



DANIEL HENRIQUE CANDIDO

**TORNADOS E TROMBAS-D'ÁGUA NO BRASIL:
MODELO DE RISCO E PROPOSTA DE ESCALA DE AVALIAÇÃO DE DANOS**

**CAMPINAS
2012**



NÚMERO: 185/2012
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DANIEL HENRIQUE CANDIDO

**TORNADOS E TROMBAS-D'ÁGUA NO BRASIL:
MODELO DE RISCO E PROPOSTA DE ESCALA DE AVALIAÇÃO DE DANOS**

ORIENTADORA: PROFA. DRA. LUCÍ HIDALGO NUNES

CO-ORIENTADOR: DR GERHARD HELD

**Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós Graduação em
Geografia do Instituto de Geociências da
Universidade Estadual de Campinas para
obtenção do título de Doutor em Ciências**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO DANIEL HENRIQUE CANDIDO
E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. LUCÍ HIDALGO NUNES**

CAMPINAS - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
CÁSSIA RAQUEL DA SILVA – CRB8/5752 – BIBLIOTECA “CONRADO PASCHOALE” DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNICAMP

C161t Candido, Daniel Henrique, 1979-
Tornados e trombas-d 'água no Brasil: modelo de risco
e proposta de escala de avaliação de danos / Daniel
Henrique Candido. - Campinas, SP.: [s.n.], 2012.

Orientador: Luci Hidalgo Nunes.
Coorientador: Gerhard Held
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Instituto de Geociências.

1 Tornados - Brasil. 2. Ventos. 3. Catástrofes
naturais. I. Nunes, Luci Hidalgo, 1961- II. Held, Gerhard.
III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências. IV. Título.

Informações para a Biblioteca Digital

Título em inglês: Tornadoes and waterspouts in Brazil: development of a model and proposal of a scale for evaluation of damages.

Palavras-chaves em inglês:

Tornadoes – Brazil

Winds

Natural disasters

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Ciências.

Banca examinadora:

Luci Hidalgo Nunes (Orientador)

Ana Maria Gomes Held

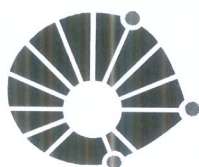
Jonas Teixeira Nery

Jurandir Zullo Junior

Tânia Sausen

Data da defesa: 17-08-2012

Programa de Pós-graduação em: Geografia



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: Daniel Henrique Candido

Tornados e Trombas-D'Água no Brasil: modelo de risco e proposta de escala de avaliação de danos

ORIENTADORA: Profa. Dra. Lucí Hidalgo Nunes

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Gerhard Held

Aprovada em: 17 / 08 / 2012

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Lucí Hidalgo Nunes

Lucí Hidalgo Nunes Presidente

Prof. Dr. Jonas Teixeira Nery

Jonas Teixeira Nery

Prof. Dr. Jurandir Zullo Junior

Jurandir Zullo Junior

Profa. Dra. Ana Maria Gomes Held

Ana Maria Gomes Held

Profa. Dra. Tânia Maria Sausen

Tânia Maria Sausen

Campinas, 17 de agosto de 2012.

**Dedicado à minha mãe, Marisa,
ao meu pai José Cândido (*in memoriam*)
e ao meu irmão “Pipe”.**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer àqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram com a realização desta pesquisa. Em função de tratar-se de um momento descontraído, peço desculpas pelo fato de que, em alguns momentos, deixo o texto escapar ao rigor acadêmico normalmente adotado em trabalhos científicos.

- A Deus por ter me dado condições de desenvolver esta pesquisa.
- A Professora Dra. Lucí Hidalgo Nunes pela orientação e por toda a atenção dispensada; não apenas nos 4 anos de desenvolvimento deste trabalho, mas também ao longo de minha carreira acadêmica.
- Ao meu co-orientador, Dr. Gerhard Held e à sua esposa Ana Maria Gomes Held pela ajuda com os dados de radar e preciosos conselhos na área de meteorologia.
- A todos meus familiares pelo apoio prestado, com destaque à minha mãe Marisa, meu irmão Rafael Felipe (“Pipe”), minha avó Arminda, meus tios Mônica e “Baiano”; Marcos e Isabel. Também devo agradecer aos meus primos Débora, Vítor, Douglas, Alexandre, Isabela e Beatriz, pelas horas de diversão.
- A toda equipe do IPMet – UNESP, em especial à Geórgia Pellegrino pelo auxílio com a captura de imagens de radar.
- A UNICAMP por ter me acolhido nestes últimos 12 anos, lapidando o meu conhecimento científico. Aos professores e funcionários do Instituto de Geociências da UNICAMP, em especial à equipe da secretaria de Pós-Graduação por todo o apoio empreendido. Aos discentes da Unicamp, em especial à Laura de Bona pela ajuda na organização da listagem de ocorrências. Também estendo os agradecimentos à toda equipe do Laboratório de Estudos Climáticos do Instituto de Geociência (LECLIG), com destaque aos amigos Marina e Ricardo Araki pelo envio de materiais por email (reportagens sobre ocorrências de tornados), bem como pela disposição em ajudar sempre que necessário.
- Aos colegas de trabalho do Cemaden, sobretudo aos membros da Equipe Charlie (Antônio Sérgio, Daniel Lanza, Giovana Luz e Victor Marchezini) que, em pouco tempo, já se tornaram grandes amigos, alentando os longos turnos de monitoramento durante da madrugada.
- Aos amigos que fiz ao longo de minha vida, seja em Santa Bárbara, Campinas, Jaguariúna, São Paulo, Cachoeira Paulista ou em qualquer outra localidade aqui não mencionada.
- As milhares de pessoas que utilizam a Internet para compartilhar fotos e vídeos de fenômenos meteorológicos, elementos fundamentais para a realização desta pesquisa.
- E, por fim, aos meus amigos felinos Sinatra e Beringela. Ao primeiro, por ter me mostrado como os gatos são seres dotados de uma personalidade fantástica; à segunda por me revelado que o dito popular que afirma que gatos pretos trazem mau agouro é uma grande bobagem.

“A ausência de evidência não é evidência de ausência”
Carl Sagan



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geografia

TORNADOS E TROMBAS-D'ÁGUA NO BRASIL: DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO E PROPOSTA DE ESCALA DE AVALIAÇÃO DE DANOS

RESUMO

Tese de Doutorado

Daniel Henrique Candido

O registro de tornados e trombas-d'água no Brasil tem aumentado de forma substancial nos últimos anos. Embora as alterações antrópicas tenham papel fundamental para a elevação de tais ocorrências, uma vez que mais calor disponível significa maior instabilidade atmosférica, há de se considerar que a expansão urbana e o espraiamento da população faça com que os registros visuais desses fenômenos se tornem mais frequentes. Assim, este estudo avaliou a distribuição espacial do fenômeno em território brasileiro por meio do desenvolvimento de um modelo capaz de utilizar parâmetros climatológicos e geomorfológicos para definir os riscos de ocorrência de episódios tornádicos em diferentes setores do Brasil. Tal modelo foi obtido mediante aplicação de técnicas de geoprocessamento, adotando para isso ferramentas de SIG. O trabalho também apresenta a listagem de todos eventos em território nacional, bem como a proposição de uma nova classificação dos fenômenos relacionados a ventos intensos, uma vez que os modelos atualmente adotados desconsideram as particularidades das estruturas existentes no país, sendo necessária a adoção de uma escala mais adequada à realidade brasileira. Os resultados obtidos mostram que o setor centro-sul do país apresenta elevado risco de ocorrência do fenômeno, sendo que os estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são particularmente mais afetados.

Palavras chave: Tornados, Trombas-d'água, Desastres Naturais



**UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCES**

**TORNADOES AND WATERSPOUTS IN BRAZIL: DEVELOPMENT OF A MODEL
AND PROPOSAL OF A SCALE FOR EVALUATION OF DAMAGES**

ABSTRACT

PhD Thesis

Daniel Henrique Candido

The number of tornadoes and waterspouts recorded in Brazil has increased substantially in recent years. Anthropogenic alterations have key role in the increase of such occurrences, due to more heat being available, which in turn increases the atmospheric instability. But on the other hand, it should also be considered that the urban sprawl as well as an increase in population may result in such phenomena being observed more frequently. Thus, this study seeks to elucidate the spatial distribution of the phenomenon in Brazil by developing a model capable of using climatological and geomorphological parameters to capture the risk of occurrence of tornadoes in different parts of Brazil. This model was developed by applying geoprocessing techniques, adopting GIS tools for this task. The work also presents a list of all events recorded in the national territory. Furthermore, a new classification of events is proposed, since the current methods ignore the particularities of the existing structures in the country, necessitating the adoption of a scale more suitable to the Brazilian reality. Results show that the south-central sector of the country presents a high risk of occurrence of these phenomena, with the states of São Paulo, Santa Catarina and Rio Grande do Sul in particular being more affected.

Keywords: Tornadoes, Waterspouts, Natural Disasters

ÍNDICE

1 - Introdução.....	1
1.1 - Formação das tempestades	6
1.1.1 Formação de células convectivas.....	7
1.1.2 Mecanismo envolvido na eletrificação das nuvens e queda de raios	9
1.2 - Origem dos tornados.....	11
1.4 Fenômenos meteorológicos incomuns relacionados à presença de supercélulas convectivas	19
1.5 A estrutura dos tornados	21
2 – Objetivo e Hipótese.....	25
3 - Revisão Bibliográfica	27
4 - Material e Métodos.....	35
4.1 Coleta e tratamento dos dados	36
4.2 Elaboração da Escala Brasileira de Ventos	55
5 - Ocorrências de tornados no Brasil.....	61
5.1 Eventos comprovadamente registrados no país.....	64
6. Escalas de medição dos ventos e danos decorrentes	78
7 - Análise do modelo de risco de ocorrência de tornados	95
7.1 Estado de São Paulo	97
7.2 Estado do Rio Grande do Sul	103
7.3 Estado de Santa Catarina	107
7.4 Estado do Paraná	111
7.5 Estado do Rio de Janeiro	114
7.6 Estado de Minas Gerais	116
7.7 Estado de Mato Grosso do Sul	119
7.8 Estado de Goiás e Distrito Federal.....	122
7.9 Estado do Espírito Santo	124
8 - Análise de alguns episódios selecionados.....	127
8.1 Ribeirão Preto – 14 de maio de 19-94.....	127
8.2 Ilha Solteira – 19 de outubro de 2009	1368
8.3 São Carlos, SP – 20 de dezembro de 2009.....	145
9 - Considerações Finais.....	153
10 - Referências Bibliográficas	157

LISTA DE FIGURAS

• Capítulo 1

Figura 1.1: Concentração média anual da ocorrência de descargas elétricas no Planeta e localização de algumas culturas que apresentam divindades relacionadas à ocorrência de raios.....	5
Figura 1.2: Nuvem do tipo <i>towering cumulus</i> (TCu).....	8
Figura 1.3: Configuração de supercélula deflagradora de tornados no hemisfério sul do planeta	13
Figura 1.4: Frente de rajada fotografada no estado norte-americano da Flórida.....	14
Figura 1.5: Nuvens <i>mammatus</i>	15
Figura 1.6: <i>Mammatus</i> realçadas pelo pôr do sol.....	16

• Capítulo 3

Figura 3.1: Frequência média anual de ocorrência de raios na Terra.....	30
Figura 3.2: Regiões propícias à ocorrência de tornados.....	31
Figura 3.3: Localização das principais áreas agrícolas do planeta e distribuição espacial dos tornados catalogados pela Universidade de Chicago, entre 1930 a 1985.....	31
Figura 3.4: Risco mundial de ocorrência de tornados.....	32

• Capítulo 4

Figura 4.1: Distribuição espacial dos tornados considerados neste estudo.....	37
Figura 4.2: Captura de tela do software ArcGis, exibindo os parâmetros adotados na interpolação realizada.....	38
Figura 4.3: Interpolação dos dados referentes aos registros de tornados em território brasileiro.....	39
Figura 4.4: Período de retorno dos tornados, desconsiderando fatores relacionados à geomorfologia.....	40
Figura 4.5: Área considerada para elaboração do modelo probabilístico.....	42
Figura 4.6: Densidade demográfica do setor modelado e ocorrências de tornados.....	43
Figura 4.7: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios brasileiros.....	44
Figura 4.8: Altimetria da área modelada.....	46
Figura 4.9: Declividades e valores adotados na ponderação.....	48
Figura 4.10: Valores resultantes da divisão entre declividade ponderada e período de retorno em anos.....	49
Figura 4.11: Faixas de altitudes consideradas e valores adotados na ponderação.....	51
Figura 4.12: Valores da divisão entre a altitude ponderada e o período de retorno em anos.....	52
Figura 4.13: Junção dos mapas relativos à influência da altimetria e declividade.....	53
Figura 4.14: Grandes corpos hídricos existentes no setor e sua área de influência.....	55
Figura 4.15: Mapa envolvendo a influência da altimetria, declividade e hidrografia para a ocorrência de tornados.....	56
Figura 4.16: Saída do modelo exibindo a probabilidade anual de ocorrência de tornados.....	59

• Capítulo 5

Figura 5.1: Comparação entre os totais de aparelhos de telefonia celular existentes no Brasil (segundo a ANATEL) e o número de tornados registrados.....	63
Figura 5.2: Comparação entre os totais de aparelhos de telefonia celular existentes no Brasil (segundo a ANATEL) e a linha de tendência referente ao total de tornados registrados a cada ano	63
Figura 5.3: Distribuição mensal dos episódios de tornado registrados no Brasil no período de 1877 a 2010	67
Figura 5.4: Distribuição mensal dos tornados registrados no estado de São Paulo.....	68

Figura 5.5: Distribuição mensal dos tornados registrados na região Sul do Brasil.....	68
Figura 5.6: Esquema simplificado ilustrando o mecanismo causador dos <i>Downbursts</i>	70
Figura 5.7: Polígono dos tornados da América do Sul.....	72
Figura 5.8: Distribuição espacial dos tornados registrados no período entre 1950 e 2008, no estado de São Paulo.....	74
Figura 5.9: Imagem de radar com cortes transversais exibindo intensificação do sistema após passagem pelo rio Tietê.....	76
Figura 5.10: Escala de reflectividade adotada para a exibição dos dados de radares apresentados neste estudo.....	77
Figura 5.11: Trajetória do sistema ocorrido entre os dias 20 e 21 de maio de 2004, conforme evidenciado pelo software TITAN.....	77

• Capítulo 7

Figura 7.1: Risco de ocorrência de tornados no Brasil Meridional, de acordo com o modelo proposto.....	96
Figura 7.2: Risco de ocorrência de tornados no estado de São Paulo.....	98
Figura 7.3: Risco de ocorrência de tornados na região do Vale do Paraíba e Litoral Norte de SP.....	100
Figura 7.4: Densidade de ocorrência de raios em porção densamente urbanizada do estado de SP.....	100
Figura 7.5: Risco de ocorrência de tornados nas proximidades da Cidade de Campinas, SP.....	102
Figura 7.6: Risco de ocorrência de tornados no estado do Rio Grande do Sul.....	105
Figura 7.7: Risco de ocorrência de tornados nas cercanias de Porto Alegre, RS.....	106
Figura 7.8: Risco de ocorrência de tornados na região da Serra Gaúcha.....	107
Figura 7.9: Risco de ocorrência de tornados no estado de Santa Catarina.....	109
Figura 7.10: Risco de ocorrência de tornados no litoral sul do estado de Santa Catarina.....	110
Figura 7.11: Risco de ocorrência de tornados no estado do Paraná.....	112
Figura 7.12: Risco de ocorrência de tornados no litoral do estado do Paraná.....	113
Figura 7.13: Risco de ocorrência de tornados no estado do Rio de Janeiro.....	115
Figura 7.14: Risco de ocorrência de tornados na região da Baixada Fluminense.....	116
Figura 7.15: Risco de ocorrência de tornados no estado de Minas Gerais.....	118
Figura 7.16: Risco de ocorrência de tornados na região do Triângulo Mineiro.....	116
Figura 7.17: Risco de ocorrência de tornados no estado do Mato Grosso do Sul.....	120
Figura 7.18: Risco de ocorrência de tornados no extremo sul do estado do Mato Grosso do Sul.....	121
Figura 7.19: Risco de ocorrência de tornados no estado de Goiás e Distrito Federal.....	123
Figura 7.20: Risco de ocorrência de tornados nas cercanias do Distrito Federal.....	124
Figura 7.21: Risco de ocorrência de tornados no estado do Espírito Santo.....	125

• Capítulo 8

Figura 8.1: Carta sinótica do dia 13 de maio de 1994, 12h GMT.....	128
Figura 8.2: Carta sinótica do dia 14 de maio de 1994, 12h GMT.....	129
Figura 8.3: Comportamento das células convectivas geradas sobre o estado de São Paulo no dia 14 de maio de 1994.....	130
Figura 8.4: CAPPI 3,0 km do radar do IPMet em Bauru de 14 de Maio de 1994 as 18h02 e 19h02.....	132
Figura 8.5: CAPPI 3,0 km do Radar do IPMet de Bauru de 14 de Maio de 1994 as 22h02 e 23h02.....	133
Figura 8.6: Radar do IPMET de Bauru de 14 de Maio de 1994 as 23h32, com destaque para o sistema que originou o tornado.....	133
Figura 8.7: Corte da célula exibindo elevada reflectividade no interior da nuvem e inclinação do sistema.....	134

Figura 8.8: Riscos de ocorrência de tornado e área atingida pela supercélula.....	135
Figura 8.9: Imagem capturada à partir de registro do evento disponibilizado no site YouTube.....	136
Figura 8.10: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 02h00 (GMT).....	137
Figura 8.11: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 06h00 (GMT).....	137
Figura 8.12: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 08h00 (GMT).....	138
Figura 8.13: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 10h00 (GMT).....	138
Figura 8.14: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 12h00 (GMT).....	139
Figura 8.15: Carta sinótica do dia 19 de outubro de 2009, 0h00 GMT.....	140
Figura 8.16: Imagens obtidas pelo Radar de Presidente Prudente, entre as 13h31 e 15h31 de 19 de outubro de 2009. (Fonte: IPMet).....	142
Figura 8.17: Ventos capturados pelo Radar de Presidente Prudente.....	143
Figura 8.18: Ventos em direções divergentes capturados pelo radar.....	144
Figura 8.19: Perfil vertical do sistema ocorrido em Ilha Solteira, no dia 19 de outubro de 2009.....	145
Figura 8.20: Perfil vertical do sistema ocorrido em Ilha Solteira, no dia 19 de outubro de 2009, exibindo intensificação induzida pela calha do rio Paraná.....	137
Figura 8.21: Carta sinótica do dia 20 de dezembro de 2009, 12h00 GMT.....	147
Figura 8.22: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 20 de dezembro de 2009 as 19h30 (GMT).....	148
Figura 8.23: Imagem vapor d'água do satélite GOES referente ao dia 20 de dezembro de 2009, 19h30 (GMT). Em destaque, faixas de transporte de umidade.....	148
Figura 8.24: Deslocamento da célula de tempestade, conforme imagens obtidas pelo radar de Bauru, entre as 16h31 e 17h33 de 20 de dezembro de 2009.	149
Figura 8.25: Divergências nas direções dos ventos existentes no interior das nuvens.....	150
Figura 8.26: Divergências nas direções dos ventos existentes no interior das nuvens.....	151
Figura 8.27: Divergências na direção e velocidades dos ventos no interior do sistema. Em destaque, forte cisalhamento capturado pelo radar	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Escala de ventos de Beaufort.....	78
Tabela 6.2: Escala Fujita.....	80
Tabela 6.3: Escala Torro.....	81
Tabela 6.4: Proposta de uma escala de aferição da intensidade dos ventos relacionados à tempestades ocorridas no Brasil (EBRAV – Escala Brasileira de Ventos).....	86
Tabela 6.5: Comparativo entre a EBRAV e as demais escalas de medição de vento citadas neste estudo.....	87
Tabela 6.6: Valores limiares de vento para emissão de alertas adotados pelos órgãos meteorológicos do Canadá.....	92
Tabela 6.7: Limiares de velocidades de rajadas de vento propostos para algumas feições existentes em território brasileiro.....	93

- **ANEXO I**

Divindades relacionadas às condições climáticas e meteorológicas

- **ANEXO II**

Tornados, trombas-d'água, gustnados e nuvens funis considerados nesse estudo, com as respectivas

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS UTILIZADAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
Cb	Cumulonimbos
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
Cemaden	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de desastres naturais
EBRAV	Escala Brasileira de Ventos
EUA	Estados Unidos Da América
F	Escala Fujita
IA	Influência da altimetria
IADH	Influência da altimetria, declividade e hidrografia
ICH	Influência dos corpos hídricos
ID	Influência da declividade
IPMet	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
LECLIG	Laboratório de Estudos Climáticos do Instituto de Geociência
MADH	Mapa envolvendo a influência da altimetria, declividade e hidrografia para a ocorrência de tornados
NASA	<i>National Aeronautics Space Administration</i>
NEE	Número de eventos estimados para o setor
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PC	Período considerado
PR	Período de retorno
PRmin	Período de retorno mínimo
PTAS	Polígono dos Tornados da América do Sul
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
T	Escala Torro
TCu	<i>Towering Cumulus</i>
TORRO	<i>Tornado and Storm Research Organization</i>
UCAR	<i>University Corporation for Atmospheric Research</i>
UF	Unidade da Federação
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VMax	Valor máximo
Vr	Valores de risco

1 - Introdução

Os eventos atmosféricos, especialmente os muito intensos, são capazes de estimular ampla gama dos sentidos humanos, sendo detectados de maneiras distintas pelos sistemas visual, auditivo, tátil e até mesmo olfativo. Com isso, a humanidade sempre buscou explicações para essas ocorrências. Esclarecimentos sobre a origem dos fenômenos atmosféricos, que estão entre as mais energéticas manifestações da natureza, são recorrentes nos mitos de distintas civilizações, em muitos casos com grande similaridade. Mesmo as principais religiões incorporaram inúmeros fenômenos atmosféricos em seus sistemas de crenças, em uma tentativa de busca da compreensão das causalidades das intempéries, sendo o dilúvio, provavelmente, o mais recorrente (BRYANT, 1991; VAN MOLLE, 1993; BURROUGHS, 1997). Nunes (1999) lembra que em inúmeras sociedades decisões políticas importantes não eram tomadas sem antes consultar deuses e oráculos, invariavelmente associados às forças da natureza.

