreme climate indices for par  state, brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 32, n. 1, p. 13–24, 2017.
- [Santos e Manzi 2010]SANTOS, C. A. C. dos; MANZI, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 26, n. 1, 2010.
- [Schroeder e Keefe 2016]SCHROEDER, D.; KEEFE, D. F. Visualization-by-sketching: An artist’s interface for creating multivariate time-varying data visualizations. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, IEEE, v. 22, n. 1, p. 877–885, 2016.
- [Seebauer 2013]SEEBAUER, S. Measuring climate change knowledge in a social media game with a purpose. In: IEEE. *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2013 5th International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 1–8.

- [Shen et al. 2013]SHEN, B.-W. et al. Advanced visualizations of scale interactions of tropical cyclone formation and tropical waves. *Computing in Science & Engineering*, IEEE, v. 15, n. 2, p. 47–59, 2013.
- [Shneiderman 1996]SHNEIDERMAN, B. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In: IEEE. *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on*. [S.l.], 1996. p. 336–343.
- [Silva e Catarci 2000]SILVA, S. F.; CATARCI, T. Visualization of linear time-oriented data: a survey. In: IEEE. *Web Information Systems Engineering, 2000. Proceedings of the First International Conference on*. [S.l.], 2000. v. 1, p. 310–319.
- [Steed et al. 2009]STEED, C. A. et al. An interactive parallel coordinates technique applied to a tropical cyclone climate analysis. *Computers & Geosciences*, Elsevier, v. 35, n. 7, p. 1529–1539, 2009.
- [Steed et al. 2013]STEED, C. A. et al. Big data visual analytics for exploratory earth system simulation analysis. *Computers & Geosciences*, Elsevier, v. 61, p. 71–82, 2013.
- [Sukharev et al. 2009]SUKHAREV, J. et al. Correlation study of time-varying multivariate climate data sets. In: IEEE. *Visualization Symposium, 2009. PacificVis' 09. IEEE Pacific*. [S.l.], 2009. p. 161–168.
- [Sun et al. 2012]SUN, X. et al. Development of a web-based visualization platform for climate research using google earth. *Computers & Geosciences*, Elsevier, v. 47, p. 160–168, 2012.
- [Sun et al. 2006]SUN, Y. et al. Visualizing oceanic and atmospheric flows with streamline splatting. In: *Visualization and Data Analysis*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 606002.
- [Tavares e Barbosa 2014]TAVARES, T. A.; BARBOSA, H. A. A step beyond visualization: Applying user interface techniques to improve satellite data interaction. In:

- SPRINGER. *International Conference on Human Interface and the Management of Information*. [S.l.], 2014. p. 98–107.
- [Tominski, Donges e Nocke 2011]TOMINSKI, C.; DONGES, J. F.; NOCKE, T. Information visualization in climate research. In: IEEE. *Information Visualisation (IV), 2011 15th International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 298–305.
- [Tory e Moller 2004]TORY, M.; MOLLER, T. Rethinking visualization: A high-level taxonomy. In: IEEE. *Information Visualization, 2004. INFOVIS 2004. IEEE Symposium on*. [S.l.], 2004. p. 151–158.
- [VisAWI]VISAWI.
- [Vision]VISION, V. D. *PROVEN MONITORING SOLUTION*. Acessado em: 15/05/2017. Disponível em: <<http://www.vistadatavision.com/>>.
- [Wall 2010]WALL, C. de B. Interantarctica: An interactive environmental installation. In: IEEE. *Multimedia and Expo (ICME), 2010 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 1629–1634.
- [Wolfgang e Schumann 2003]WOLFGANG, M.; SCHUMANN, H. Visualization methods for time-dependent data: An overview. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. [S.l.: s.n.], 2003.
- [Wong et al. 2014]WONG, P. C. et al. Visual analytics of large-scale climate model data. In: IEEE. *Large Data Analysis and Visualization (LDAV), 2014 IEEE 4th Symposium on*. [S.l.], 2014. p. 85–92.
- [Xie, Yu e Maz 2014]XIE, J.; YU, H.; MAZ, K.-L. Visualizing large 3d geodesic grid data with massively distributed gpus. In: IEEE. *Large Data Analysis and Visualization (LDAV), 2014 IEEE 4th Symposium on*. [S.l.], 2014. p. 3–10.

- [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.
- [Zou e Wang 2012]ZOU, H.; WANG, X. Research and development of script-based visualization template library for earth system model. In: IEEE. *Computational and Information Sciences (ICCIS), 2012 Fourth International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 243–246.

# Apêndice A

## Ferramenta *Parsifal*

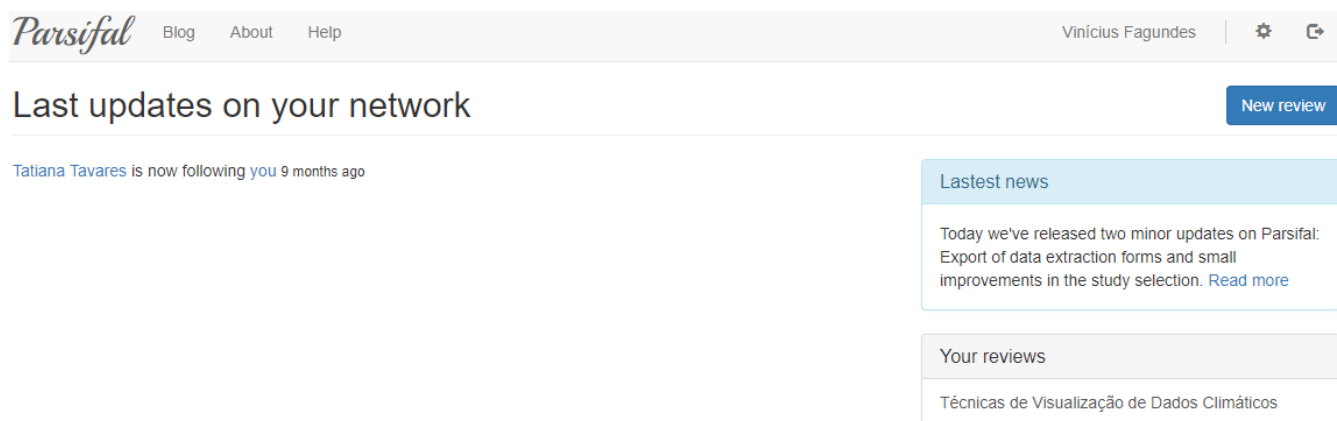


Figura A.1: Ferramenta *Parsifal* - Home Page

## Vinícius Fagundes / Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

|        |          |            |           |  |
|--------|----------|------------|-----------|--|
| Review | Planning | Conducting | Reporting |  |
|--------|----------|------------|-----------|--|