Ao longo da história, as possíveis explicações para os fenômenos climático-meteorológicos variaram de acordo com o grau de desenvolvimento técnico-científico e aspectos culturais de cada comunidade. As primeiras sociedades desenvolveram explicações de cunho mitológico e religioso em uma tentativa de busca da compreensão das causalidades das intempéries. Diversos autores, dentre os quais Wainwrigth (1963), Willis (1993), Turner e Coulter (2000), Lurker (2004) e Jordan (2004), relatam distintas culturas que apresentam entidades mitológicas ligadas à formação e/ou ocorrência de tempestades (ver Anexo I).

Uma das civilizações que merecem destaque pelo uso de divindades na explicação de fenômenos climático-meteorológicos é a egípcia, que atribuía ao deus Seth o título de divindade dos ventos, tempestades e raios (WAINWRIGH, 1963; LURKER, 2004). Esse deus era, por vezes, definido como “o senhor dos céus do norte”, o qual apresentava total controle sobre os eventos atmosféricos (JORDAN, 2004). Essa referência ao norte é interessante, uma vez que é dessa direção que provêm os principais sistemas frontais que atingem as terras egípcias em certos períodos do ano, o que mostra uma íntima ligação entre a mitologia e os elementos climático-meteorológicos observados empiricamente pela população da época. Salienta-se também que diversos estudos indicam que o clima egípcio era mais chuvoso no período das dinastias dos faraós, em relação aos valores de precipitação registrados atualmente (HAYES, 1964; BRYANT,

1997; TALBOT, 1980, NICOL, 2001), o que deixa claro uma intencionalidade na atribuição desse deus como detentor de poderes sobre as tormentas.

Já a mitologia grega atribuía o poder de controle das intempéries a Zeus, o supremo líder do panteão. Segundo a crença, esse deus era o responsável pela formação de todos os fenômenos atmosféricos, tendo a capacidade de agrupar e dissipar as nuvens, comandar as tempestades e criar relâmpagos e trovões, os quais lançava à Terra conforme sua vontade. Era o responsável pela distribuição das chuvas, a qual derramava ao solo com a função de fecundar a terra (LURKER, 2004).

A escolha de Zeus, o mais importante deus do Olimpo para comandar as intempéries mostra que, assim como a população egípcia, os gregos também tinham enorme fascínio pelas tempestades. O poder de agrupar e dissipar as nuvens atribuído a esse deus, mostra que esse povo observava com admiração a rápida velocidade com que os sistemas atmosféricos podem sofrer alterações. Mesmo com um parco conhecimento científico, esse antigo povo percebeu que a dinâmica envolvida na formação das chuvas era bastante complexa. Tão complexa que não podia ser atribuída a nenhuma outra entidade, exceto Zeus.

Alem disso, os gregos nutriam a crença de que diversas divindades relacionadas aos ventos se reuniam em um local chamado *Anemoi*¹ (JORDAN, 2004). Dentre as entidades divinas ali presentes destacavam-se: *Boreas*, o deus responsável pelos ventos frios do norte, responsável por trazer o domínio do inverno; *Notus*, que enviava os ventos quentes e úmidos do sul, comumente presentes no verão, de modo que, este deus era relacionado à ocorrência de tempestades severas; *Eurus* que representava o indesejado vento leste, que trazia chuvas acompanhada de tempo abafado e *Zephyrus*, que trazia o vento oeste que começava a soprar no fim do inverno, sendo assim considerado como um “mensageiro da primavera” e celebrado por encerrar com o período mais frio do ano.

Os povos nórdicos também apresentavam rica mitologia, onde conferiam a *Thor* o título de defensor do panteão. Esta divindade, também chamada de *Donner* ou *Donar* por alguns povos da região, era amplamente cultuada pelos *vikings* e considerado como deus do trovão, dos raios, do céu e das chuvas. *Thor* era considerado o Príncipe dos Deuses, uma vez que presidia e

¹ Foi desse termo que originou a palavra anemômetro - nome dado ao instrumento utilizado para medição das velocidades do vento.

administrava o céu, o ar, o vento, as chuvas e as tempestades (LURKER, 2004). Também era considerado o responsável por combater doenças e a fome na Terra, estando associado aos atos de resistência sobre-humana. Na maioria das línguas germânicas, a palavra que designa a quinta-feira tem sua etimologia ligada à *Thor*² uma vez que esse era o dia consagrado à esse deus, o que denota sua importância (JORDAN, 2004). Outro deus nórdico responsabilizado pela ocorrência de tempestades era *Odin*, pai de *Thor*. Segundo a lenda ele era capaz de organizar tormentas por meio do movimento de suas mãos.

Assim, a mitologia nórdica consiste em mais um exemplo da importância que os povos da antiguidade davam às formações tempestuosas, uma vez que *Odin* era o líder do panteão e *Thor* o mais forte dentre todos os deuses presentes nessa cultura, demonstrando que, embora não tivessem pleno conhecimento dos mecanismos envolvidos na origem de tais intempéries, os nórdicos tinham a ciência de que intensos poderes estavam envolvidos em sua formação.

Na América pré-colombiana, tal aspecto também esteve presente. A cultura Maia idolatrava *Gucumatz*, considerando-o como deus das tempestades. *Huracan*, um dos principais deuses desse povo, também era vinculado à presença de chuvas e fortes ventos. Além disso, os maias consideravam que este deus esteve envolvido na ocorrência de um dilúvio de proporção planetária ocorrido em um passado remoto (JORDAN, 2004).

Assim como nos exemplos anteriores, um dos principais deuses da cultura em questão é colocado como o principal responsável pelo desenvolvimento de episódios de tempo severo. Destaca-se que a palavra espanhola para furacão (*huracán*), tem sua origem nessa mitologia, de onde também deriva o termo em português (furacão), em inglês (*hurricane*), em francês (*ouragan*), em italiano (*uragano*), em alemão (*hurrikan*); além de diversos outros idiomas.

O povo *Navaho*, que originalmente habitava as terras atualmente ocupadas pelos estados do sudoeste dos Estados Unidos, também atribuía aos deuses a ocorrência das intempéries, tendo inclusive desenvolvido cerimoniais para atrair ou afastar as chuvas, fazendo uso de oferendas à determinadas divindades como *Tienoltsodi* (JORDAN, 2004), que seria o

² Dentre os quais pode-se destacar os termos *Donnerstag*, em alemão; *Torsdag*, em norueguês, dinamarquês e sueco; *Donderdag*, em holandês e africâner; *Torstai*, em finlandês e *Thursday*, em inglês.

responsável pela distribuição da água doce no planeta, controlando assim a quantidade de chuva precipitada em diferentes pontos da Terra.

O povo indígena Tupi-Guarani que, originalmente, habitava boa parte do território brasileiro, também tinha suas crenças em determinadas divindades relacionadas às intempéries (LURKER, 2004): *Nhanderuvucu*, que era o deus supremo tinha o poder de se manifestar como *Tupã*; um mensageiro que surgia na forma de um trovão. Esse deus também era o responsável pelas ocorrências meteorológicas em geral. Havia ainda a deusa *Iara*, também conhecida como “Mãe das Águas”, a qual está relacionada à formação de névoa e nevoeiros e ao poder do fluxo de água dos cursos d’água. Acreditava-se que quando um índio desaparecia nas correntezas de um rio, este teria sido levado por tal entidade.

Tal aspecto mostra que desde os primórdios da civilização houve a preocupação de se explicar de onde vinham tais manifestações tão energéticas. Portanto, é possível afirmar que os povos que habitavam as áreas de atmosfera mais turbulenta, apresentavam divindades relacionadas à ocorrência de tempo severo, tais como ventos e chuvas fortes, raios, trovões e tempestades. Não obstante, há de se considerar que a civilização da África e Eurásia são mais antigas que a americana, o que explica a menor quantidade de divindades relacionadas aos elementos do clima presentes no Novo Mundo.

Sociedades politeístas que habitavam áreas assoladas por prolongados períodos de estiagem, como os Bunyoro (Uganda), Maias (Península de Yucatan), e Chineses (China Central), apresentavam recorrentes deuses relacionados às secas. Por sua vez, movimentos religiosos seguidos por povos que habitavam áreas cujo clima proporciona ocorrência de inverno rigoroso, como os Kaffir (montanhas do Afeganistão), Budistas (Tibet), Xintoísta (Japão), Yakut (Sibéria), Nórdicos (norte da Europa) e Celtas (ilhas britânicas) citavam deuses relacionados à ocorrência de frio, nevoeiro, formação de geadas e queda de neve.

Seguindo essa tendência, observa-se a existência de divindades relacionadas à ocorrência de tempo severo nas populações fixadas nos setores de climas mais transicionais, naturalmente mais suscetíveis a estas ocorrências ou ainda nos povos que habitavam locais sob influência de sistemas atmosféricos capazes de provocar fortes chuvas sazonais. O mesmo aspecto é observado nos agrupamentos humanos presentes nas áreas mais afetadas pelas ocorrências de tornados, tempestades tropicais e extra-tropicais. Tal aspecto explicaria a presença

de ícones similarmente relacionados ao clima em culturas tão distintas como a Xintoísta (Japão), Yoruba (Nigéria), Lovedu (África do Sul), Hindu (Índia), Grega (Império Grego), Romana (Império Romano), Tupi-Guarani (Brasil), Sioux (EUA), Navaho (EUA), Maia (México), Huichol (México) e Asteca (América Central), entre outras. Ainda que mudanças climáticas tenham ocorrido ao longo do tempo histórico, a observação do mapa exibido na Figura 1.1, permite notar certa correlação entre as áreas com maiores incidências de formação de raios (o que denota ocorrência frequente de tempestades) e a localização de algumas destas sociedades.

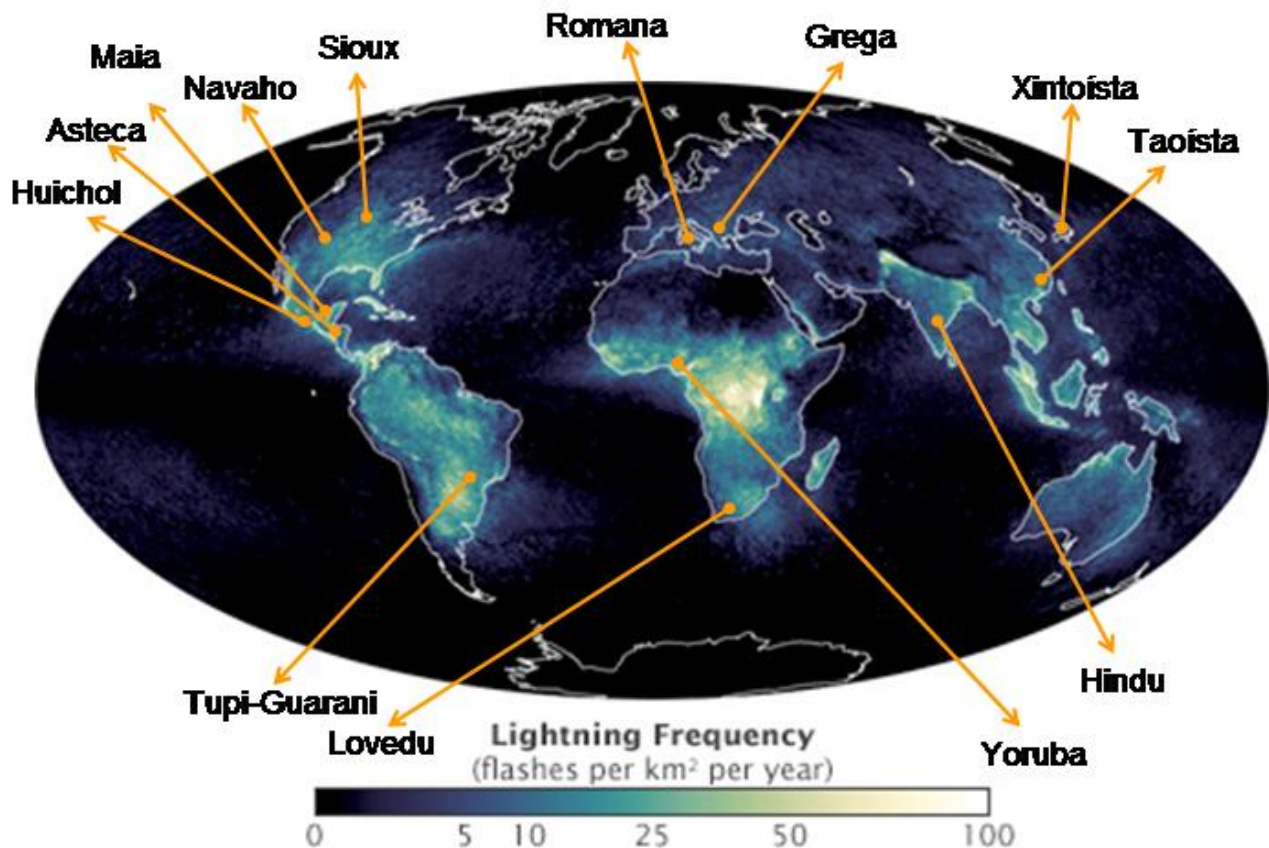


Figura 1.1: Concentração média anual da ocorrência de descargas elétricas no planeta e localização de algumas culturas que apresentam divindades relacionadas à ocorrência de raios (adaptado de earthobservatory.nasa.gov)

Assim, é possível a constatação de que desde tempos imemoriais a sociedade humana vem registrando eventos atmosféricos extremos, dentre os quais é possível destacar a ocorrência de tempestades. Em alguns casos nota-se menções específicas à formação de tornados. A existência de deuses relacionados às intempéries em culturas pré-colombianas instaladas em setores que, posteriormente, tornariam-se parte do território brasileiro, evidencia que tempestades severas não eram incomuns, ocorrendo com certa frequência no local.

O fato de existirem indícios de ocorrências antes mesmo da colonização, certifica que as tempestades severas sempre ocorreram no Brasil, independentemente da existência ou não de urbanização. Contudo, como postulado ao longo deste trabalho, conjectura-se que a urbanização exerce papel preponderante, intensificando os sistemas de tempestade que, naturalmente, já atingiriam as terras pertencentes ao país.

1.1 - Formação das tempestades

Com a evolução da ciência, o mecanismo que deflagra as tempestades passou a ser desvendado, embora algumas questões ainda continuem parcialmente sem respostas. Desse modo, o que era explicado pela atuação de determinadas divindades, passou a ser compreendido como parte de um sistema complexo, onde a intempérie em si é apenas uma parte de todo processo envolvido em sua formação.

Entre os muitos aspectos envolvidos na formação das tempestades, destaca-se a necessidade da presença de umidade e energia, na forma de calor latente. Tal processo envolve a incidência de radiação solar, que provoca aquecimento, acelerando a evaporação e a convecção que, por vezes, origina aglomerados de nuvens bastante espessas que se agrupam em sistemas atmosféricos, denominados células convectivas. Também é imperativo levar em consideração que quanto maior a temperatura, maior a capacidade da atmosfera reter água em seu estado gasoso; com isso, regiões mais quentes tendem a apresentar maiores valores de umidade absoluta do ar, favorecendo a formação de nuvens mais desenvolvidas quando atingidas as condições de saturação (LUTGENS e TARBUCK, 1998).

O contraste entre ar quente e frio é capaz de intensificar a formação de nuvens de tempestade; por isso não é incomum observar a formação de episódios de ventos intensos e precipitações elevadas nos sistemas pré-frontais, sobretudo quando se trata do avanço de uma

frente fria. Muitas vezes esse contraste também favorece a intensificação da velocidade das correntes de convecção, possibilitando a formação de grandes células convectivas. O entendimento da dinâmica envolvida no surgimento de tais células é importante, pois elas estão intimamente ligadas à ocorrência de tornados e registro de micro-explosões atmosféricas (*downbursts*). Do mesmo modo, é mister o conhecimento da dinâmica envolvida na eletrificação das nuvens, uma vez que a dissipação da carga elétrica acumulada se dá na forma de raios, cujas ocorrências exercem impacto direto, causando consequências deletérias como incêndios, quedas de árvores, falta de energia elétrica, danos a equipamentos e até mesmo morte de pessoas e animais (CEPAGRI, 2010).

1.1.1 Formação de células convectivas

As nuvens do tipo *cumulus* são formadas pelo aquecimento irregular da superfície da Terra, o que faz com que parcelas de ar se elevem devido à convecção (ATKINSON e GADD, 1986; AYOADE, 1996). Como os materiais que compõem a superfície do Planeta apresentam diferentes valores de albedo, os totais de absorção e reflexão de energia são diferenciados, variando de acordo com as capacidades térmicas de cada material. Essa distinção entre as características termais faz com que cada setor apresente taxas desiguais em seu aquecimento/resfriamento e, conseqüentemente, diferenciados ritmos de trocas de energia, o que implica no surgimento de distintas parcelas de ar, cada uma com características térmicas inerentes ao material que compõe a superfície adjacente.

Quando apresentam temperatura superior ao ar em seu entorno, tal parcela sofre ascensão. Cada um desses agrupamentos de ar movimentando verticalmente é capaz de desenvolver nuvens do tipo *cumulus*, recebendo então a denominação de célula convectiva. Em decorrência da presença de movimentos convectivos, elas assumem forma colunar característica e recebem a denominação de *towering cumulus* ou *cumulus congestus* (Figura 1.2), apresentando bojo arredondado, seguido por seção central ligeiramente estrangulada, alargando-se novamente em seu topo em aspectos que se assemelha a um violão. Já as células com desenvolvimento mais expressivo apresentam o topo mais alongado (PRETOR-PINNEY, 2008), em formação que lembra o desenho de uma bigorna, recebendo o nome de cumulonimbos (Cb).



Figura 1.2: Nuvem do tipo *towering cumulus* (TCu) Fonte: www.comfsm.fm/~dleeling/weather/

As cumulonimbos se formam em condições de intensa instabilidade atmosférica, apresentando assim estrutura bastante complexa (ALLABY, 2004). Devido às temperaturas extremamente reduzidas nas altitudes mais elevadas, coexistem minúsculas gotículas supergeladas e vapor de água; no primeiro caso, elas permanecem nesse estado, só se alterando caso sofra alguma perturbação que leve a sua solidificação. No segundo, é possível a ocorrência de sublimação, passando diretamente do estado gasoso para o sólido, na forma de pequenos cristais de gelo. A movimentação faz com que esses cristais sofram colisões e se unam uns aos outros, formando aglomerados de gelo na forma de flocos de neve (SCHAEFER, 1948; DAY, 2006). Em decorrência do aumento no peso, os cristais maiores tendem a apresentar concentrações mais intensas conforme a altitude se reduz. No entanto, se ainda forem leves o suficiente, podem ser carregados novamente para o alto pelas correntes ascendentes vindas do solo, coletando ainda mais gelo em sua trajetória. Esse processo continua até o momento em que o peso do gelo seja suficientemente elevado para que este supere a resistência imposta pelo fluxo de ar em sentido oposto e, finalmente, se precipite. A instabilidade atmosférica envolvida faz com

que as cumulonimbos sejam responsáveis pela ocorrência maior parte das descargas elétricas ocorridas no planeta e, quando a instabilidade é muito intensa, pode ocorrer a formação de funis de tornados (DAY, 2006).

As temperaturas mais elevadas da parte mais baixa da nuvem faz com que a água permaneça em estado líquido nesse local, na forma de uma fina névoa. Ao passarem por essas parcelas de ar mais aquecido, as partículas de gelo que precipitam das partes mais elevadas da nuvem se fundem e coletam mais gotículas de água no caminho, ganhando intensidade antes de, finalmente, chegarem ao solo. Quando algumas dessas partículas de gelo formam aglomerados com dimensões grandes o suficiente para atingir o solo sem se fundirem totalmente, tem-se a ocorrência de precipitação de aglomerados de partículas de água congelada - um fenômeno conhecido como queda de granizo.

O elevado desenvolvimento vertical das nuvens faz com que surjam condições propícias para a separação de cargas elétricas no interior do sistema, o que provoca a formação de raios. Assim, a presença de descargas elétricas é um bom indicativo da presença de células convectivas com possibilidade de geração de fenômenos causadores de ventos intensos, dentre os quais se destacam a formação de *downbursts* e tornados.

1.1.2 Mecanismo envolvido na eletrificação das nuvens e queda de raios

A grande quantidade de energia envolvida na formação dos sistemas convectivos faz com que as nuvens originadas apresentem elevado potencial de formação de raios. Estima-se que diariamente ocorram 8 milhões de raios em toda a superfície do planeta (SILVA et al., 1999), o que corresponde a uma média aproximada de 93 ocorrências a cada segundo.

Essas descargas elétricas acontecem em função da existência de diferentes cargas dentro das nuvens, o que origina uma corrente que se desloca entre áreas com cargas elétricas opostas (PRETOR-PINNEY, 2008). Em tempestades com presença de nuvens do tipo Cumulonimbos (Cb), usualmente há aglomeração de partículas carregadas positivamente no topo da célula e, em oposição, observa-se a presença de carga predominantemente negativa próximo à base. Por razões ainda não totalmente esclarecidas, há uma pequena área com carga positiva na base do sistema (ALLABY, 2004).

A separação das cargas elétricas dentro dessas nuvens decorre de vários fatores: o grande desenvolvimento vertical desses sistemas tem papel relevante para o surgimento desse diferencial (SILVEIRA, 2003; FARIA, 2003); uma vez que a ionosfera se apresenta carregada positivamente e, sob bom tempo, a superfície da Terra possui carga elétrica negativa, há tendência natural das gotículas de água apresentarem cargas positivas em sua base, e negativas em seu topo. Ao dividirem-se devido a colisões entre si, essas cargas podem ser separadas no interior da nuvem.

Todavia, o mecanismo mais importante para que ocorra a diferenciação das cargas entre a base e o topo das nuvens ocorre quando a água sofre congelamento em função de um rápido resfriamento, formando pequenas partículas de gelo na parte externa e água supergelada³ em seu interior. Quando isso ocorre, os íons de hidrogênio (H⁺) tendem a se agrupar na concha sólida formada pelo gelo agrupado na superfície do granizo enquanto as hidroxilas (íons OH⁻) são acumuladas no interior líquido. Quando essa porção líquida confinada no interior do granizo finalmente se congela, ela sofre expansão, quebrando o invólucro que a envolvia. Esse processo libera minúsculas partículas de gelo carregadas positivamente, em decorrência do acúmulo de íons H⁺. Devido ao seu reduzido tamanho e peso, essas partículas são levadas pelos ventos ascendentes até o topo das nuvens, enquanto que o gelo contido no centro do granizo, mais pesado, desloca-se em direção à base, fazendo com que seja criada diferença de cargas elétricas dentro da nuvem (PRETOR-PINNEY, 2008).

Os raios podem ocorrer tanto em função da diferença de potencial interno da nuvem, bem como entre sua base e o solo. Tendo em vista que o ar pode ser considerado bom isolante elétrico, essas cargas não são capazes de se neutralizarem por meio da criação de um fluxo elétrico. Assim, elas continuam acumulando-se até que haja diferencial intenso o suficiente para que a camada isolante de ar seja rompida; forma-se então uma faísca elétrica, conhecida como relâmpago, que aquece o ar de forma rápida e intensa⁴, fazendo com que ele sofra explosão em função da dilatação instantânea promovida por esse calor, dando origem ao som do trovão, que sempre acompanha o clarão produzido pela descarga elétrica.

³ A formação de água supergelada ocorre quando a água permanece em estado líquido, apesar de estar abaixo de sua temperatura de congelamento (0°C)

⁴ Estima-se que a temperatura do ar na área atingida pela descarga elétrica de um raio varie entre 7.800°C a 33.000°C (ALLABY, 2004)

Na verdade, os relâmpagos visualizados nas tempestades são compostos por diversas descargas (*strokes*) separadas por intervalos de aproximadamente 50 milissegundos (RAKOV e UMAN, 2003; RAKOV et al., 2005). A partir de sua ignição, o raio costuma se propagar de forma ramificada, angulosa e irregular, uma vez que procura seguir os locais com menores resistências à transmissão dos elétrons. A energia dessa primeira descarga, chamada de raio líder (*dart leader*), ioniza o ar em uma faixa cujo diâmetro varia entre 20 centímetros a 10 metros e, como o ar ionizado é um bom condutor elétrico, forma-se uma trajetória que é seguida pelas demais descargas (RAKOV e UMAN, 2003; ALLABY, 2004; RAKOV et al., 2005).

Ao se aproximar da superfície, o raio-líder atrai elétrons provenientes do solo, que têm carga oposta, criando uma corrente do solo em direção à parte mais baixa desse raio, que pode ser chamada de descarga de retorno (SILVEIRA, 2003; FARIA, 2003; RAKOV e UMAN, 2003). Ao encontrar com o raio-líder, a energia contida na descarga de retorno provoca luminescência na porção ionizada do ar, dando origem ao brilho característico, e permite que os elétrons sejam transportados, neutralizando a carga na base da nuvem. Porém, se ainda persistir diferença no potencial elétrico em uma parte mais elevada dessa nuvem, é produzida nova faísca que seguirá em direção à mesma trilha de ar ionizado, sendo então atingida por outra descarga de retorno (RAKOV e UMAN, 2003). Esse processo de formação de raios secundários continua até que a carga da nuvem seja completamente neutralizada (ALLABY, 2004).

Dependendo das características das cargas elétricas acumuladas na nuvem e no solo, o mesmo mecanismo aqui descrito também pode agir exclusivamente no interior da nuvem, dando origem a raios intranuvem, que não atingem diretamente o solo (FARIA, 2003; RAKOV e UMAN, 2003).

1.2 - Origem dos tornados

Qualquer formação de origem convectiva ou frontal que apresente condições propícias ao desenvolvimento de tornados é chamada de tempestade tornádica (ALLABY, 2004). Tais eventos normalmente são decorrentes de nuvens de elevado desenvolvimento vertical e intensa turbulência interna (FUJITA e PEARSON, 1973; FUJITA 1981).

A maior parte dos tornados tem origem em grandes nuvens de natureza convectiva, denominadas supercélulas⁵ (FUJITA e PEARSON, 1973). Essas formações consistem em células convectivas de amplas dimensões, chegando, em alguns casos, a atingir diâmetros superiores a 60 km (GRAZULIS, 2001). A característica mais marcante desses sistemas está em seu notável desenvolvimento vertical (Figura 1.3), sendo que os topos das nuvens mais robustas podem atingir altitudes superiores a quinze mil metros, penetrando a tropopausa e a baixa estratosfera.

Os tornados são formados pela redução súbita na pressão em certos pontos do sistema convectivo. Tal alteração na pressão está relacionada ao grande desenvolvimento vertical desse sistema, que é capaz de gerar intensa turbulência no interior das nuvens. O resfriamento súbito de alguns setores da célula convectiva também tem papel fundamental na redução da pressão atmosférica. Com isso, o ar presente no entorno é atraído e passa a girar ao redor desse núcleo onde a pressão é inferior, adquirindo a forma de cone, típica desse fenômeno meteorológico. Antes de tocar o solo, essa formação recebe o nome de nuvem funil. Após o contato com o chão, considera-se o evento como um tornado.

As trombas-d'água (*waterspouts*) consistem em tornados formados sobre grandes corpos d'água. Devido a grande disponibilidade de energia e umidade em tais locais, estas formações podem surgir de nuvens não tão desenvolvidas verticalmente (RENNÓ e BLUESTEIN, 2001). Contudo, em decorrência da menor quantidade de energia envolvida em sua gênese, tais eventos costumam apresentar ventos menos intensos em relação aos registrados pelos tornados (SNOW e WYATT, 1998). Mesmo assim, as trombas-d'água podem representar perigo, sobretudo ao atingirem embarcações ou quando deixam a água e passam a atuar em terra firme.

Outro tipo de evento tornádico é chamado de tromba-terrestre (*landspout*). Tal episódio ocorre nas cercanias da corrente ascendente de nuvens do tipo cumulus congestus (SNOW e WYATT, 1998). Como o próprio nome sugere, as trombas-terrestres apresentam grande similaridade com as trombas-d'água, sendo, porém, geradas em terra firme. Por não estarem associados à supercélulas, estas formações não costumam provocar danos de grande intensidade, embora apresentem capacidade de destelhar casas e causar quedas de algumas árvores.

⁵ Embora alguns tornados possam ter origem em sistemas frontais, sem a presença de supercélulas (WAKIMOTO e JAMES, 1989)

Embora mais raro, é importante também mencionar o fenômeno meteorológico conhecido como *gustnado* (SNOW e WYATT, 1998). Trata-se de um evento muito similar ao tornado. Contudo, neste caso, a rotação não provém de um funil que descende da nuvem, mas sim da perturbação sofrida pelo fluxo de ar ao chocar-se contra um obstáculo em solo. Essa corrente de ar, normalmente proveniente de uma frente de rajada ou de um *downburst*, apresenta elevada velocidade e ganha rotação significativa ao se deparar com protuberâncias impostas pelo relevo ou mesmo por construções feitas pelo homem. Embora a gênese seja diferente, os danos causados pelos *gustnados* são muito semelhantes aos ocorridos durante atuação de tornados, dificultando assim a distinção entre estes eventos.

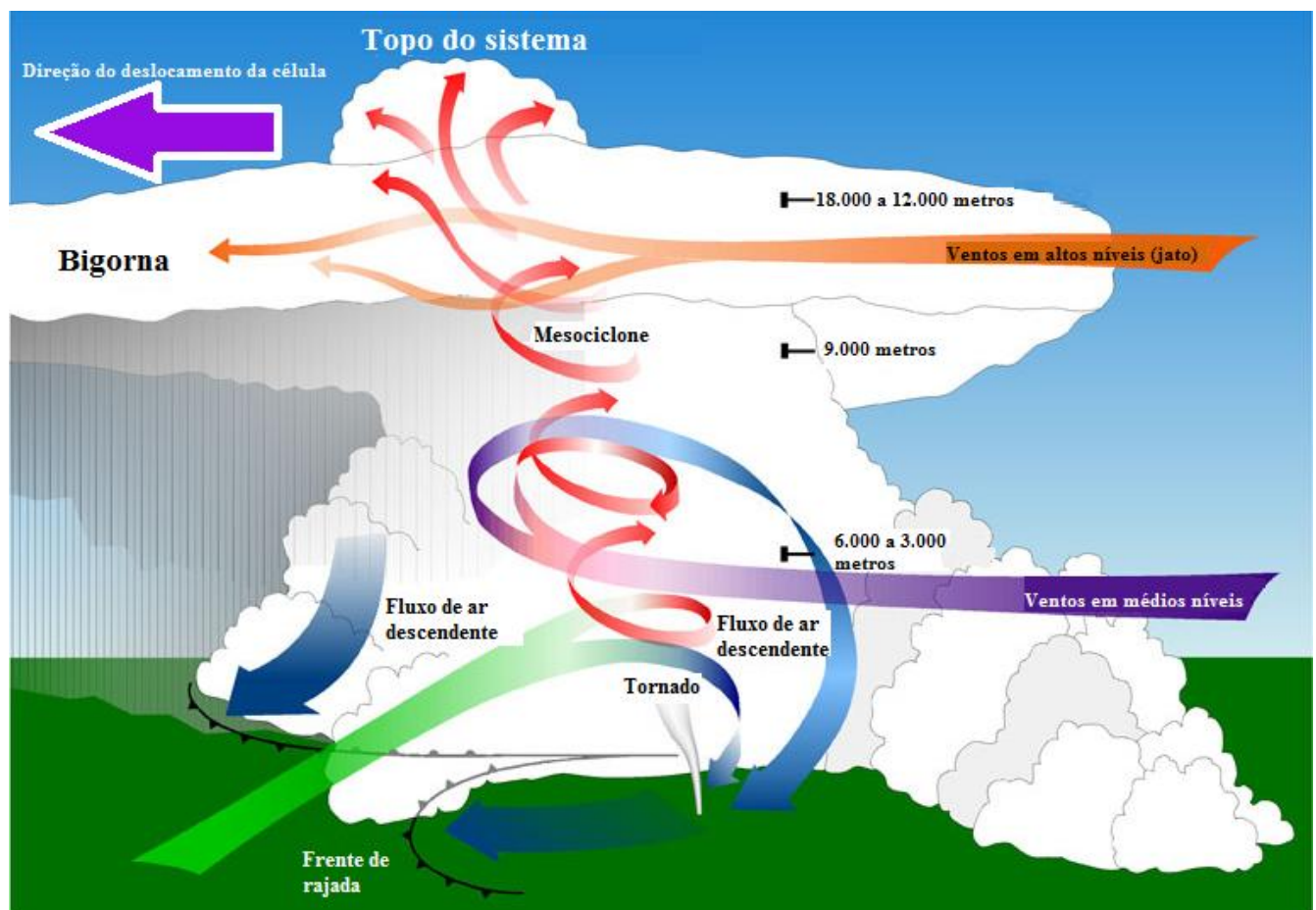


Figura 1.3: Configuração de supercélula deflagradora de tornados no hemisfério sul do planeta (Fonte: NSSL/NOAA – adaptado pelo autor)

É difícil para um observador situado no nível do solo determinar o grau de desenvolvimento vertical das nuvens, aspecto que poderia indicar se a tempestade apresenta

potencial tornádico; porém, é possível a visualização de certos indicativos de intensa instabilidade atmosférica⁶, tais como:

- **Estrutura estratificada:** as nuvens tornádicas normalmente são formadas de forma súbita. Esse rápido desenvolvimento é gerado por movimentos convectivos intensos (Figura 1.3). O ar descendente predomina em alguns setores, enquanto o ascendente, em outros, formando verdadeiras plataformas que podem ser notadas na borda das nuvens. Na margem do sistema, essas camadas podem atingir níveis altimétricos bastante reduzidos, evidenciando a formação de frentes de rajada (FUJITA, 1981), onde há registro de movimentação atmosférica mais intensa (Figura 1.4).



Figura 1.4: Frente de rajada fotografada no estado norte-americano da Flórida (fonte: www.wunderground.com)

⁶ É importante salientar que nem todas as nuvens de potencial tornádico exibem todas as características aqui expostas.

- **Formação de *mammatus*:** ao olhar diretamente sob a bigorna de uma nuvem tornádica, pode ser possível observar a presença de formação bastante característica, conhecida como *mammatus* (PRETOR-PINNEY, 2008), que consistem em protuberâncias que se desenvolvem na base das nuvens, deixando-as com aparência ondulada⁷ (Figura 1.5).



Figura 1.5: Nuvens *mammatus* (fonte: www.wunderground.com)

As *mammatus* são formadas quando os cristais de gelo existentes no topo das nuvens cumulonimbos sublimam devido à fricção com o ar e à intensa troca de energia térmica decorrente do forte movimento promovido pela convecção. Ao passar diretamente do estado sólido para gasoso, a água é capaz de absorver grandes montantes de calor

⁷ Em latim, a palavra *mammatus* significa “em forma de mamas”. Esse nome foi adotado devido à forma característica assumida pela base das nuvens nessa situação.

latente, formando pequenos bolsões de ar mais arrefecido ligeiramente abaixo da base dessas nuvens, promovendo assim o contorno característico dessa formação. Deste modo, é possível afirmar que a presença de *mammatus* indica a existência de camadas altamente instáveis na atmosfera (DAY, 2006). Quando se formam no final da tarde, adquirem reflexos dourados devido ao ângulo de incidência dos raios solares, consistindo em um belo espetáculo visual (Figura 1.6).



Figura 1.6: *Mammatus* realçadas pelo pôr do sol (fonte: CRH/NOAA)

Destaca-se que as *mammatus* somente surgem em situações específicas, onde o tamanho da bigorna (*anvil*) das nuvens seja desenvolvido o suficiente, denotando a existência de intenso movimento de ascendência e subsidência do ar. Sua presença consiste em um bom indicativo da existência de turbulência e instabilidade atmosférica, sendo sua observação também útil para a aviação, pois indica que a nuvem contém correntes internas em intensidades potencialmente prejudiciais ao trânsito de aeronaves.

- **Coloração escura:** nuvens com potencial tornádico apresentam coloração mais escura devido ao elevado desenvolvimento vertical. A presença de gelo em seu topo causa espalhamento da luz, podendo fazer com que o observador, dependendo do ângulo que estiver em relação à nuvem, note colorações que podem variar entre tons azulados ou esverdeados, além do tradicional cinza escuro (ALLABY, 2004).
- **Inclinação das nuvens:** o núcleo das nuvens com potencial tornádico apresenta inclinação em relação ao solo, visto que os fortes ventos existentes em altitude (Figura 1.3) provocam o deslocamento da porção superior da nebulosidade que se forma em função da convecção ali existente.
- **Sinais de turbulência na base das nuvens:** Outra característica que indica a presença de intensos movimentos verticais dentro das nuvens é a existência de formações irregulares na base das nuvens. Essas formas evidenciam a redução da pressão atmosférica em certos pontos, que atraem o ar aí contido para baixo, consistindo em um sinal de forte instabilidade. Algumas dessas formações podem dar origem a nuvens funil.