Review details

Title

Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

Description

Revisão sistemática realizada com o objetivo de catalogar as técnicas de visualização mais utilizadas para representar diferentes fenômenos naturais. Além disso, pretende-se obter conhecimento sobre suas formas de representação e quais em tipos de fenômenos estas técnicas são mais utilizadas. Informações adicionais, como dispositivos de interação ou outros meios de uso, no que diz respeito a visualização no estudo de dados climáticos, também fazem-se importantes

✓ Save

Figura A.2: Ferramenta *Parsifal* - Review

## Vinícius Fagundes / Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

| Review | Planning | Conducting | Reporting |
|--------|----------|------------|-----------|
|--------|----------|------------|-----------|

Protocol

Quality Assessment Checklist

Data Extraction Form

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Objectives            | ? |
| Research Questions    | ? |
| Keywords and Synonyms | ? |
| Search String         | ? |
| Sources               |   |
| Selection Criteria    |   |

Figura A.3: Ferramenta *Parsifal* - *Planning*, Protocolo

## Vinícius Fagundes / Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

| Review | Planning | Conducting | Reporting |
|--------|----------|------------|-----------|
|--------|----------|------------|-----------|

Protocol

Quality Assessment Checklist

Data Extraction Form

|                           |
|---------------------------|
| Questions                 |
| Answers                   |
| Quality Assessment Scores |

Figura A.4: Ferramenta *Parsifal* - *Planning*, *Checklist* de avaliação de qualidade

## Vinícius Fagundes / Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

Review

Planning

Conducting

Reporting

Protocol

Quality Assessment Checklist

Data Extraction Form

Data Extraction Form

| Description                              | Type              | Values                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>Visualization techniques used</div> | Select Many Field | <div><div><div>Glifos</div><div>Gráficos</div><div>Height Mapping</div><div>Histogramas</div><div>Isolinhas</div><div>Mapeamento por Cor</div><div>Nenhum</div><div>Renderização de Volume</div><div>Scatterplots</div><div>Streamlines</div></div><div><div>edit</div><div>remove</div></div></div> |
| <div>Visualization methods used</div>    | Select Many Field | <div><div><div>2D</div><div>3D</div><div>Interação</div><div>R. Aumentada</div><div>R. Virtual</div></div><div><div>edit</div><div>remove</div></div></div>                                                                                                                                          |

+ Add Field

Figura A.5: Ferramenta *Parsifal* - *Planning*, Forma de extração de dados

|        |          |            |           |  |
|--------|----------|------------|-----------|--|
| Review | Planning | Conducting | Reporting |  |
|--------|----------|------------|-----------|--|

1. Search

2. Import Studies

3. Study Selection

4. Quality Assessment

5. Data Extraction

6. Data Analysis

Search Strings

ⓘ Add digital source-specific search strings. Use this space to save all search string formats used during the research.

Base String

IEEE

ScienceDirect

Scopus

("Data" OR "Events") AND ("Visualization" OR "Interaction Devices" OR "Visualization Models" OR "Visualization Techniques") AND ("Climate")

+ Add source-specific search string

Search

Figura A.6: Ferramenta *Parsifal* - *Conducting*, Busca

## Vinícius Fagundes / Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

Review

Planning

Conducting

Reporting

1. Search

2. Import Studies

3. Study Selection

4. Quality Assessment

5. Data Extraction

6. Data Analysis

Import Studies

| Source        | Imported Studies |                                                                                                                |
|---------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEEE          | 76               | <div><div> Import</div></div> |
| ScienceDirect | 22               | <div><div> Import</div></div> |
| Scopus        | 91               | <div><div> Import</div></div> |

Figura A.7: Ferramenta *Parsifal* - *Conducting*, Artigos científicos importados com aplicação de critérios

ReviewPlanningConductingReporting

1. Search2. Import Studies3. Study Selection4. Quality Assessment5. Data Extraction6. Data Analysis

Study Selection

All SourcesIEEEScienceDirectScopus

Find Duplicates

Export Articles

Action: Select...Go0 of 189 selected

Show: AllAcceptedRejectedUnclassifiedDuplicated

| <input type="checkbox"/> | Bibtex Key ↑↓      | Title ↑↓                                                                                                     | Author ↑↓                                                                                                                | Journal ↑↓                         | Year ↑↓ | Added by ↑↓       | Added at ↑↓          | Status ↑↓ |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|----------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> | santos2013uv       | UV-CDAT: Analyzing Climate Datasets from a User's Perspective                                                | Santos, Emanuele and Poco, Jorge and Wei, Yaxing and Liu, Shishi and Cook, Bob and Williams, Dean N and Silva, Claudio T | Computing in Science & Engineering | 2013    | Vinícius Fagundes | 16 Nov 2016 23:05:27 | Rejected  |
| <input type="checkbox"/> | liu2015visualizing | Visualizing and analyzing dynamic meteorological data with virtual globes: A case study of tropical cyclones | Liu, Po and Gong, Jianhua and Yu, Miao                                                                                   | Environmental Modelling & Software | 2015    | Raul Fernandes    | 30 Jan 2017 02:53:45 | Accepted  |