Além desses sinais, as nuvens tornádicas apresentam outras características que, embora normalmente não sejam detectadas visualmente, podem ser percebidas por meio de instrumentos apropriados. As principais dessas feições são:

- **Presença de correntes de ar ascendentes:** uma cumulonimbos não tornádica apresenta certo equilíbrio entre as correntes de ar ascendentes e descendentes. O fluxo ascendente origina do acúmulo de energia térmica na superfície que aquece o ar, fazendo com que ele se eleve. Já as correntes descendentes são produzidas pelo resfriamento do ar nas porções mais elevadas das nuvens, criando um fluxo descendente capaz de transportar a água e o gelo ali existentes para menores altitudes. Esse fluxo de ar mais arrefecido acaba inibindo a convecção, uma vez que resfria a superfície podendo, inclusive, ser percebido por observadores no solo, na forma de rajadas de ventos mais frios. A inibição da convecção faz com que o sistema deixe de ser alimentado, sendo desse modo responsável pelo declínio da tempestade. Contudo, em certas situações o acúmulo de energia junto à

superfície se dá de forma mais intensa⁸, o que gera correntes ascendentes fortes o suficiente para atingir a tropopausa, dando origem a uma feição semelhante a uma bigorna, uma das principais características das nuvens tornádicas. A sucção do ar proveniente dessas correntes ascendentes para dentro da bigorna provoca um fenômeno conhecido como “tesoura de vento” (*windshear*) , caracterizado por alteração brusca na direção e velocidade do fluxo de determinada corrente de ar. Nesse caso, o fluxo passa a seguir paralelamente ao solo. Como não se tem movimento descendente em intensidade suficiente para inibir a convecção e exaurir o sistema, a célula continua a ser alimentada, aumentando, assim, suas proporções até chegar à formação da chamada supercélula.

- **Presença de ventos em altos níveis e formação de Mesociclones:** usualmente há tesouras de vento dentro das células convectivas decorrentes das mudanças na velocidade do vento proporcionadas pelo atrito, já que os ventos de superfície normalmente apresentam velocidades inferiores que aquelas presentes em altitudes ligeiramente mais elevadas. De modo geral, essas tesouras de vento não possuem potencial necessário para iniciar a rotação de um mesociclone. Entretanto, se a tempestade se encontra com uma corrente de ar de elevada velocidade nos altos níveis - o que ocorre em situações de proximidade da presença da Corrente do Jato - pode culminar no surgimento de um movimento rotacional e consequente redução da pressão no centro desse sistema. A presença de um mesociclone no interior de um sistema convectivo é indicativo que essa tempestade apresenta potencial tornádico, tendo em vista que tornados poderão surgir devido ao cisalhamento dos ventos decorrentes da configuração da movimentação atmosférica (HELD et al., 2004; HELD et al. 2005).

⁸ Esse acúmulo de energia pode decorrer de situações naturais, vinculadas à geomorfologia local ou em virtude de alguma peculiaridade dos sistemas atmosféricos atuantes no momento. Tal situação também pode ser induzida por modificações antrópicas aplicadas ao local, tais como modificações na cobertura vegetal, presença de aglomerações urbanas ou ainda construções de grandes reservatórios de água, uma vez que o calor latente existente na água pode induzir à intensificação dos movimentos convectivos.

- **Atuação da Corrente do Jato:** diversos estudos, como os desenvolvidos por Skaggs (1967), Whitney (1977), Marcelino et al. (2003), Grazulis (2001), Allaby (2004), Nunes et al. (2009a) e Candido et al. (2009), indicam que a presença da Corrente do Jato nas proximidades exerce papel na intensificação de algumas tempestades e deflagração de diversos tornados, embora tais eventos também possam advir sem que haja influência direta desses ventos. O jato apresenta capacidade de amplificar células existentes em sistemas frontais e pré-frontais, além de impelir o surgimento de tornados, uma vez que proporciona o cisalhamento necessário para dar início ao fenômeno.

Considerando os elementos aqui expostos, é possível afirmar que a condição mais propícia para a formação de tornados ocorre quando há energia acumulada na superfície associada à umidade, pois a água atuará como condutor desse calor até as altitudes mais elevadas. Além disso, é preciso que a formação apresente uma bigorna, o que ajuda a evitar a formação de fluxos descendentes que inibam a convecção e, ainda, é imperativo que haja cisalhamento interno, decorrente da presença de ventos em direções e velocidades contrastantes no núcleo dessas nuvens.

1.4 Fenômenos meteorológicos incomuns relacionados à presença de supercélulas convectivas

Além dos *downbursts* e tornados, a formação das supercélulas convectivas pode implicar na ocorrência de certos fenômenos curiosos e não usuais, dentre os quais destacam-se:

Chuva de peixes e/ou outros animais: a sucção provocada pela baixa pressão existente no interior de alguns tornados e trombas-d'água podem fazer com que animais que eventualmente estejam na área atingida pelo olho da tempestade sejam sugados pelos ventos e levados até o interior das nuvens. Dentro das grandes cumulonimbos, esses animais podem permanecer suspensos por horas devido à presença de fortes ventos ascendentes, permanecendo no ar até que sejam levados para áreas com ventos menos intensos, onde se precipitam, dando origem a um fenômeno conhecido como “chuva de animais” (ALLABY, 2004).

Os animais mais comumente observados nessas chuvas são pequenos peixes (SIOUTAS, 2003). Como têm o hábito de nadar unidos em cardumes, esses animais aquáticos podem ser capturados em grandes quantidades por trombas-d'água e tornados que eventualmente passem

sobre mares, rios e reservatórios piscosos. Em alguns casos, esses animais são carregados por curtas distâncias e conseguem permanecer vivos após atingirem o solo, em outros casos podem ser levados por longas distâncias e, inevitavelmente, acabam morrendo durante o trajeto (MEISTER, 1999). No entanto, os peixes não são os únicos animais a precipitar de nuvens tornádicas: há inúmeros relatos em todo mundo falando sobre queda de batráquios, águas-vivas, pássaros e morcegos.

Apesar de não ser muito comum, há registros desse tipo de ocorrência no Sudeste brasileiro, sendo que o registro mais recente data de 14/02/2007, na cidade de Paracatu, Minas Gerais, conforme transcrito a seguir:

Chuva de peixes surpreende moradores de cidade de Minas

Uma "chuva de peixes" surpreendeu os moradores da Zona Rural de Paracatu (MG), há duas semanas. Os agricultores afirmam que os animais caíram em um temporal que atingiu a cidade no dia 14 de fevereiro. Uma dona de casa disse que a queda dos peixes no solo provocou muito barulho.

Segundo um meteorologista do "MG Tempo", a chuva de animais ocorreu por causa de um minitornado. Os especialistas dizem que o vento forte levantou uma grande quantidade de água e levou os peixes para a cidade. Quando a intensidade das rajadas diminuiu, os peixes caíram.

(Jornal O Dia, 28 de fevereiro de 2007 - disponível online em http://odia.terra.com.br/brasil/htm/geral_84831.asp)

Chuvas vermelho-sangue: em outros casos, a água da chuva pode cair contaminada por lama, algas ou outros elementos presentes na água aspirada, dando a esta cor avermelhada e, por vezes, textura gelatinosa (proveniente da lama) que, por vezes fazem a população julgar que sangue está caindo do céu. As algas envolvidas pela lama ganham a aparência de fibras musculares, dando origem à mitos envolvendo a chuva de pedaços de tecidos animais em conjunto com sangue.

Segundo Oliveira (2006), no dia 12 de outubro de 1867, a população da cidade de Catalão, Goiás amanheceu assombrada sob uma “chuva vermelha, parecida com sangue”. É muito provável que o evento tenha sido causado por um tornado que tenha aspirado alguma quantidade de lama formada por terra vermelha, substância muito comum na região, pelo funil de um tornado.

Choveu aqui esta noite desde as 9 horas até ao amanhecer; as 7 horas da manhã engrossou a chuva a qual era cor de sangue: as calçadas : da rua ficaram como se tivessem sangradas sobre ela muitos animais.

(Correio Oficial, Goiás, 4 de novembro de 1867, apud OLIVEIRA, 2006)

Granizo de grandes proporções: quando a movimentação do ar no interior das nuvens é intensa o suficiente para evitar que as partículas de gelo se precipitem, levando as novamente para o topo da nuvem, elas irão coletar ainda mais gotículas de água supergelada e cristais de gelo, ganhando mais peso, podendo precipitar na forma de granizo de dimensões consideráveis. Os diâmetros apresentados por estes aglomerados de gelo podem, em alguns casos, serem superiores ao tamanho de bolas de tênis de mesa⁹, causando severos danos ao atingirem o solo.

1.5 A estrutura dos tornados

Dentre os fenômenos descritos, os tornados são aqueles que apresentam ventos mais intensos e, conseqüentemente, detentores de maior poder de destruição. Esse fenômeno consiste na formação de um ou mais vórtices de ventos circulares que giram em torno de um núcleo de baixa pressão; a redução de pressão no centro faz com que o ar e os detritos carregados assumam um movimento espiralado, ganhando velocidade conforme se aproxima desse núcleo. A pressão é sensivelmente mais baixa no olho do tornado, sendo que seus valores chegam a apresentar gradientes superiores a 100 hPa entre o centro e o entorno do sistema. Esse diferencial na pressão atmosférica, que tem origem na movimentação do ar arrefecido no interior das nuvens, atinge o nível do solo e faz com que o ar seja sugado para o interior do sistema (GRAZULIS, 2001; ALLABY, 2004).

Essa redução súbita na pressão faz com que o vapor d'água presente no ar se condense, formando assim uma névoa esbranquiçada que reduz significativamente a visibilidade. Essas

⁹ Uma bola oficial de tênis de mesa apresenta diâmetro de 40 milímetros

gotículas de água em suspensão, juntamente com partículas de poeira e detritos, são sugadas pelo núcleo de baixa pressão em um movimento circular, dando origem a uma parede que visualizada de longe apresenta uma forma cônica, sendo por isso chamada de funil do tornado.

Quanto mais úmido o local, maior a qualidade de vapor condensada nesse processo, o que permite inferir que este seja um dos motivos pelos quais muitos dos tornados registrados em território brasileiro não possam ser visualizados diretamente, embora um rastro de destruição possa ser notado após sua passagem. Allaby (2004) destaca que a umidade tem um papel preponderante na formação de um funil claramente observável, afirmando que quando o ar descendente se apresenta relativamente seco, não há condensação suficiente e os funis podem se apresentar pouco vívidos ou, até mesmo, não serem visíveis. Por outro lado, o autor indica que a água pode impedir a observação de tornados formados sob chuva pesada - caso mais comum no estado de São Paulo.

“Not all tornadoes appear as clearly defined white funnels (...). If the air descending in the funnel is relatively dry, there will be less condensation in it than there would be in moister air. The density of water droplets in the funnel will be low, and the funnel will appear faint. It may ever be invisible. Sometimes, tornadoes form behind heavy rain, which hides then”
(ALLABY, 2004 p.85).

Quando visível, o funil assume diferentes colorações, que são determinadas pelo tipo de substrato sobre o qual esta atuando, adquirindo tons esbranquiçados quando há poucos detritos em suspensão, cinzentos ou amarronzados quando passam por áreas ricas em areia e solo desagregado. O fenômeno pode até mesmo apresentar tons incomuns como coloração avermelhada – o que ocorre se o fenômeno se formar sobre uma área argilosa; ou amarelado – quando formado sobre áreas arenosas, dependendo do ângulo de incidência do sol. Em alguns casos, as nuvens são tão espessas que bloqueiam a maior parte da luz solar, fazendo com que os funis sejam vistos na cor preta.

Quando se formam sobre mares, lagos ou rios, comumente têm coloração azulada ou esverdeada, devido ao fato de ser esta a cor com a qual a água é visualizada à distância. Tornados formados em condições extremas de umidade também podem apresentar tais colorações.

É conveniente destacar que a cor do funil pode se alterar durante o ciclo de vida dessa formação. No princípio da formação do funil, este tende a apresentar uma coloração muito similar a da nuvem que o originou, pois os ventos no nível do solo ainda não se apresentam intensos o suficiente para carregar detritos. Após o momento de seu contato com a terra (*touchdown*), partículas de solo e detritos são carregados, fazendo com que o funil ganhe uma coloração condizente à do substrato. Se, ao longo de sua trajetória, o tornado cruzar áreas com diferentes características pedológicas e/ou geomorfológicas, mudanças de coloração ocorrerão em função da suspensão de materiais diferenciados em seu funil.

2 – Objetivo e Hipótese

Tem-se por hipótese inicial deste trabalho o pressuposto de que os eventos tornádicos na Região Centro-Sul do território brasileiro estariam sendo registrados de forma mais frequente.

Tal aspecto poderia estar associado ao incremento da urbanização desse setor, que tem apresentado terras cada vez mais recobertas por cidades e culturas agrícolas, que alteram o albedo e a rugosidade local. Isso implica em profundas alterações na circulação atmosférica local e global, ocasionando mudanças em diversos parâmetros atmosféricos, como temperaturas máximas, mínimas e suas médias, umidade total e relativa do ar, direção dos ventos, intensidade da convecção, formação de descargas elétricas, entre outros.

Acrescenta-se, ainda, a ideia de que as alterações antrópicas impostas pela presença de diversos corpos d'água de grandes proporções, relacionados à construção de barragens para armazenamento de água e produção de energia elétrica, estariam relacionadas à intensificação dos eventos de tempestade. Um dos exemplos mais típicos consiste no Rio Tietê, que cruza transversalmente o estado de São Paulo, apresentando-se tão alterado que muito pouco restou de seu curso natural. A presença de tais corpos hídricos poderia induzir a formação e intensificação de sistemas de tempestade, uma vez que fornecem maior umidade ao sistema, em conjunto com o armazenamento de calor latente oriundo da absorção parcial da energia solar que incide sobre as águas represadas.

Deste modo, o trabalho aqui exposto adotou os seguintes objetivos:

- Definir se há a existência de um padrão espacial e temporal nas ocorrências de tornados no Brasil;
- Elaborar um modelo exibindo o risco de ocorrência de tornados e fenômenos correlatos no país utilizando ferramentas pouco onerosas, o que facilita a reprodução e a atualização do modelo por qualquer interessado;
- Propor escala de avaliação de danos compatível com as estruturas existentes em território brasileiro, visto que as existentes desconsideram as particularidades do país.

3 - Revisão Bibliográfica

A ocorrência de tornados têm atraído atenção de diversos pesquisadores, sendo tema de inúmeros estudos (FUJITA, 1971; FUJITA, 1973; FUJITA e PEARSON, 1973; FUJITA, 1981; WAKIMOTO e JAMES, 1989; SNOW e WYATT, 1997; BROOKS e DOSWELL III, 2000; OLIVEIRA, 2000; DOTZEK, 2001; GRAZULIS, 2001; ALLABY, 2004, PASSE-SMITH, 2008). Houghton (1997), Webster et al. (2005) e Smith (2006) argumentam que, teoricamente, é possível que atualmente esteja ocorrendo certo incremento das ocorrências de tempestades tornádicas em função de alterações climáticas globais, uma vez que o aquecimento da atmosfera seria capaz de torná-la mais instável. Já Schubert et al. (2007) indicam que seus aumentos estariam relacionados a mudanças ambientais ocorridas em escala local. Como exemplo de fator que implica na ocorrência de alterações climáticas em nível local pode-se citar a diminuição na cobertura vegetal, modificações no uso da terra, expansão urbana, entre outros aspectos. Contudo, mecanismos naturais envolvidos na gênese do fenômeno também não devem ser desprezados - Etkin e Brun (1999), destacam que a topografia está diretamente ligada à intensificação de tempestades de granizo, elemento que muitas vezes acompanha as células tornádicas.

Alguns mapeamentos elaborados com intenção de exibir a distribuição espacial da ocorrência de tornados evidenciam nítida tendência de concentração do fenômeno em alguns setores do planeta (SNOW e WYATT, 1997). De modo geral, é possível visualizar a existência de um padrão espacial diferenciado entre os dois hemisférios do planeta: ao norte do equador, a maioria dos tornados registrados nesses mapeamentos está localizada em zona temperada, enquanto que no hemisfério sul, o fenômeno ocorre com mais frequência em latitudes não tão elevadas. Isso pode estar relacionado à fatores que afetam diretamente a dinâmica atmosférica terrestre, tais como continentalidade, orografia e cobertura vegetal. Entretanto, também há de se considerar a falta de estudos sobre o tema nas áreas mais periféricas do planeta, o que pode induzir a um falso negativo da ocorrência desse fenômeno meteorológico em certos locais (caso do continente africano e boa parte da Ásia – ainda que o clima não seja propício, não é possível descartar a ocorrência de tornados nessas áreas). A Figura 3.1 nos mostra que os setores com maiores incidências de descargas elétricas atmosféricas da Terra estão no centro-sul brasileiro, na porção central do continente africano e aos pés do Himalaia, na península indiana. Como tais

descargas estão intimamente ligadas à ocorrência de episódios de vento extremo, não seria de se estranhar que tornados sejam observados nessas áreas.

Não obstante, convém ressaltar as contradições aparentes nos mapas produzidos por diferentes instituições e centros de pesquisas: a Figura 3.3 elaborada pela UCAR, aponta certa concentração de eventos no sul da África e litorais leste e oeste da Oceania, padrão que não é observado na Figura 3.4, elaborada pela JASON PROJECT. Também há divergência entre a Figura 3.2, elaborada pelo NOAA, e as Figuras 3.3 e 3.4, no que se refere à América do Sul. O mapa do NOAA mostra que somente o Uruguai e parte ínfima da Argentina estão em área de risco, contradizendo a Figura 3.4, que coloca porção do centro-sul brasileiro e quase a totalidade do Paraguai nessa categoria. Já a Figura 3.1, que exhibe a incidência de raios nos dois hemisférios, é mais condizente com a realidade, tendo em vista que foi elaborada mediante utilização de detectores orbitais, que monitoram o planeta de forma ininterrupta.

Tais contrastes nos mapeamentos não podem ser atribuídos a uma simples questão de diferença metodológica entre as pesquisas que levantaram tais dados. Também não podem ser explicados por diferenças na escala de abordagem, pois quando se comparam os dados referentes à setores da Europa e América do Norte, notam-se poucas divergências. Esse aspecto nos leva à questão da priorização dos estudos científicos envolvendo as áreas economicamente mais importantes do planeta, em detrimento das regiões periféricas, tanto do ponto de vista econômico, como social e cultural. Se, por exemplo, o mapa mostra que tornados foram registrados na área dos tigres asiáticos, porque eles também não podem ocorrer em Moçambique, tendo em vista que estes países apresentam características climáticas e geomorfológicas similares? Os eventos atmosféricos não respeitam as fronteiras políticas criadas pelo homem, mas entretanto, infelizmente, tais limites ainda consistem em uma barreira no que concerne aos estudos científicos. A limitação financeira faz com que poucas pesquisas sejam efetuadas nas áreas mais pobres de nosso planeta de modo que o conhecimento do comportamento climático de tais locais é bastante limitado.

Como os tornados são eventos efêmeros e espacialmente muito localizados, existe tendência de subestimativa das ocorrências em locais com população esparsa, pois episódios podem ocorrer sem que nenhuma pessoa os registrem ou sequer visualizem os danos deixados em seus trajetos de deslocamento. Este pode ser o caso de regiões como o pantanal brasileiro e o

chaco paraguaio e boliviano, onde não é incomum a atuação de grandes sistemas convectivos, ou a Amazônia brasileira, onde algumas trombas-d'água já foram registradas sobre os grandes rios ali existentes.

Alguns autores trabalharam com registros em território brasileiro, tentando definir suas causalidades, bem como expor as dimensões humanas relacionadas a tais ocorrências (OLIVEIRA, 2000; HELD et al., 2005; HELD et al., 2006(a); NUNES et al., 2008; MARCELINO, 2003; CANDIDO et al., 2009). A leitura de tais trabalhos evidencia concentração espacial no setor centro-sul do país, estando em conformidade com o mapa exibido na Figura 3.4.