Figura A.8: Ferramenta *Parsifal* - *Conducting*, Seleção de artigos científicos

Review

Planning

Conducting

Reporting

1. Search

2. Import Studies

3. Study Selection

4. Quality Assessment

5. Data Extraction

6. Data Analysis

Quality Assessment

Detailed

Summary

Show: 

All

Done

Pending

Order by: Title (a - z)

To answer the form you may click on the desired answer on the following tables.

|                                                                                                       |     |    |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|-----|
| Advanced visualizations of scale interactions of tropical cyclone formation and tropical waves (2013) |     |    | 1.0 |
| The work present any interaction device for climate data?                                             | Yes | No |     |
| The work present any climate visualization technique?                                                 | Yes | No |     |
| Hypothesis generation in climate research with interactive visual data exploration (2008)             |     |    | 2.0 |
| The work present any interaction device for climate data?                                             | Yes | No |     |
| The work present any climate visualization technique?                                                 | Yes | No |     |

Figura A.9: Ferramenta *Parsifal* - *Conducting*, Avaliação de qualidade

ReviewPlanningConductingReporting

1. Search

2. Import Studies

3. Study Selection

4. Quality Assessment

5. Data Extraction

6. Data Analysis

Data Extraction

To-do

Done

All

A survey of visualization techniques and tools for environmental data1.0

mark as undone

Visualization techniques used

☐ Glifos

☒ Gráficos

☐ Height Mapping

☒ Histogramas

☒ Isolinhas

☒ Mapemento por Cor

☐ Nenhum

☐ Renderização de Volume

☐ Scatterplots

☒ Streamlines

Visualization methods used

☒ 2D

☒ 3D

☐ Interação

☐ R. Aumentada

☐ R. Virtual

Information visualization in climate research1.0

mark as undone

Visualization techniques used

☐ Glifos

☒ Gráficos

☒ Height Mapping

☒ Histogramas

☒ Isolinhas

☒ Mapemento por Cor

☐ Nenhum

☐ Renderização de Volume

☐ Scatterplots

☒ Streamlines

Visualization methods used

☒ 2D

☒ 3D

☐ Interação

☐ R. Aumentada

☐ R. Virtual

Figura A.10: Ferramenta *Parsifal* - *Conducting*, Extração de dados

## Vinícius Fagundes / Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

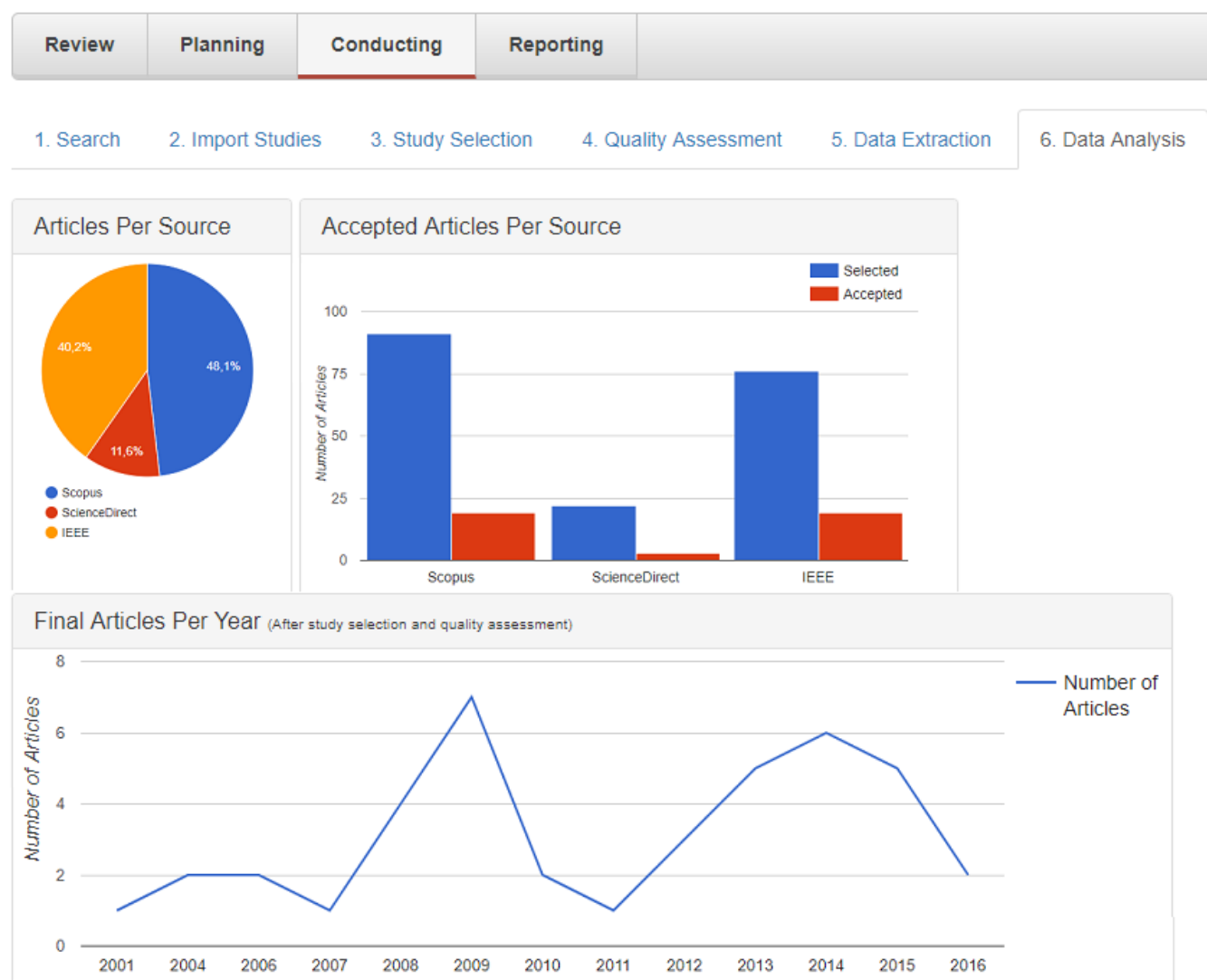


Figura A.11: Ferramenta *Parsifal* - *Conducting*, Análise de dados

Review

Planning

Conducting

Reporting

Export

Download a Report

Review

Toggle all

☒ Name

☒ Authors

☒ Description

Planning

Toggle all

☒ Objectives

☒ Search String

☒ Data Extraction Form

☒ PICOC

☒ Sources

☒ Research Questions

☒ Selection Criteria

☒ Keywords and Synonyms

☒ Quality Assessment Checklist

Conducting

Toggle all

☒ Source Search Strings☒ Number of Imported Studies

Download

Figura A.12: Ferramenta *Parsifal* - *Reporting*, Dados para planilhas



## Apêndice B

### Formulário Utilizado



**Visualização de Dados Climáticos**

Esta pesquisa busca avaliar a experiência vivenciada por usuários através da visualização de imagens de dados climáticos sob diferentes técnicas de visualização. No intuito de investigar a contribuição a cerca do entendimento de cada técnica, são apresentadas técnicas de visualização climática em sua forma tradicional, com diversas representações gráficas em tela, contendo as técnicas mais utilizadas para os tipos mais comuns de fenômenos naturais. Espera-se, com isto, obter vantagens, desvantagens e informações adicionais que sirvam para auxiliar a compreensão dos dados expostos no conceito de visualização climática.