Silva Dias e Grammelsbacher (1991) avaliaram tornado ocorrido na cidade de São Paulo. Uma ocorrência na cidade de Itu foi descrita por Massambani et al. (1992). Já Antonio (1996) trabalhou com um tornado ocorrido na cidade de Lençóis Paulista. Estudo envolvendo ocorrências em Itu e Ribeirão Preto levaram Menezes e Silva Dias (1998) a relatarem existência de cisalhamento de ventos envolvidos na formação destes eventos. Nechet (2002) indicou o registro de tornados nos estados de Pernambuco, Pará, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Oliveira (2000), Marcelino (2003) e Marcelino et al. (2007) agruparam várias ocorrências de tornados e trombas-d'água ao longo de 28 anos no estado de Santa Catarina e classificaram alguns eventos de acordo com a escala Fujita (F).

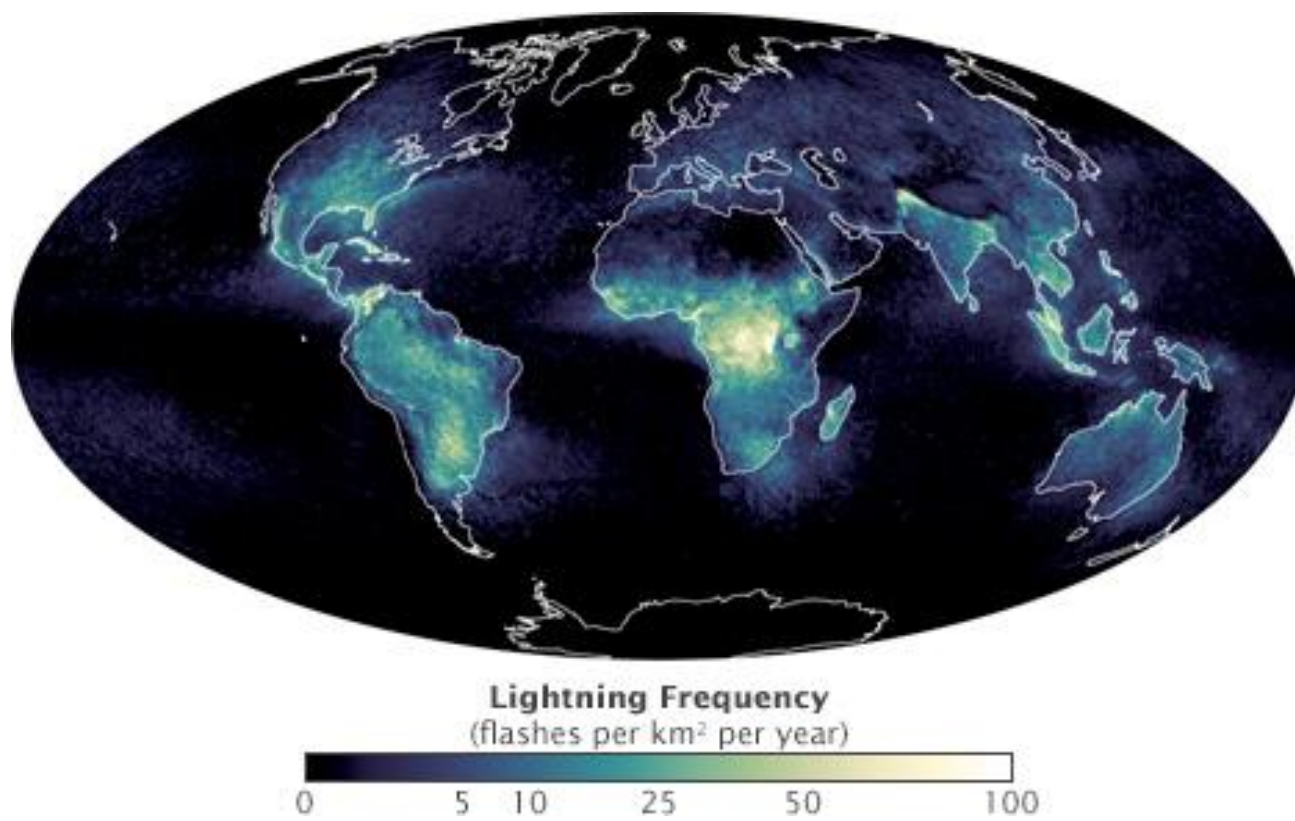


Figura 3.1: Frequência média anual de ocorrência de raios na Terra (fonte: <http://earthobservatory.nasa.gov>)

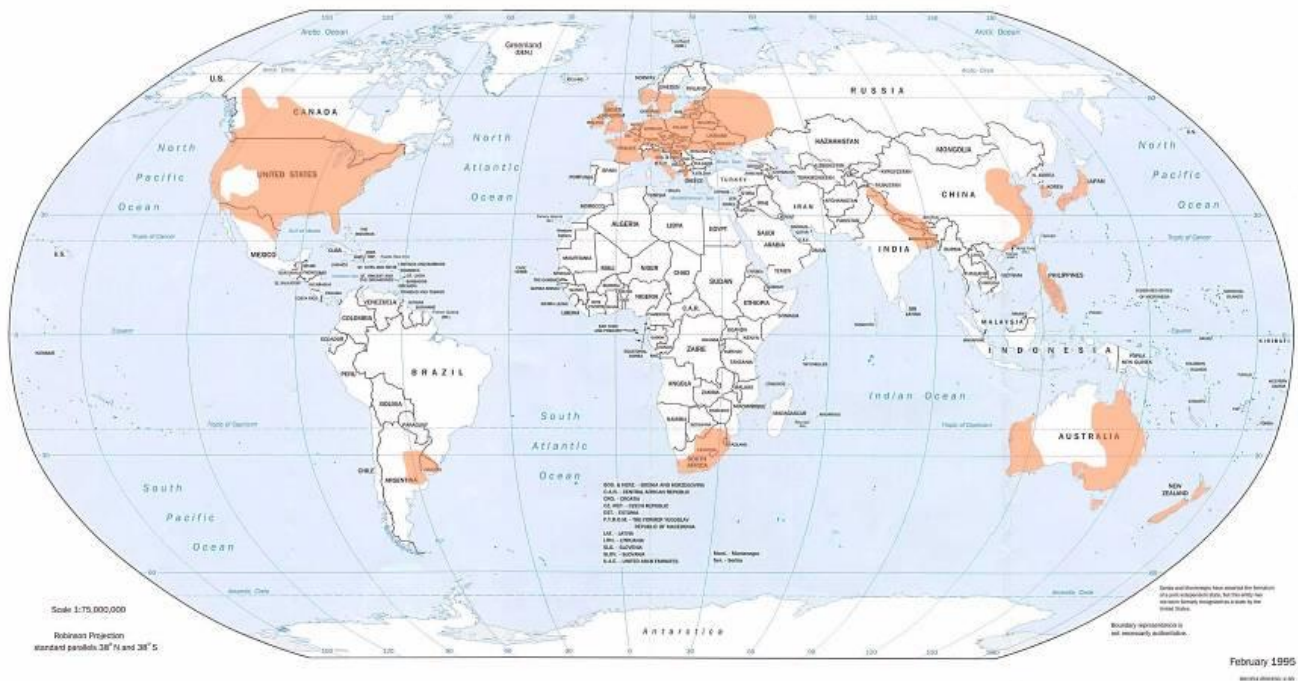


Figura 3.2: Regiões propícias à ocorrência de tornados (fonte: NCDC TORNADOES CLIMATOLOGY www.ncdc.noaa.gov)

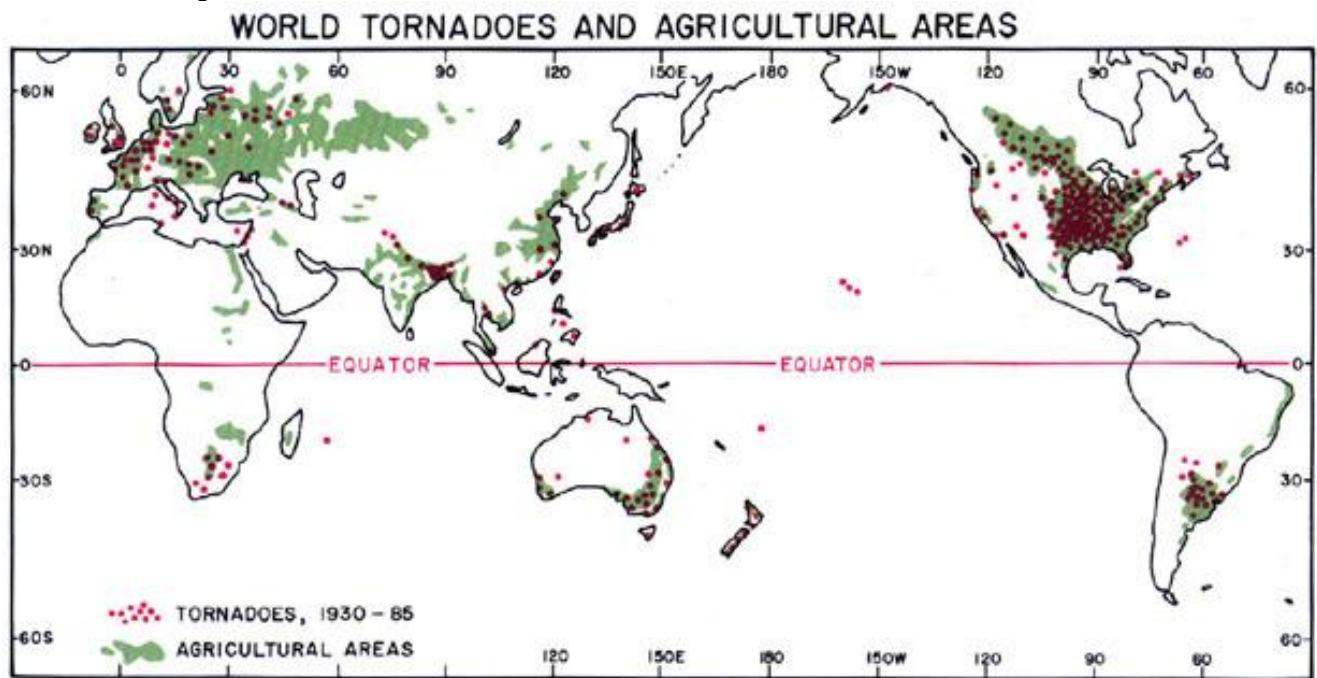


Figura 3.3: Localização das principais áreas agrícolas do planeta e distribuição espacial dos tornados catalogados pela Universidade de Chicago, entre 1930 a 1985 (fonte: UCAR - University Corporation for Atmospheric Research - www.windows.ucar.edu)

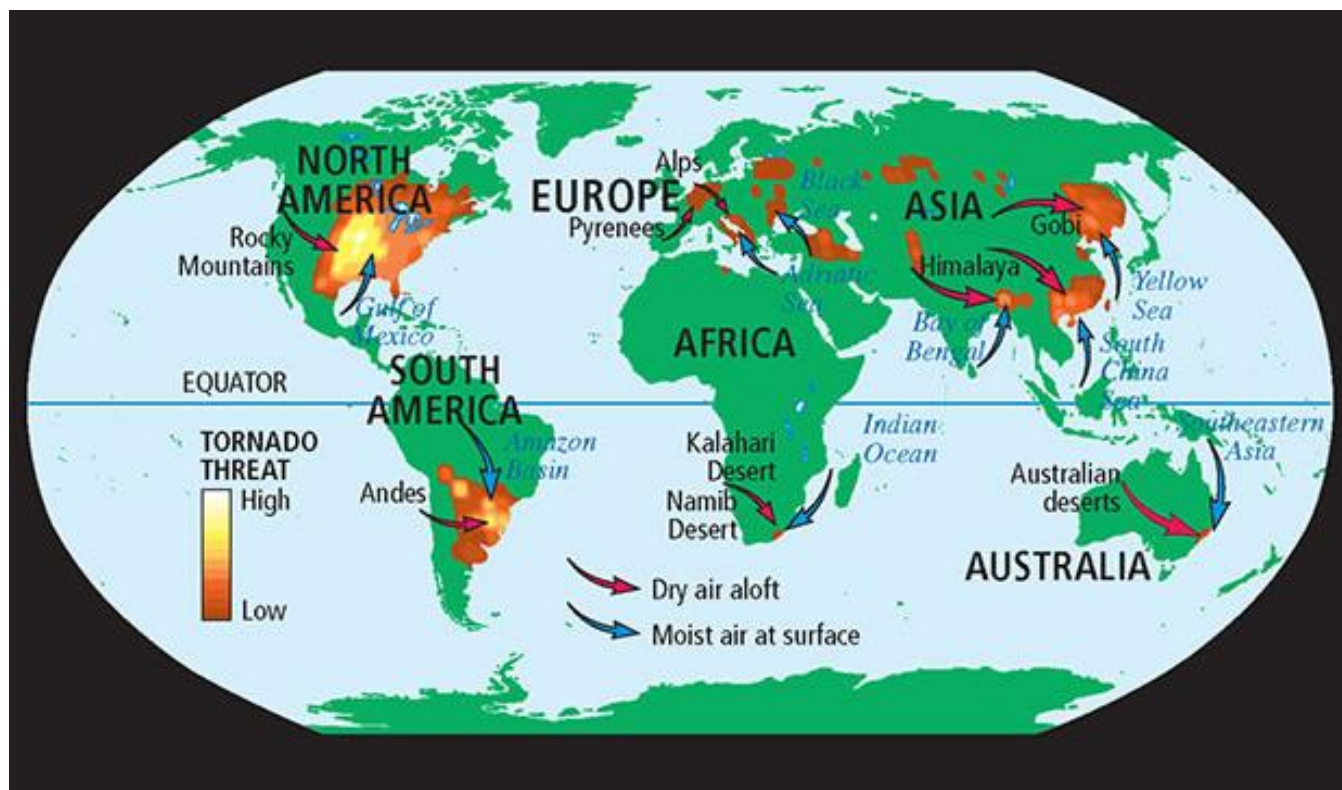


Figura 3.4: Risco mundial de ocorrência de tornados – Fonte: JASON PROJECT - http://www.jason.org/digital_library/145.aspx

A avaliação de danos relacionados aos tornados e trombas-d'água ocorridos no Brasil, bem como a análise de suas trajetórias, foram empreendidas em algumas pesquisas, dentre os quais destacam-se investigações envolvendo os episódios de Palmital, SP (HELD et al., 2004), Criciúma, SC (NASCIMENTO e MARCELINO, 2005; HELD et al., 2005, MARCELINO et al., 2007), Joinville (MARCELINO et al., 2004), Indaiatuba, SP (HELD et al., 2005a; HELD et al., 2006b; CANDIDO et al., 2009, BERTONI, 2010), Rio de Janeiro, RJ (CARDOSO et al., 2010), Abdon Batista, SC (MARCELINO et al., 2003), Muitos Capões, RS (MARCELINO et al., 2006), Maringá, PR (Candido e Candido, 2008) e Santa Bárbara D'Oeste e Piracicaba, SP (NUNES et al., 2009).

Destaca-se, igualmente, trabalho executado por Marcelino e Nunes (2006), onde foi avaliada de que forma a utilização de SIG poderia ser eficiente nas análises de tornados. Gomes et al. (2000) colocam a importância da utilização de radares, destacando que a disponibilidade de radares meteorológicos com capacidade Doppler é capaz de viabilizar a implementação de um sistema de alertas eficiente, quando se trata de tempestades potencialmente severas.

Embora diversos trabalhos tenham abordado a avaliação de danos e análise das condições atmosféricas que levaram a deflagração de tornados, poucos estudos trabalham com a climatologia das ocorrências, bem como a sua distribuição espacial e probabilidade de ocorrência, aspecto adotado como um dos temas prioritários deste estudo.

4 - Material e Métodos

A evolução das tecnologias, com consequente incremento na capacidade de processamento dos computadores, tem propiciado grande avanço na área dos Sistemas de Informação Geográficas (SIG's). Esse salto tecnológico é tão notável que, atualmente, um computador comum é perfeitamente capaz de elaborar mapas e modelos matemáticos avançados envolvendo cruzamentos de dados entre informações de diversas origens, em diferentes escalas.

Como uma das propostas deste trabalho foi o desenvolvimento de uma técnica de análise viável de ser desenvolvida e aplicada por usuários comuns, mediante a utilização de equipamentos de baixo custo, todos os mapas, modelos e dados foram processados em computadores do tipo PC, dotados de processadores Intel® Core i3™, com frequência de 2,27 Ghz e 3Gb de memória RAM, ou seja: os produtos avaliados neste estudo podem ser elaborados tanto em computadores desktop, bem como em notebooks comuns, existentes a um custo relativamente baixo no mercado nacional.

Tal requisito foi adotado objetivando a máxima redução dos custos operacionais e, conseqüentemente, maior disseminação da metodologia desenvolvida.

Para o processamento das informações, foram utilizados os softwares ENVI 4.7 e ArcGis 9.3. Todos os mapas apresentados foram elaborados utilizando-se o elipsóide de referência WGS 1984, pois a maior parte das bases de dados já encontravam-se georreferenciadas nesse sistema.

O modelo probabilístico obtido foi validado mediante investigação de ventos intensos registrados nas áreas que apresentaram risco mais elevado. Alguns episódios foram analisados por meio de imagens coletadas pelos radares de Bauru e Presidente Prudente (IPMet), de sorte a observar de que modo a presença de grandes corpos d'água atuam na intensificação das tempestades. Nessa etapa foi empregado o software Iris, que possibilita a captura e classificação de imagens de radares, bem como a execução de cortes transversais, mostrando o interior das células convectivas.

Destaca-se ainda que Hossain et al. (1999) propuseram a elaboração de um modelo probabilístico para os Estados Unidos continental, sem, contudo, considerar fatores ligados à geomorfologia e hidrografia da área mapeada. A técnica apresentada por Hossain et al. (1999) também é bastante diferente da metodologia aqui proposta.

4.1 Coleta e tratamento dos dados

Visando o desenvolvimento de metodologia apropriada à análise de tornados no Brasil, inicialmente, buscou-se adquirir o maior número de informações relacionadas à tais ocorrências em território brasileiro. Para dirimirem-se dúvidas que possam eventualmente ser levantadas à respeito de se o evento realmente foi um episódio tornádico, foi feita a opção de considerar-se exclusivamente os que atendessem a presença de pelo menos um dos seguintes critérios:

1. Registro fotográfico ou em vídeo do funil;
2. Relatos da presença de funil com movimento rotacional, por parte de testemunhas visuais, associado a danos característicos no nível do solo;
3. Estudos publicados que efetivamente classifiquem a ocorrência como um tornado.

Nesse aspecto, foi de grande utilidade o *website* de compartilhamento de vídeos *YouTube* (www.youtube.com), uma vez que a recente política brasileira de inclusão digital faz com que mais pessoas tenham condições de registrar e compartilhar fatos inusitados de seu cotidiano. Como a presença de um tornado sempre é considerada um acontecimento singular, não é incomum que as pessoas façam a captura por meio de equipamentos de foto e vídeo e posteriormente compartilhem tal informação na rede mundial; desse modo, grande parte dos episódios aqui considerados foram registrados em vídeos e/ou fotografias, não deixando dúvidas quanto ao fato de se tratarem de eventos tornádicos. As demais ocorrências foram relatadas em estudos científicos e/ou registradas por testemunhas fiáveis, totalizando 245 episódios aptos a serem utilizados para elaboração do modelo proposto neste estudo.

A coleta de dados possibilitou, ainda, a obtenção de informações referentes aos danos decorrentes de ventanias registradas em diferentes locais do país. Adotando como base a velocidade dos ventos e os danos reportados, foi possível elaborar uma escala visando avaliação dos danos decorrentes da atuação de ventos intensos.