Este formulário foi criado utilizando o Google Forms, baseado nos modelos de formulários AttrakDiff e VisAWI, que são alternativas para pesquisas de experiência de usuário com suporte extra na avaliação dos resultados.

Para maiores informações, acessar:  
<http://attrakdiff.de/index-en.html>  
<http://visawi.uid.com/>

Dúvidas e/ou sugestões: [viniciuscfagundes@gmail.com](mailto:viniciuscfagundes@gmail.com)

**PRÓXIMA**

Página 1 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Figura B.1: Formulário - Apresentação

# Visualização de Dados Climáticos

\*Obrigatório

## Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Você está sendo convidado como voluntário a participar de uma avaliação sobre o projeto de pesquisa intitulado "Avaliação de Estratégias de Visualização em Dados Climáticos: Uma Análise Através da Perspectiva do Usuário", desenvolvido por Vinícius Fagundes, aluno de Pós-Graduação em Informática pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Neste documento você responderá questões em que abordaremos sua experiência como usuário. Suas respostas serão armazenadas em um banco de dados, assim como a dos outros participantes, a fim de serem analisadas quantitativamente e qualitativamente quanto a experiência vivenciada. Seus dados pessoais (nome, e-mail e/ou instituição) não serão divulgados e nem armazenados.

Sua colaboração será feita de forma anônima, por meio de observação e coleta de dados através de formulários que abordam a experiência do usuário.

Você pode se retirar desta pesquisa a qualquer momento, sem sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos.

Ao concordar com estes termos, você:

- aceita participar da pesquisa por vontade própria, sem receber incentivos ou qualquer ônus, tendo como finalidade exclusiva colaborar para o sucesso da pesquisa;
- foi informado dos objetivos estritamente acadêmicos do estudo, que, em linhas gerais é avaliar o grau de compreensão na visualização de dados climáticos sob diferentes técnicas de visualização;
- deve responder a cada quesito de acordo com sua visão interpretativa, seja você especialista ou não, no intuito de obter resultados verdadeiros.

\*

☐ Eu concordo com este termo e estou de acordo com a pesquisa.

VOLTAR

PRÓXIMA

Página 2 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Figura B.2: Formulário - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

# Visualização de Dados Climáticos

\*Obrigatório

## Entrevista

Neste formulário apresentaremos algumas questões de cunho geral. O objetivo é identificar o quão familiarizado com o tema você é. Responda de acordo com sua experiência.

Informe sua idade \*

Sua resposta



Qual seu grau escolar? \*

☐ Ensino Fundamental

☐ Ensino Médio

☐ Graduação

☐ Pós-Graduação

☐ Doutorado

☐ Outro: \_\_\_\_\_

Qual o seu nível de conhecimento em relação a visualização de dados climáticos? \*

- ☐ Não conheço
- ☐ Conheço, mas não entendo
- ☐ Conheço e entendo um pouco
- ☐ Entendo bem, mas nunca utilizei em pesquisas ou trabalhos
- ☐ Trabalho ou já trabalhei com isso

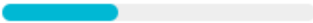
Em que situação você já teve contato com este tipo de conteúdo? \*

- ☐ Nunca tive
- ☐ Em telejornais
- ☐ Em revistas/livros
- ☐ Na universidade
- ☐ No trabalho
- ☐ Outro: \_\_\_\_\_

Qual o seu nível de conhecimento em relação a técnicas de visualização sobre estes dados? \*

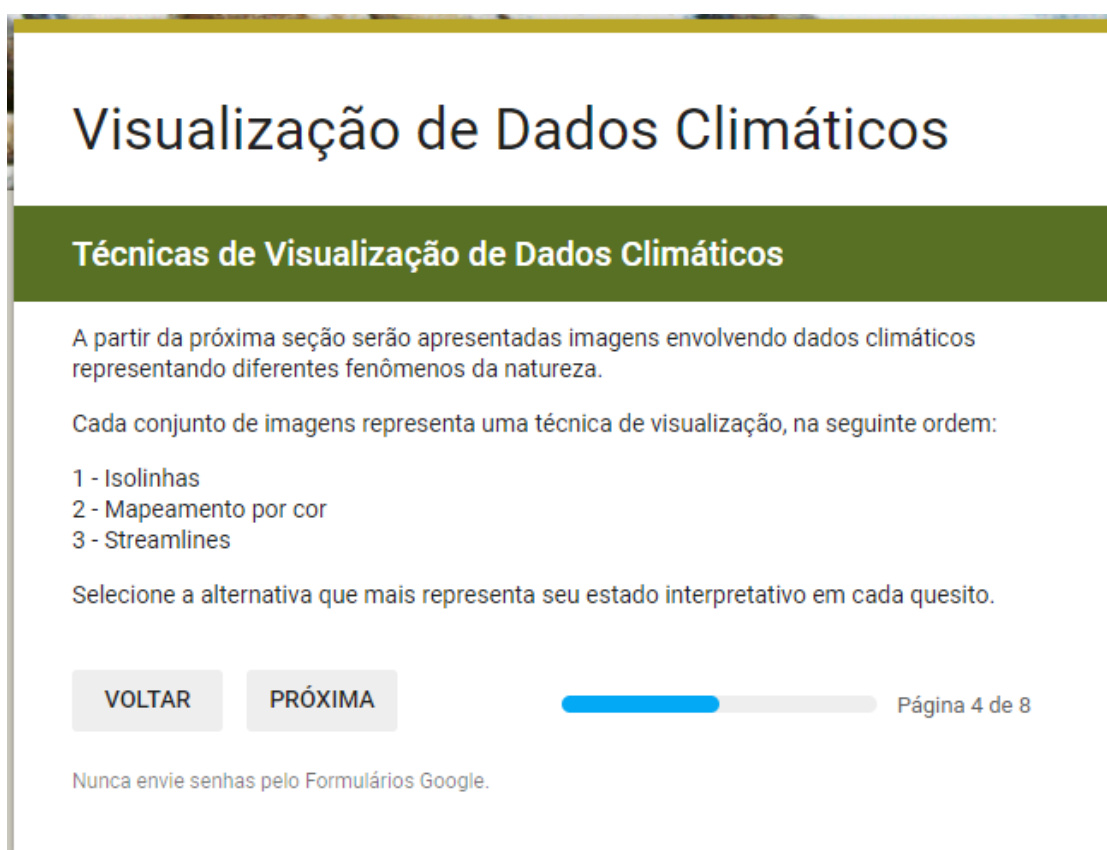
- ☐ Não conheço
- ☐ Conheço, mas não entendo
- ☐ Conheço e entendo um pouco
- ☐ Entendo bem, mas nunca utilizei em pesquisas ou trabalhos
- ☐ Trabalho ou já trabalhei com isso

**VOLTAR** **PRÓXIMA**

 Página 3 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Figura B.3: Formulário - Entrevista



The image shows a Google Form titled "Visualização de Dados Climáticos". The form has a green header bar with the title. Below the header, there is a section titled "Técnicas de Visualização de Dados Climáticos". The text in this section explains that from the next section, images involving climate data representing different natural phenomena will be presented. It states that each set of images represents a visualization technique in the following order: 1 - Isolinhas, 2 - Mapeamento por cor, and 3 - Streamlines. It asks the user to select the alternative that best represents their interpretative state for each question. At the bottom, there are two buttons: "VOLTAR" and "PRÓXIMA". To the right of these buttons is a progress bar and the text "Página 4 de 8". At the very bottom, there is a small text: "Nunca envie senhas pelo Formulários Google."

# Visualização de Dados Climáticos

## Técnicas de Visualização de Dados Climáticos

A partir da próxima seção serão apresentadas imagens envolvendo dados climáticos representando diferentes fenômenos da natureza.

Cada conjunto de imagens representa uma técnica de visualização, na seguinte ordem:

- 1 - Isolinhas
- 2 - Mapeamento por cor
- 3 - Streamlines

Selecione a alternativa que mais representa seu estado interpretativo em cada quesito.

**VOLTAR** **PRÓXIMA**

Página 4 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

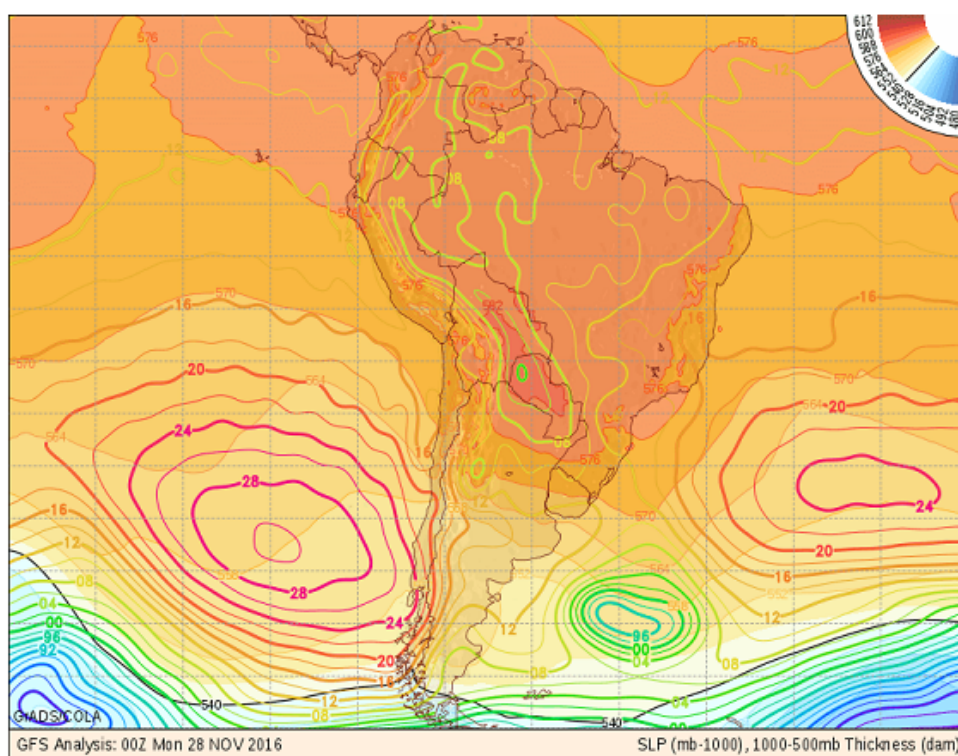
Figura B.4: Formulário - Técnicas de visualização utilizadas