Para elaboração dos modelos fez-se escolha pela exclusão dos eventos registrados previamente a 1990, uma vez que anteriormente não se tinha conhecimento da ocorrência do fenômeno em território brasileiro. Assim, muitos tornados ocorridos nessa época podem ter sido registrados como simples vendavais, o que invariavelmente implicaria em distorções estatísticas. Desse modo, alguns registros foram desconsiderados, restando as 220 ocorrências, que estão

representadas na Figura 4.1. Nesse mapa, foram consideradas as coordenadas geográficas referentes ao centróide dos municípios atingidos.

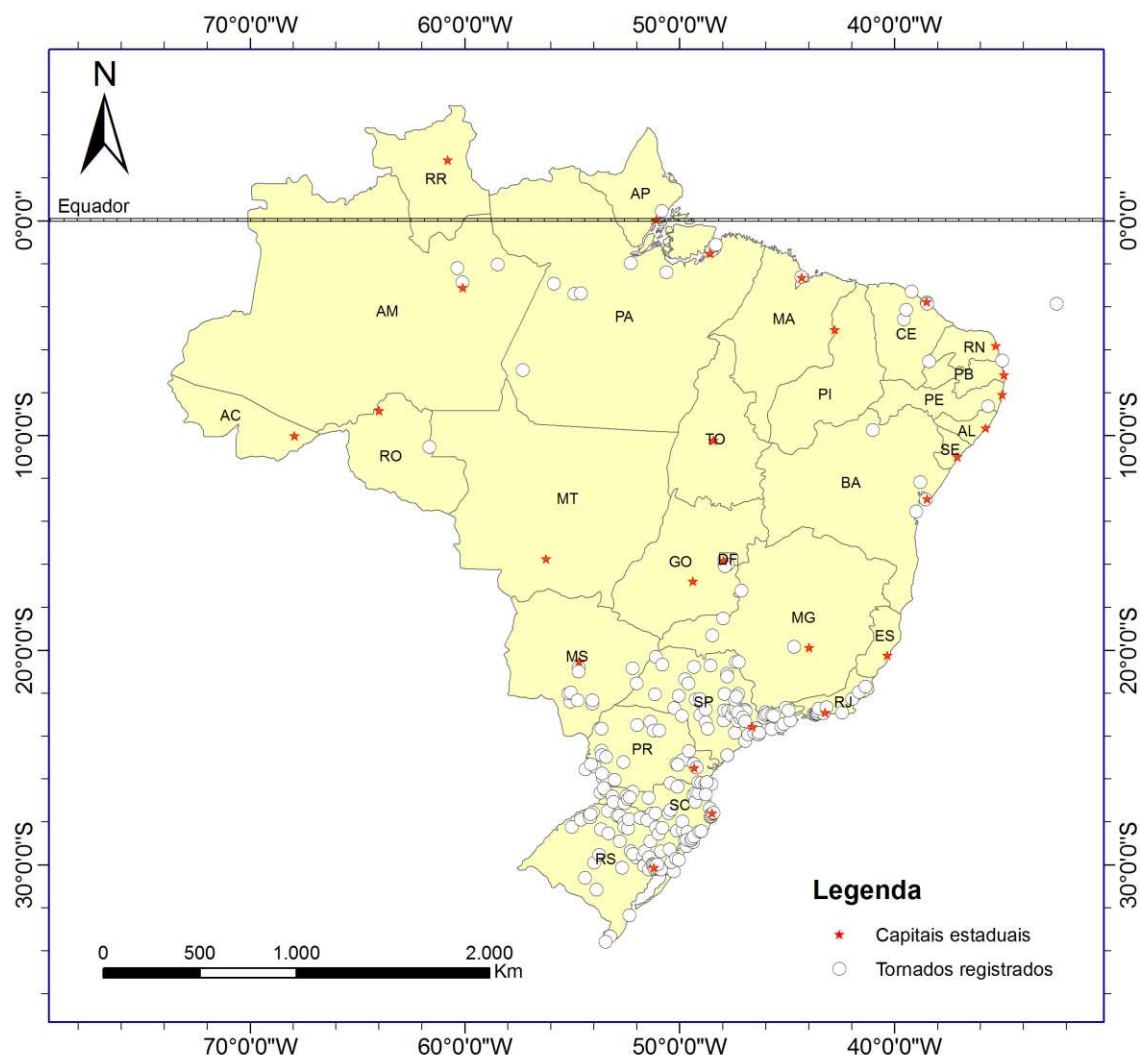


Figura 4.1: Distribuição espacial dos tornados considerados neste estudo (período de 1990 a 2010) (Elaborado pelo autor)

Com base nessa informação utilizou-se o interpolador *kriging* (krigagem) do módulo *Spatial Analyst* do software ArcGis 9.3, para se estimar a distribuição espacial do fenômeno. Os parâmetros adotados para a krigagem foram escolhidos de modo a minimizar o efeito da concentração de diversos registros sobre uma mesma coordenada geográfica. Como, na maioria dos casos, não foi possível obter o ponto exato onde o tornado fez seu primeiro contato com o solo (*touchdown*), utilizou-se então a coordenada referente ao centro da área urbana do

município. Com isso, foi essencial a adoção de medidas visando reduzir a distorção decorrente do fato de que, em algumas situações, um mesmo município apresentava mais de um registro - aspecto observado em várias cidades, como Campinas, Florianópolis, Piracicaba, Porto Alegre, Ribeirão Preto, Rio de Janeiro, entre outras. Diversos testes foram executados e chegou-se à conclusão de que os parâmetros representavam mais fielmente a distribuição esperada foram: krigagem ordinária com semivariograma esférico, considerando as informações referentes aos 15 pontos mais próximos (Figura 4.2). A resolução espacial escolhida para a saída destes dados foi de 100 metros.

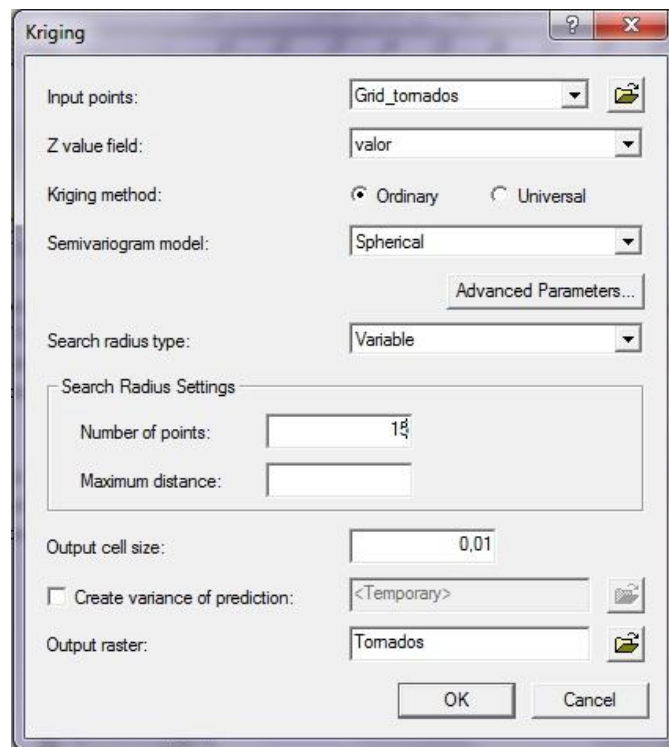


Figura 4.2: Captura de tela do software ArcGis, exibindo os parâmetros adotados na interpolação realizada

Destaca-se que a krigagem já foi anteriormente utilizada com sucesso para a interpolação de dados climatológicos, dentre os quais os estudos de Candido (2003), Koga-Vicente (2005), Candido e Nunes (2008), Nunes et al. (2009b), que utilizaram esta técnica para determinar a distribuição espacial de diferentes elementos do clima em distintos setores do Brasil meridional, apontando que tal método de interpolação responde adequadamente aos elementos relacionados à dinâmica climática dessa área.

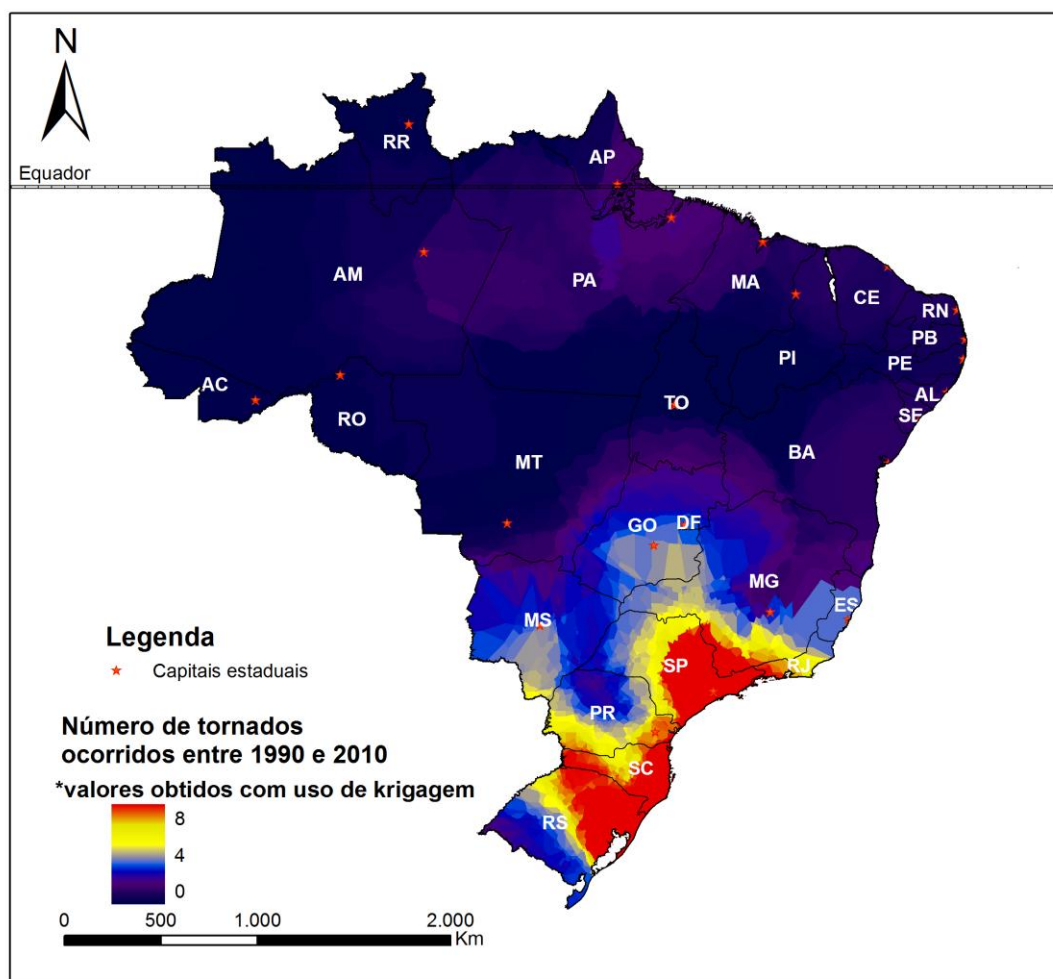


Figura 4.3: Interpolação dos dados referentes aos registros de tornados em território brasileiro. (Elaborado pelo autor)

Assim, produziu-se o mapa exibido na Figura 4.3, que mostra os valores resultantes da interpolação dos dados coletados pontualmente. Na fórmula adotada, tal mapa recebe a denominação NEE (Número de eventos estimados para o setor). Com base nestes dados, foi possível aplicar a fórmula para obtenção do período de retorno esperado para o evento, que advém da divisão entre o **período considerado (em anos)** pelo **número de eventos estimados para o setor (NEE)**; ou seja, $20 / \text{NEE}$ (Figura 4.4). Salienta-se que, como a modelagem proposta considera unicamente episódios registrados em território brasileiro, é esperado que exista algum efeito de borda, provocando ligeira distorção nos valores exibidos nas proximidades das fronteiras do Brasil. A forma irregular do país, que apresenta maior extensão territorial em

baixas latitudes, também pode ser outro fator de distorção. Para minimizar tal efeito, foram executados testes com diferentes interpoladores onde, mais uma vez, a krigagem se mostrou mais eficiente.

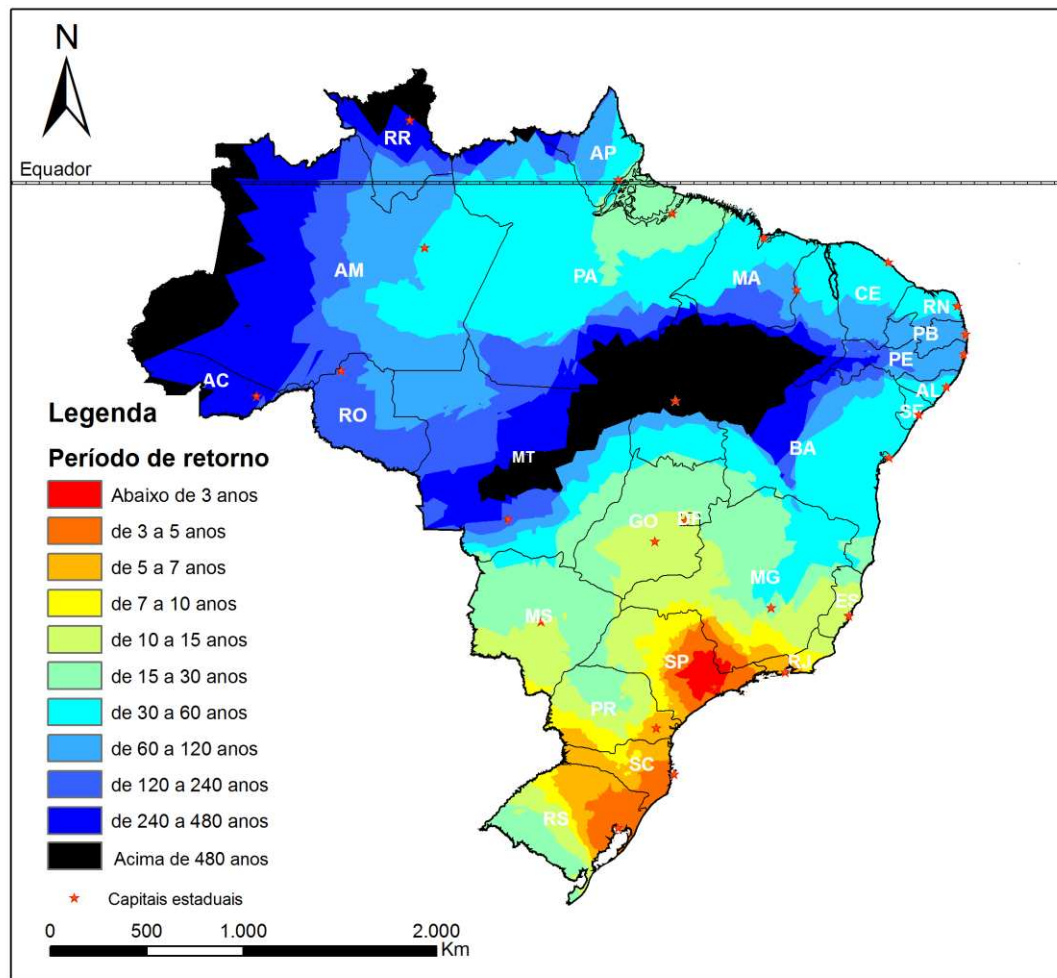


Figura 4.4: Período de retorno dos tornados, desconsiderando fatores relacionados à geomorfologia (Elaborado pelo autor)

Na Figura 4.4, que exhibe o período de retorno estimado para os eventos tornádicos, é possível notar grande concentração dos eventos na porção mais meridional do Brasil. Embora alguns episódios tenham sido registrados na região nordeste e na bacia amazônica, a maior parte desses eventos consiste em trombas-d'água formadas sobre o mar ou grandes rios que, embora tenham gênese similar, são menos energéticos. Tal aspecto, associado à dificuldade de coleta de

registros nessa área – sobretudo na região amazônica, onde há presença de grandes porções de terras desabitadas – motivou a exclusão dessa área para a execução de uma análise mais adequada. Acrescenta-se, ainda, o fato de que trabalhar com todo o território nacional exigiria grande capacidade de processamento dos equipamentos de informática envolvidos, devido a elevada resolução espacial das informações referentes à geomorfologia, fugindo assim da proposta da adoção de uma metodologia compatível com a maioria dos computadores atualmente existentes para uso doméstico.

Desse modo modelou-se mais detalhadamente a parcela territorial exibida na Figura 4.5 que, por consistir na metade sul do território brasileiro, foi denominada de Brasil Meridional. Além de ser o setor de maior probabilidade de ocorrência de tais eventos, essa área apresenta elevada concentração demográfica (Figura 4.6) e grande pujança econômica (Figura 4.7), com presença de instalações agrícolas e industriais, que podem ser diretamente afetadas pela ocorrência de fenômenos relacionados a essas tempestades severas. Ademais, toda a dinâmica econômica envolvida faz com que este setor atue como pólo de atração industrial, tendo como consequência aumento da população e intensificação do fenômeno do espraiamento urbano, o que faz com que mais eventos sejam efetivamente registrados nessa área.

Outro aspecto que motivou a adoção da porção meridional do Brasil como limite da área abrangida pelo modelo probabilístico está no fato de que o produto apresenta excessivas feições poligonais no setor mais ao norte do país. O aparecimento de tais estruturas decorre da escassez de registros de tornados, bem como da elevada distância espacial entre eles. Tais lacunas de informações fazem com que a interpolação passe a generalizar excessivamente os valores apresentados – caso perceptível por meio de linhas retilíneas que surgiram no norte dos estados do Mato Grosso do Sul e Espírito Santo.