# Visualização de Dados Climáticos

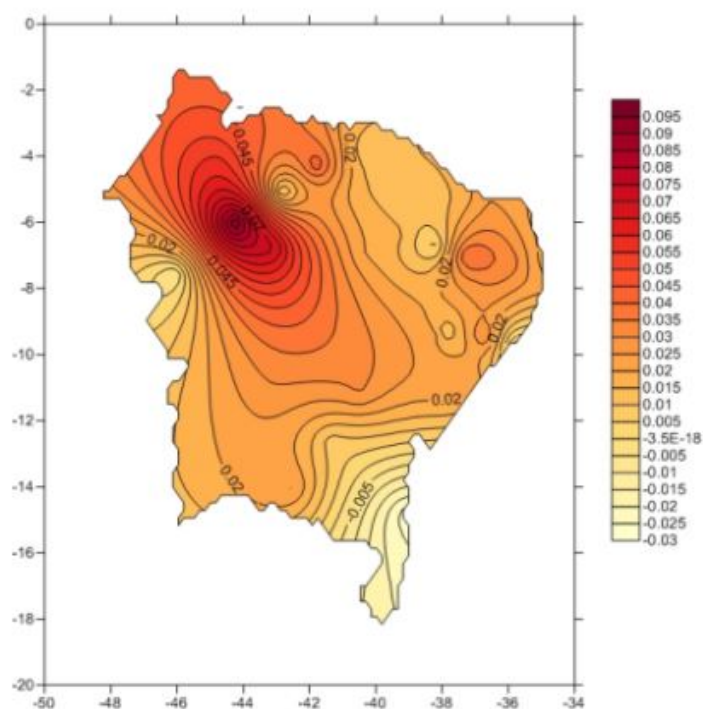
\*Obrigatório

## Isolinhas

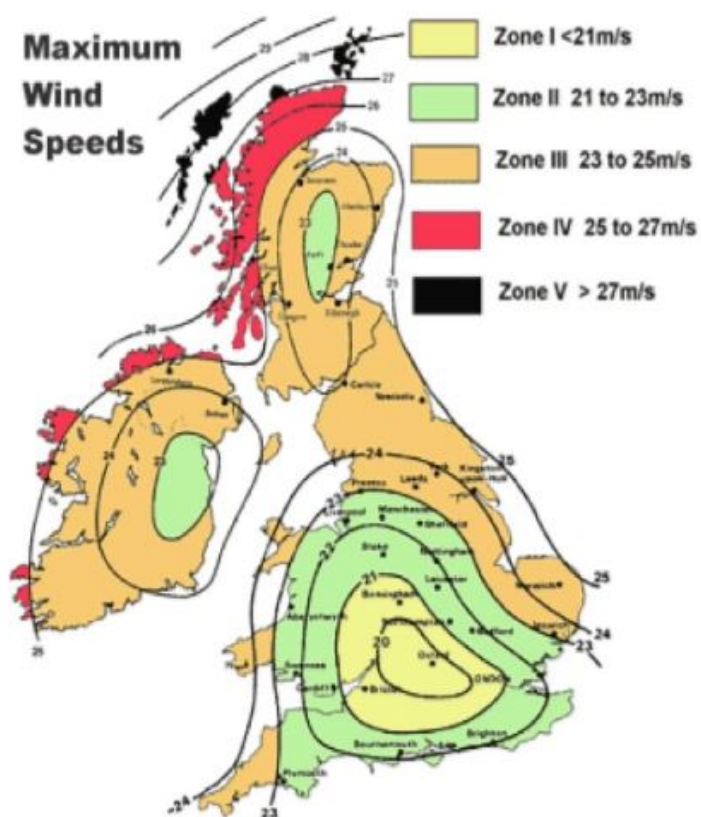
Demonstração da pressão ao nível do mar na América do Sul



### Tendência de temperatura para o período chuvoso do nordeste brasileiro



## Diferentes potenciais de velocidade máxima do vento no Reino Unido



As imagens são compreensíveis \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

As imagens são agradáveis \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

A composição de cores está mal ajustada \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

As imagens precisam de informações adicionais \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

[VOLTAR](#) [PRÓXIMA](#) Página 5 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Figura B.5: Formulário baseado no VisAWI - Isolinhas