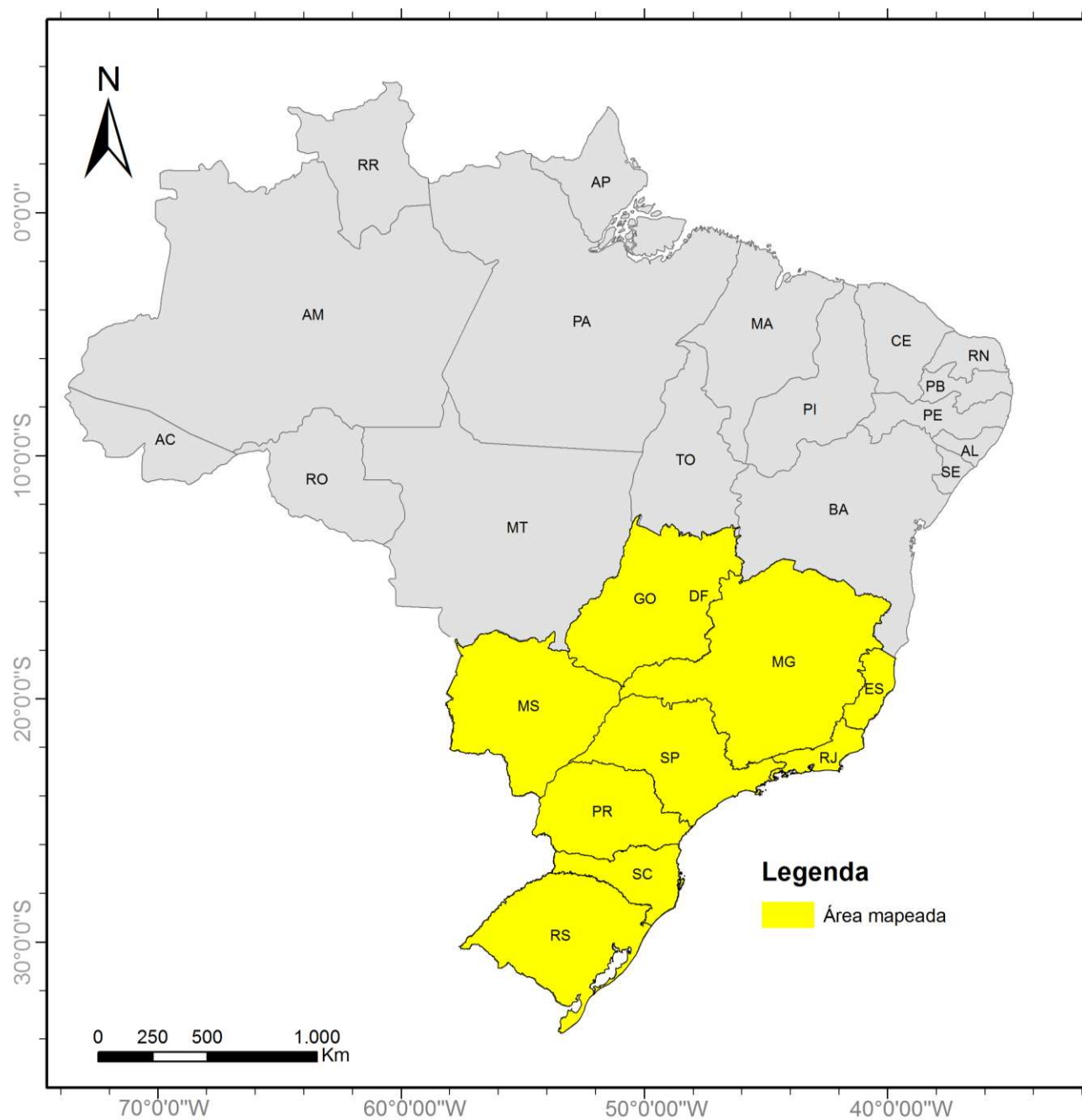


Figura 4.5: Área considerada para elaboração do modelo (Elaborado pelo autor)

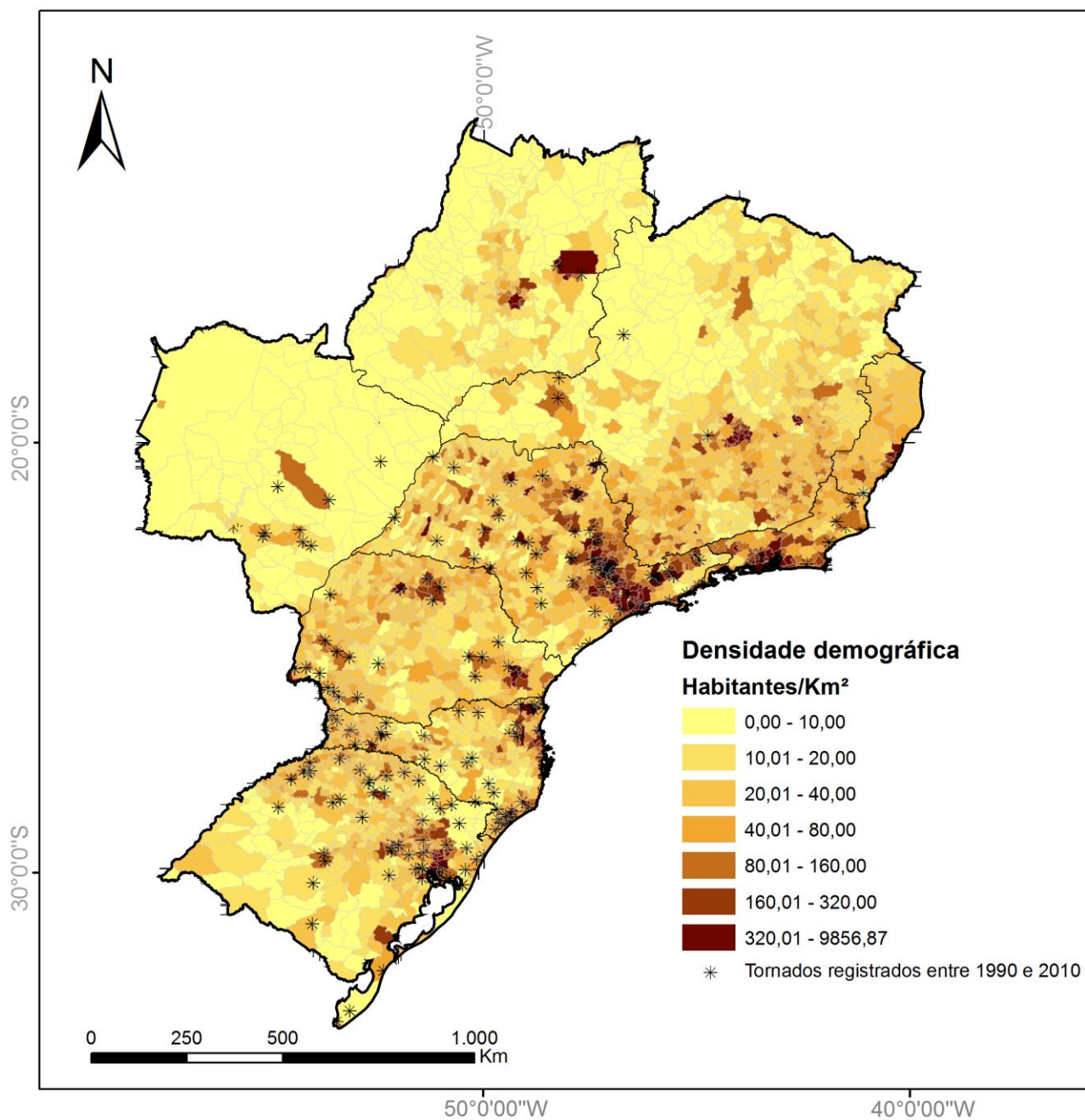


Figura 4.6: Densidade demográfica dos municípios do setor modelado e registros de tornados entre 1990 – 2010
(Fontes: IBGE 2010 e levantamento do autor)

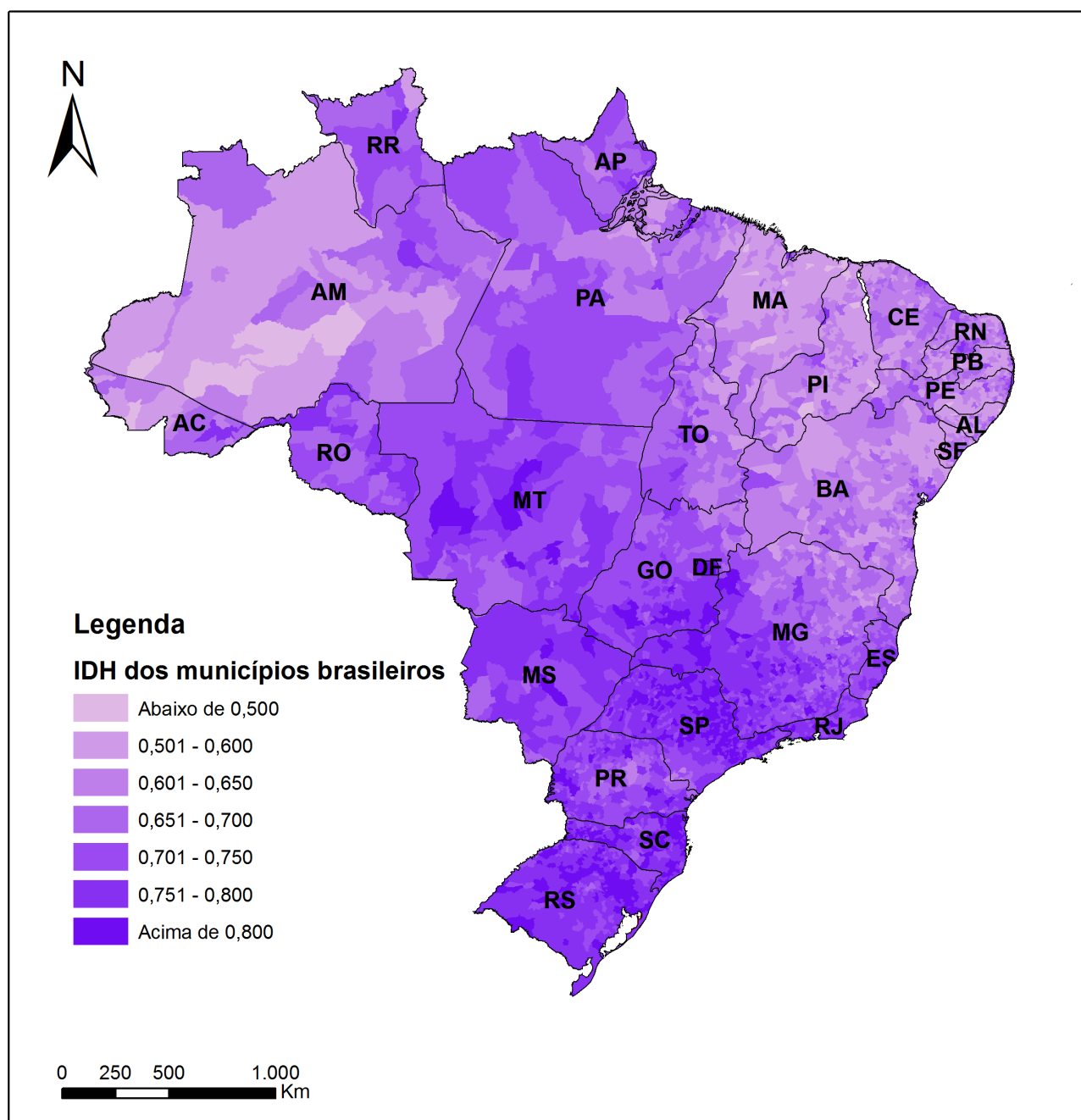


Figura 4.7: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios brasileiros.

(Fonte: IBGE – Elaborado pelo autor)

Definido o setor a ser avaliado, foram feitas as coletas dos dados referentes às suas altimetrias. Para isso, foram utilizadas imagens SRTM¹⁰, com resolução espacial de 90 metros, disponibilizadas gratuitamente pelo USGS, sob autorização da NASA. Tais imagens foram tratadas com uso do Software Envi 4.7, tendo seu georreferenciamento reajustado para melhor posicionamento no terreno e, posteriormente, foi elaborado um mosaico em níveis de cinza, no formato raster (Figura 4.8).

O mosaico foi tratado no software ArcGis onde, mediante aplicação da função SLOPE, foi elaborado um modelo de declividades, o qual possibilitou a visualização e determinação da variação nos graus de declividade ao longo de toda a área, evidenciando a existência de elevadas inclinações no terreno nas áreas abrangidas pelas serras do Mar e da Mantiqueira. Grandes valores de declividade também são notados nas áreas serranas dos estados da região sul do país.

¹⁰ SRTM é um acrônimo para *Shuttle Radar Topography Mission*, que consistiu em um sistema de coleta de dados mediante um Radar instalado na *Space Shuttle Endeavour*. Nessa missão, lançada em fevereiro de 2000, a espaçonave orbitou a Terra por 11 dias, coletando informações de alta resolução sobre o relevo de toda a superfície do planeta.

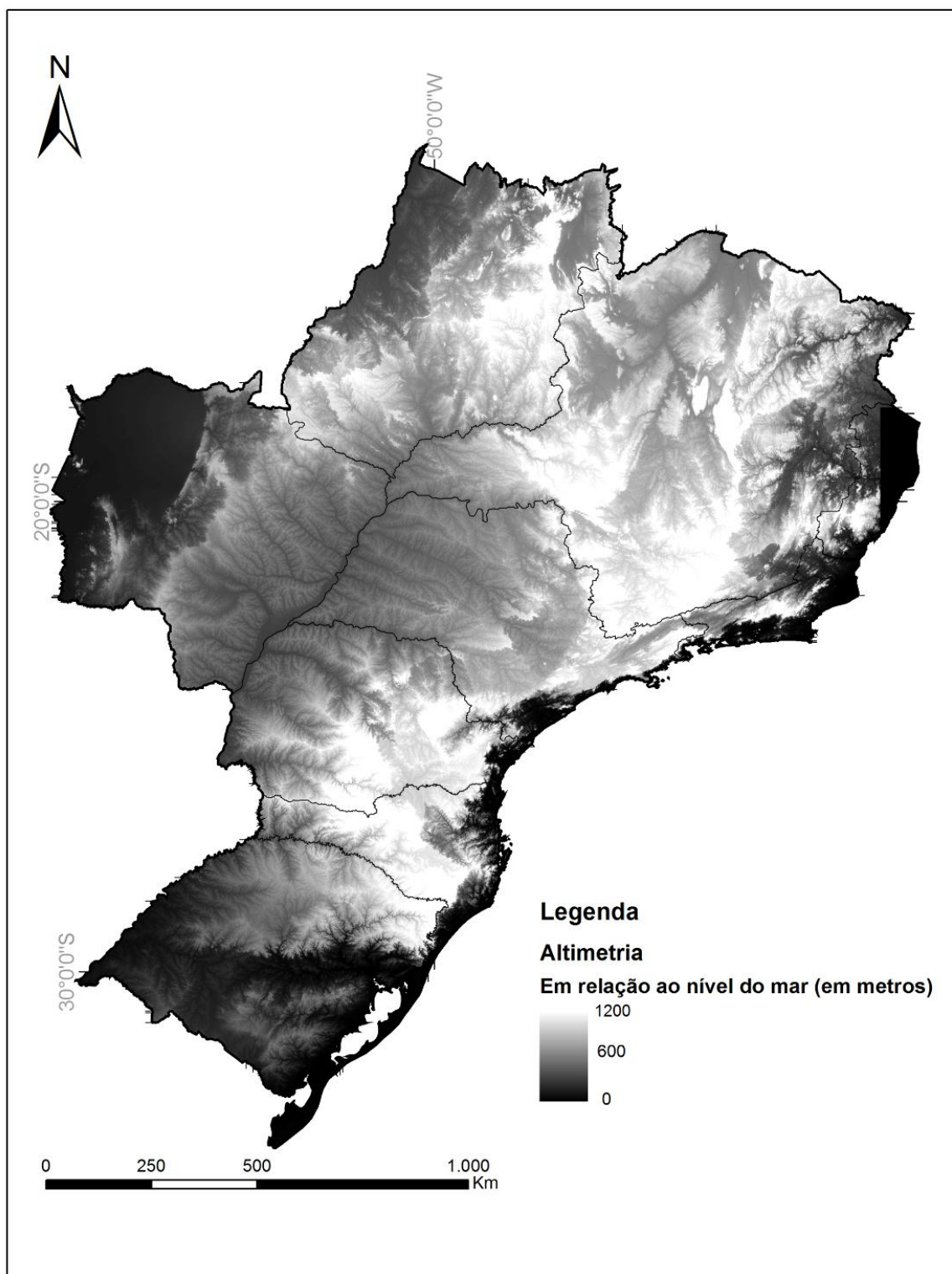


Figura 4.8: Altimetria da área modelada (Fonte: SRTM/NASA – Elaborado pelo autor)

Após a obtenção dos valores das declividades, foi realizada reclassificação dessa imagem, separando-a em três diferentes categorias, conforme a inclinação do terreno: a) **Baixa**, com declividades inferiores a 5%; b) **Média**, com declividades entre 5 a 10 %; c) **Alta**, com declividades superiores a 10% (Figura 4.9). A escolha de tais classes justifica-se em função da constatação de que a maior parte dos tornados ocorrem em áreas relativamente planas (ALLABY, 2004). Dada a heterogeneidade do terreno mapeado, os valores limítrofes adotados (5% e 10%) cumprem a função de separar apropriadamente as áreas mais planas das áreas mais íngremes.

Ressalta-se que tais declividades foram determinadas por meio de imagens SRTM, com resolução espacial de 90 metros, valor também adotado como resolução de saída destes dados .

Para efetuar a ponderação da declividade, dando a cada classe seu respectivo peso dentro do modelo de risco de tornados foi feita contagem dos eventos tornádicos observados em cada setor, o que permitiu concluir que somente um décimo dos episódios aconteceram em locais com declividades superiores a 10%. Um quarto deles ocorreram em áreas com declividades variando entre 5 a 10% e a grande maioria dos eventos - 65% - em áreas relativamente planas, cujas declividades não superam 5%. Tal distribuição possibilitou a execução de nova reclassificação na imagem, que então recebeu diferentes pesos conforme o percentual de tornados em cada setor de diferente declividade (0,10; 0,25 e 0,65 – valores indicados na Figura 4.9).

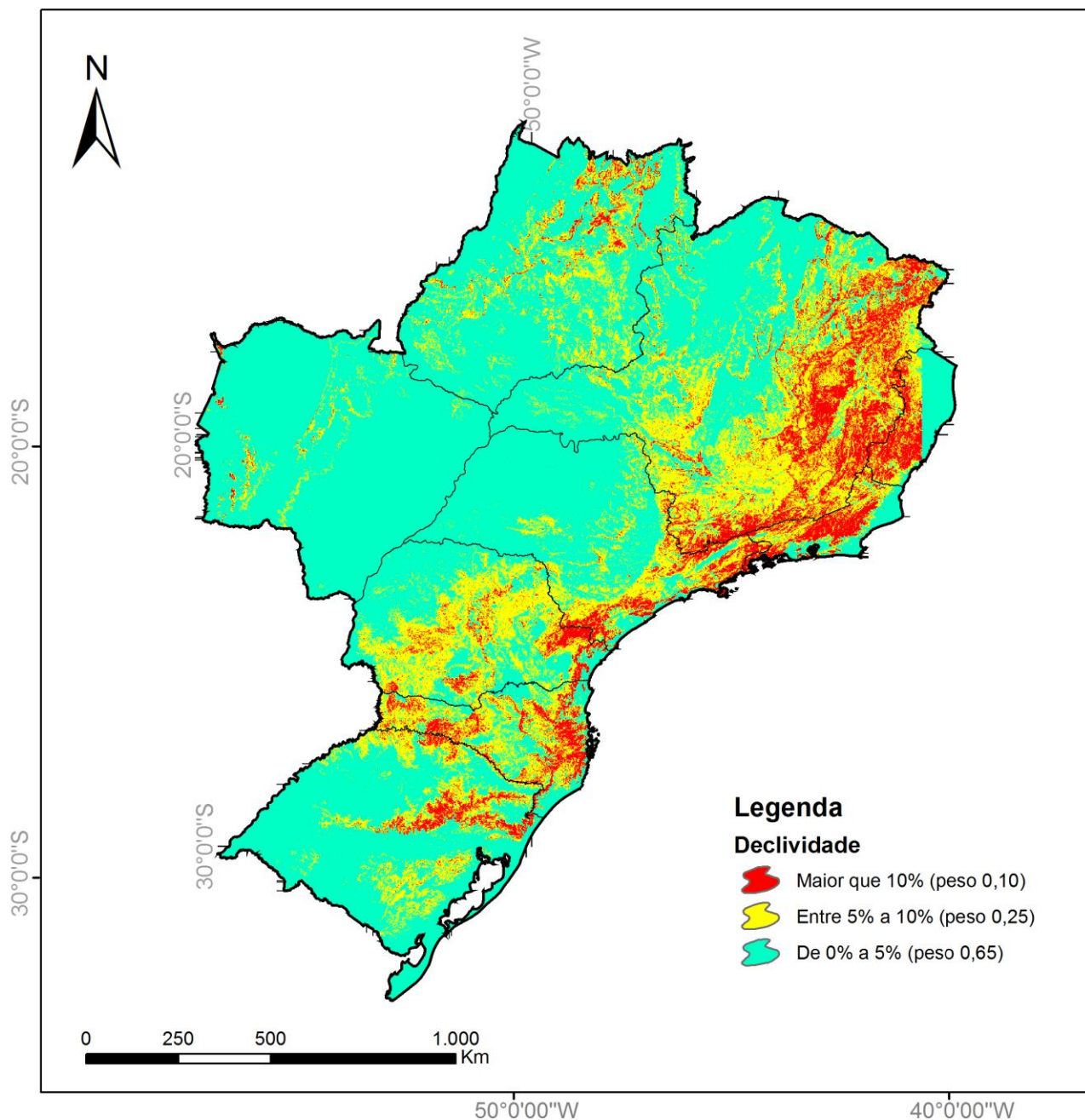


Figura 4.9: Declividades e valores adotados na ponderação. (Elaborado pelo autor)

Usando a ferramenta “*Raster Calculator*” no ArcGis 9.3, efetuou-se operação matemática de divisão entre esse resultado e os valores presentes no mapa contendo a distribuição esperada do período de retorno dos eventos (valores da Figura 4.9 divididos pelos da Figura 4.4), obtendo-se, dessa forma, uma imagem que exhibe a influência da declividade para o evento estudado

(Figura 4.10). Na fórmula aplicada para obtenção do modelo apresentado neste trabalho, este elemento foi denominado **declividade ponderada**.