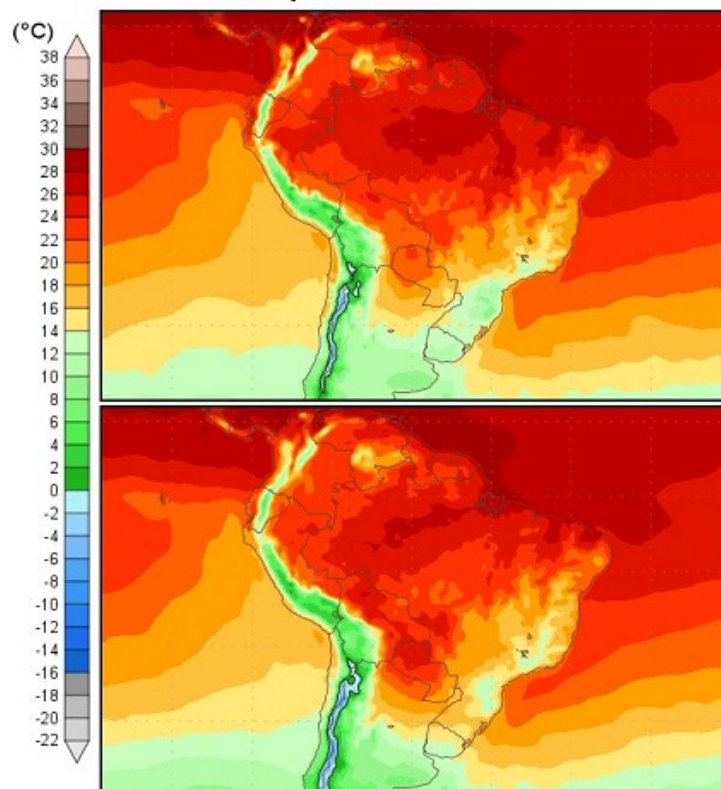
# Visualização de Dados Climáticos

\*Obrigatório

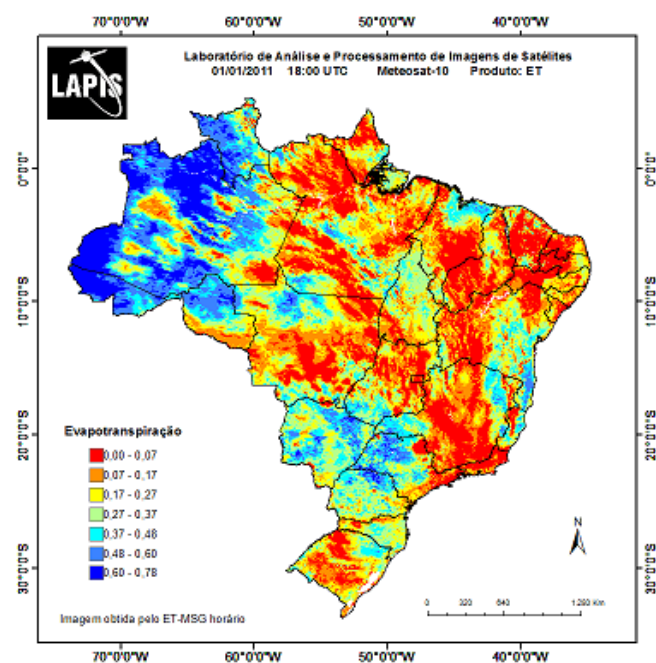
## Mapeamento por cor

Temperatura média da América do Sul em diferentes momentos

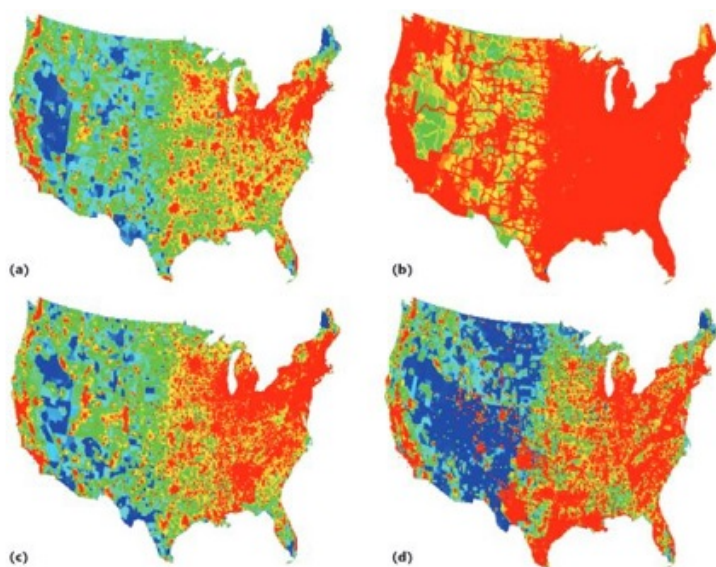
Temperature Forecasts



## Evapotranspiração do território brasileiro



Emissão de gás CO<sub>2</sub> nos Estados Unidos a partir de diferentes fontes em escala RGB, Azul = 0 emissão, Vermelho = 625 kilotons de carbono/ano. a) comercial; b) automóveis; c) residências; d) indústrias



As imagens são compreensíveis \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

As imagens são agradáveis \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

A composição de cores está mal ajustada \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

As imagens precisam de informações adicionais \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

**VOLTAR** **PRÓXIMA**

 Página 6 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

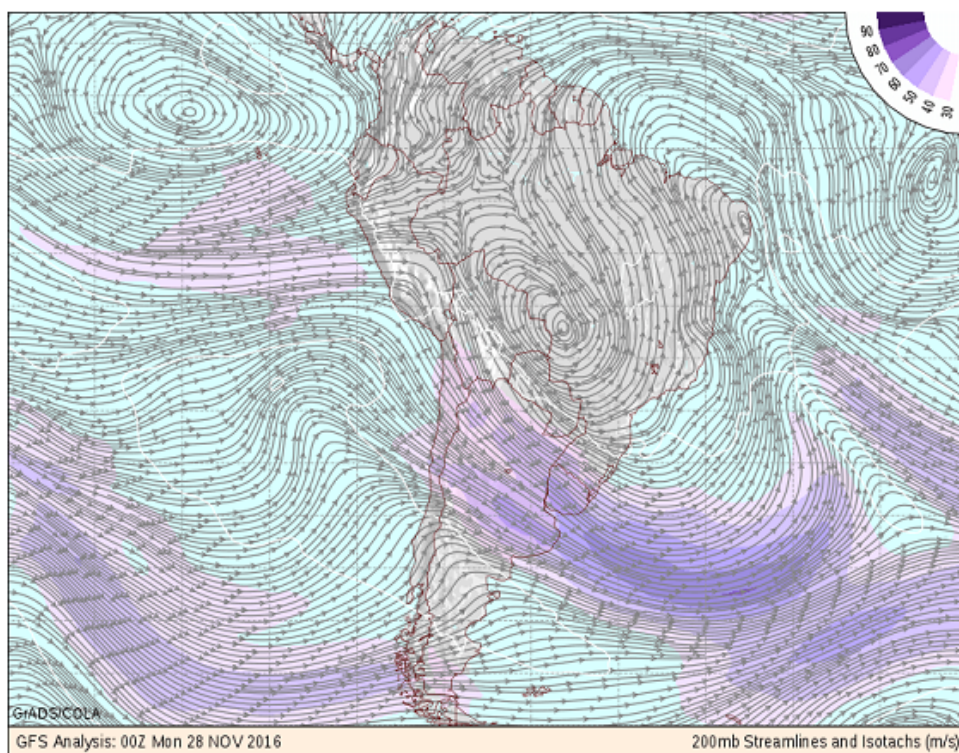
Figura B.6: Formulário baseado no VisAWI - Mapeamento por cor

# Visualização de Dados Climáticos

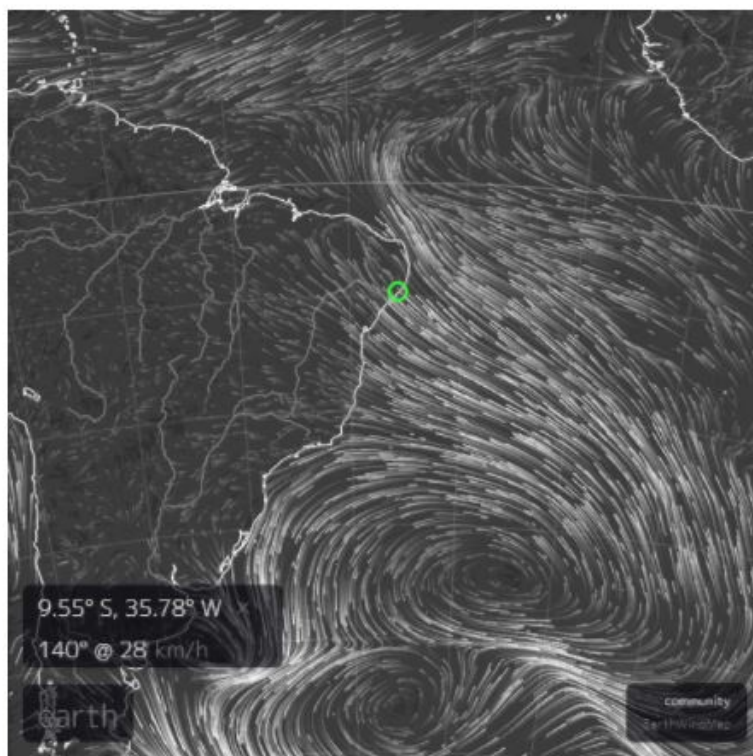
\*Obrigatório

## Streamlines

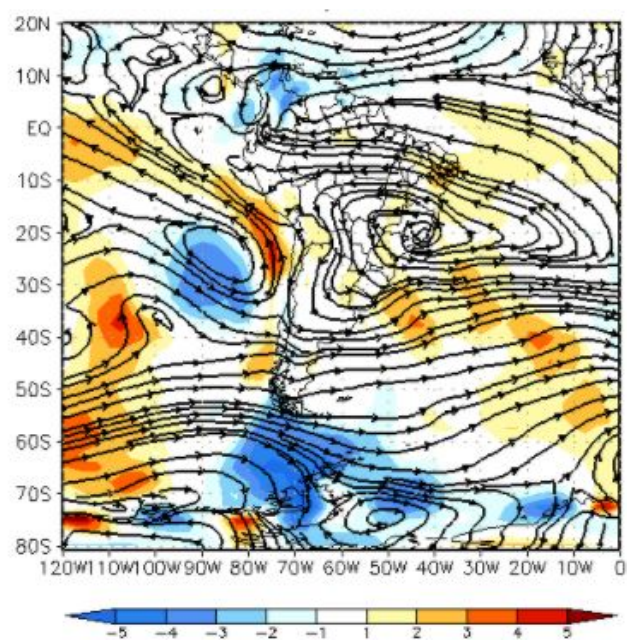
Demonstração da orientação e velocidade do vento na América do Sul



## Monitoramento do vento da costa brasileira



### Linha de corrente da componente zonal do vento na América do Sul



As imagens são compreensíveis \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

As imagens são agradáveis \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

A composição de cores está mal ajustada \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

As imagens precisam de informações adicionais \*

1 2 3 4 5 6 7

Discordo Fortemente ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo Fortemente

**VOLTAR** **PRÓXIMA**

 Página 7 de 8

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Figura B.7: Formulário baseado no VisAWI - *Streamlines*



O conjunto de imagens é \*

1      2      3      4      5      6      7

## Inventivo

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Conventional

O conjunto de imagens é \*

1      2      3      4      5      6      7

## Simples

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Complicado

O conjunto de imagens é \*

1      2      3      4      5      6      7

Professional

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Amador

O conjunto de imagens é \*

1      2      3      4      5      6      7

Feio

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Atraente

O conjunto de imagens é \*

1      2      3      4      5      6      7

Prático

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Complexo







O conjunto de imagens é \*

Tedioso      1    2    3    4    5    6    7      Cativante

(Note: The scale uses circles as response options.)

O conjunto de imagens é \*

[illegible]

O conjunto de imagens é \*

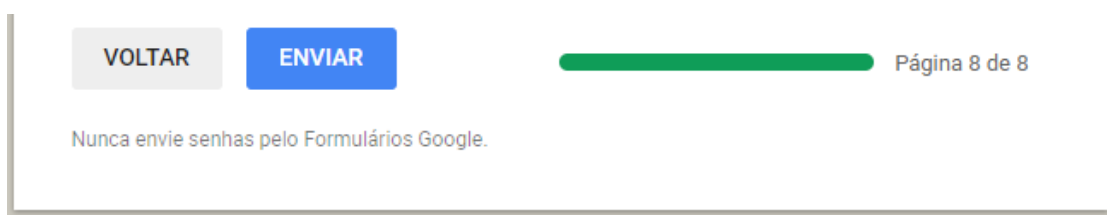
[illegible]

O conjunto de imagens é \*

[illegible]

O conjunto de imagens é \*

[illegible]



The image shows the bottom section of a Google Form submission page. It features two buttons: a grey 'VOLTAR' (Back) button and a blue 'ENVIAR' (Submit) button. To the right of these buttons is a green progress bar and the text 'Página 8 de 8'. Below the buttons, a warning message reads: 'Nunca envie senhas pelo Formulários Google.' (Never send passwords through Google Forms).

Figura B.8: Formulário baseado no AttrakDiff