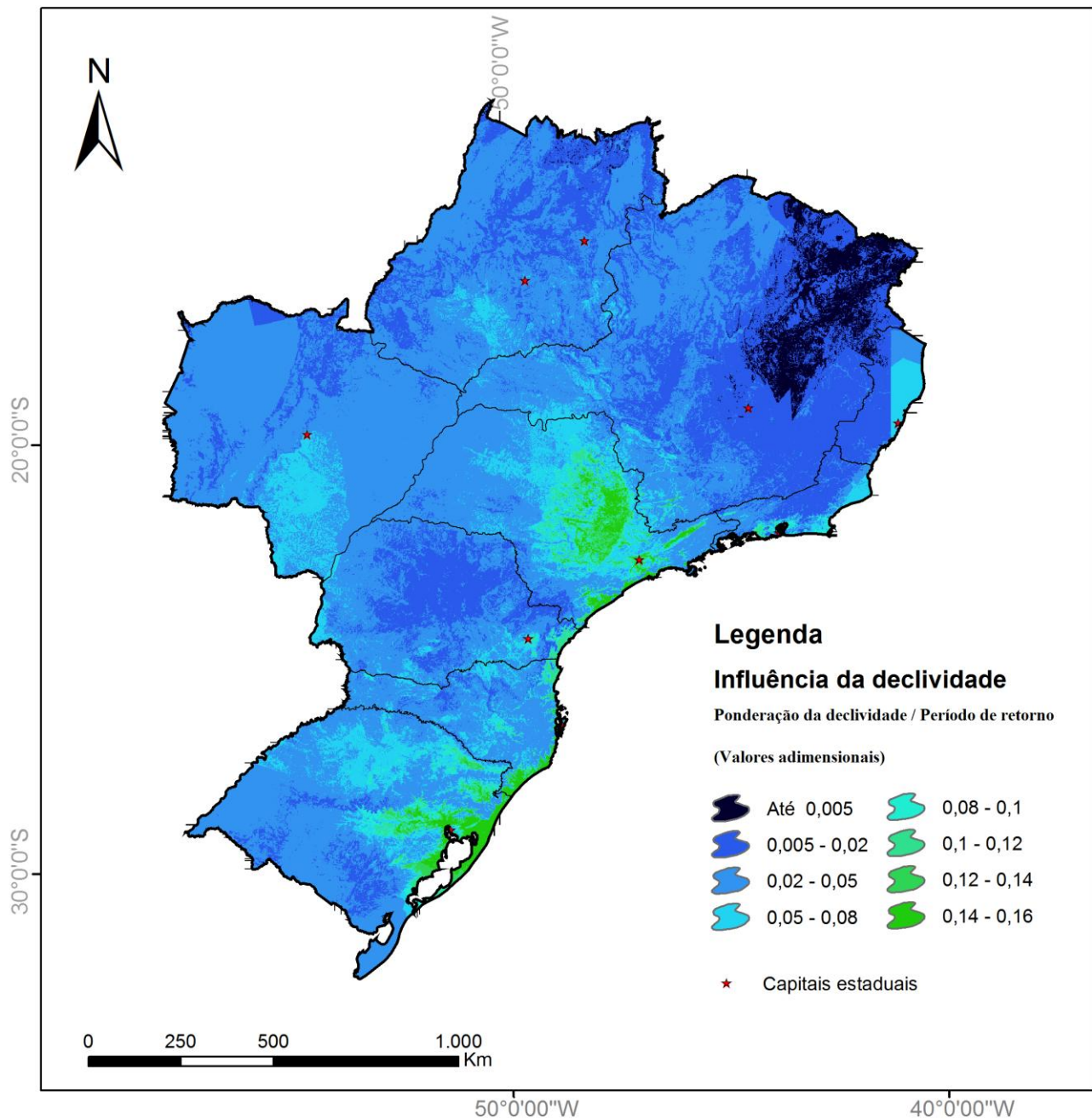


Figura 4.10: Valores resultantes da divisão entre declividade ponderada e período de retorno em anos (Elaborado pelo autor)

Procedimento semelhante foi empreendido para determinar como se estrutura a influência da altimetria na ocorrência desses fenômenos. Reclassificou-se o modelo digital de elevação (Figura 4.8) nas três distintas categorias aqui expostas: a) abaixo de 700 metros; b) entre 700 e 1000 metros e c) acima de 1000 metros (Figura 4.11). Em seguida foi verificada a distribuição percentual dos tornados ocorridos em cada setor, de modo a obterem-se os seguintes valores: 84% das ocorrências concentram-se em altitudes inferiores a 700 metros; 14% entre 700 e 1000 metros; 2% em altitudes superiores a 1000 metros. Para facilitar as operações matemáticas no software ArcGis, tais valores foram divididos por 100, sendo assim convertidos para 0,84; 0,14 e 0,02, respectivamente. Na fórmula desenvolvida, tal elemento foi denominado de **altitude ponderada**.

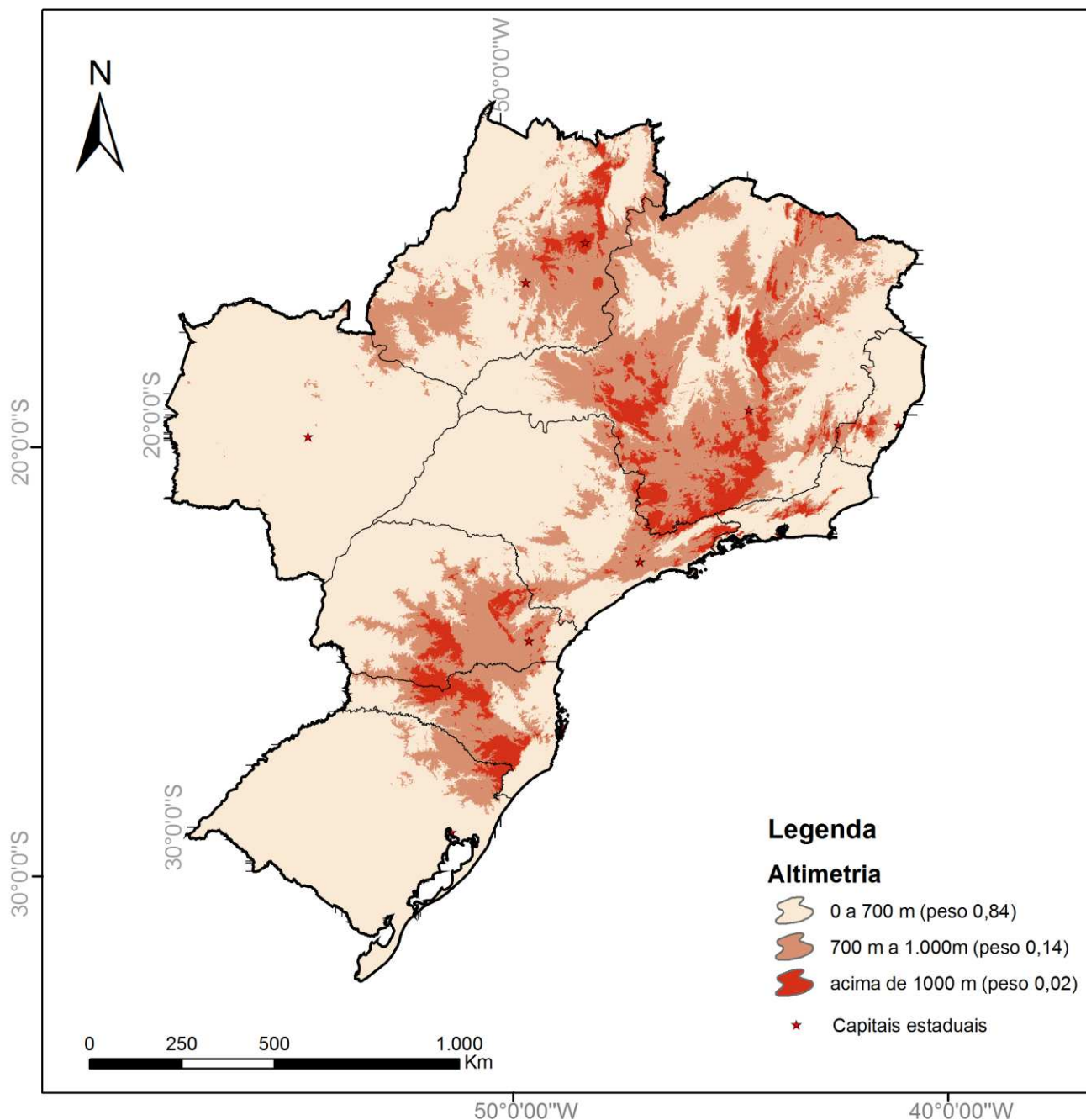


Figura 4.11: Faixas de altitudes consideradas e valores adotados na ponderação (Elaborado pelo autor)

Novamente usou-se a ferramenta “*raster calculator*”, visando a obtenção de valores relacionados à divisão entre a ponderação da altimetria e o período de retorno (Figura 4.12), procedimento que permitiu a determinação do grau de relacionamento entre a altitude e a ocorrência de tornados.

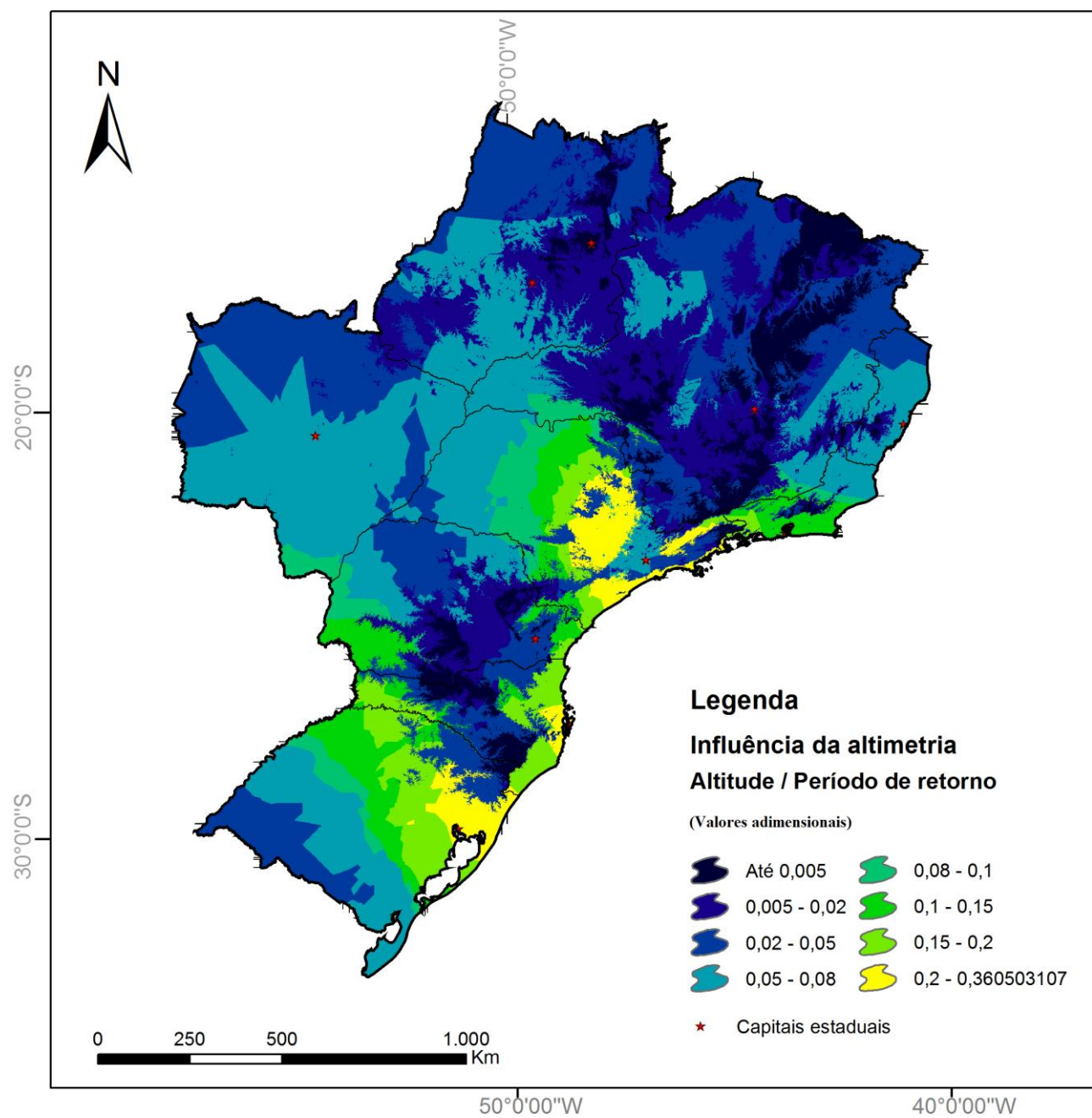


Figura 4.12: Valores da divisão entre a altitude ponderada e o período de retorno em anos. (Elaborado pelo autor)

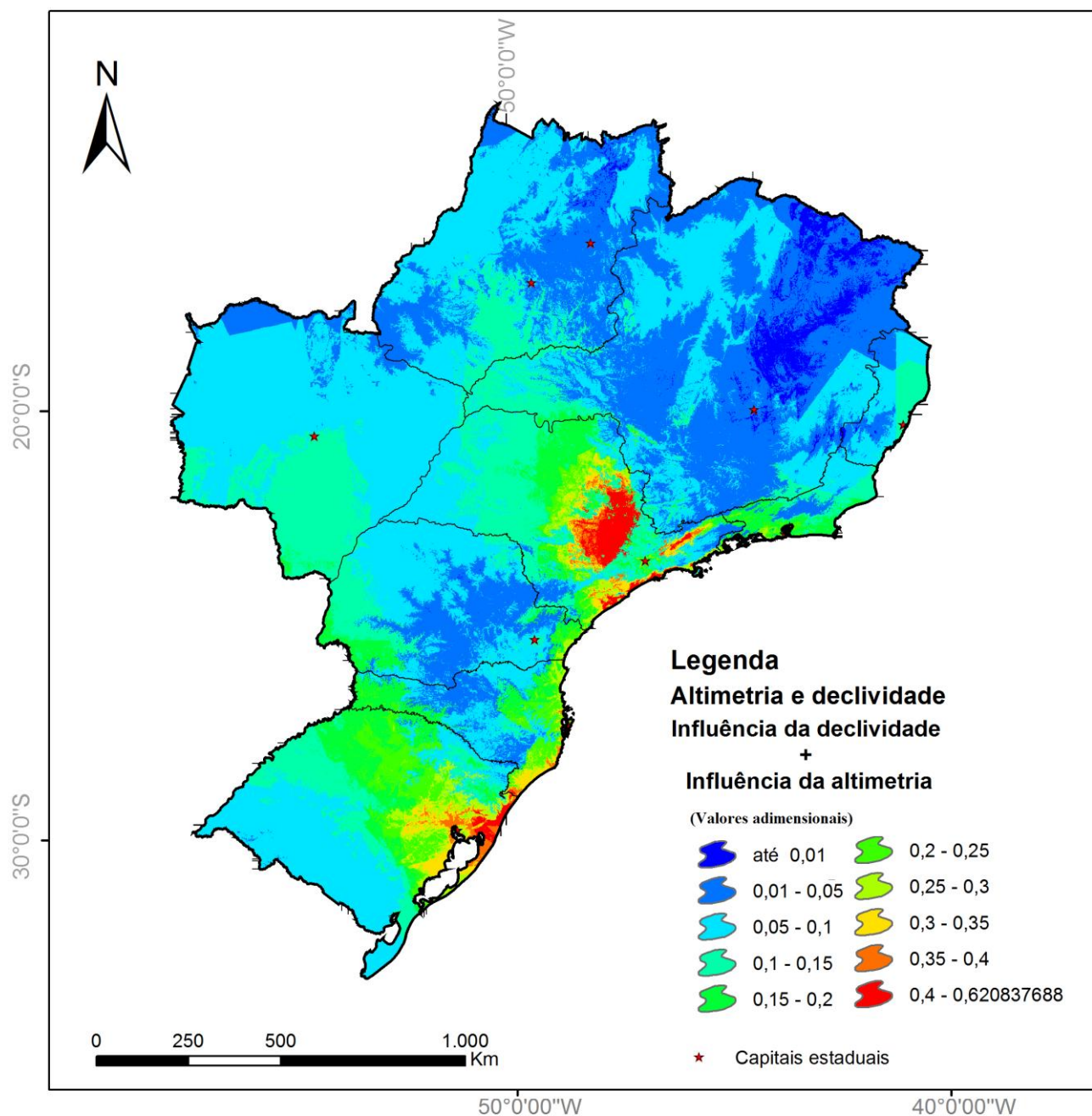


Figura 4.13: Junção dos mapas relativos à influência da altimetria e declividade. (Elaborado pelo autor)

Em seguida os mapas exibindo a influência da altimetria e a influência da declividade foram somados, obtendo-se um mapa contendo a junção dessas informações (Figura 4.13).

É importante enfatizar que, por se tratarem de dados derivados de divisões baseadas na atribuição de valores ponderados conforme a categorização da feição modelada, os mapas que

exibem a influência da declividade (Figura 4.10), da altimetria (Figura 4.12) e da declividade e altimetria (Figura 4.13), apresentam unidades adimensionais. Destaca-se que outros estudos baseados em análises geográficas de múltiplos critérios, como o fator topográfico ou a equação universal de perda de solos também apresentam valores adimensionais (Wischmeier e Smith, 1960; Wischmeier e Smith 1965).

Diversas pesquisas indicam que a presença de grandes massas de água são capazes de induzir a ocorrência de tornados, pois a água possui maior calor específico que os materiais que compõem o solo, gerando assim forte contraste térmico, que pode culminar na formação de tornados, mesmo na ausência de supercélulas. Dotzek (2001), destaca que:

“(...) over water, especially over large lakes, the temperature difference between the surface and the atmospheric boundary layer will be largest around sunrise. This unstable moist boundary layer will be highly susceptible to any convective forcing due to cumulus development in higher levels and thus enhance the likelihood of non-supercell tornado genesis.”
(Dotzek, 2001 p.239)

O estudo de Kling et al. (2003), desenvolvido para a região dos Grandes Lagos no Canadá, salienta que corpos hídricos de vasta proporção podem causar alterações suficientes na circulação atmosférica, favorecendo a ocorrência de movimentos convectivos que podem gerar tempestades. Passe-Smith (2008) também relata associação entre a proximidade de corpos hídricos e tornados.

Visando a produção de um modelo que represente a realidade da maneira mais fidedigna possível, procurou-se considerar os grandes corpos d'água presentes na região mapeada, pois observações mais minuciosas, feitas ao mapear a distribuição espacial dos eventos, permitiram a constatação de que há incremento de 30% na frequência do fenômeno nas áreas mais próximas à grandes corpos d'água. Desse modo, delimitou-se uma zona de *buffer* envolvendo áreas situadas em um raio de 40 km de distância dessas massas hídricas (Figura 4.14). Tal distância foi atribuída em função de dois aspectos: a) trata-se do diâmetro médio apresentado pelas supercélulas convectivas que atuam na área de estudo; b) observações empíricas mostraram que grande percentual dos episódios estudados concentrava-se nesse setor.

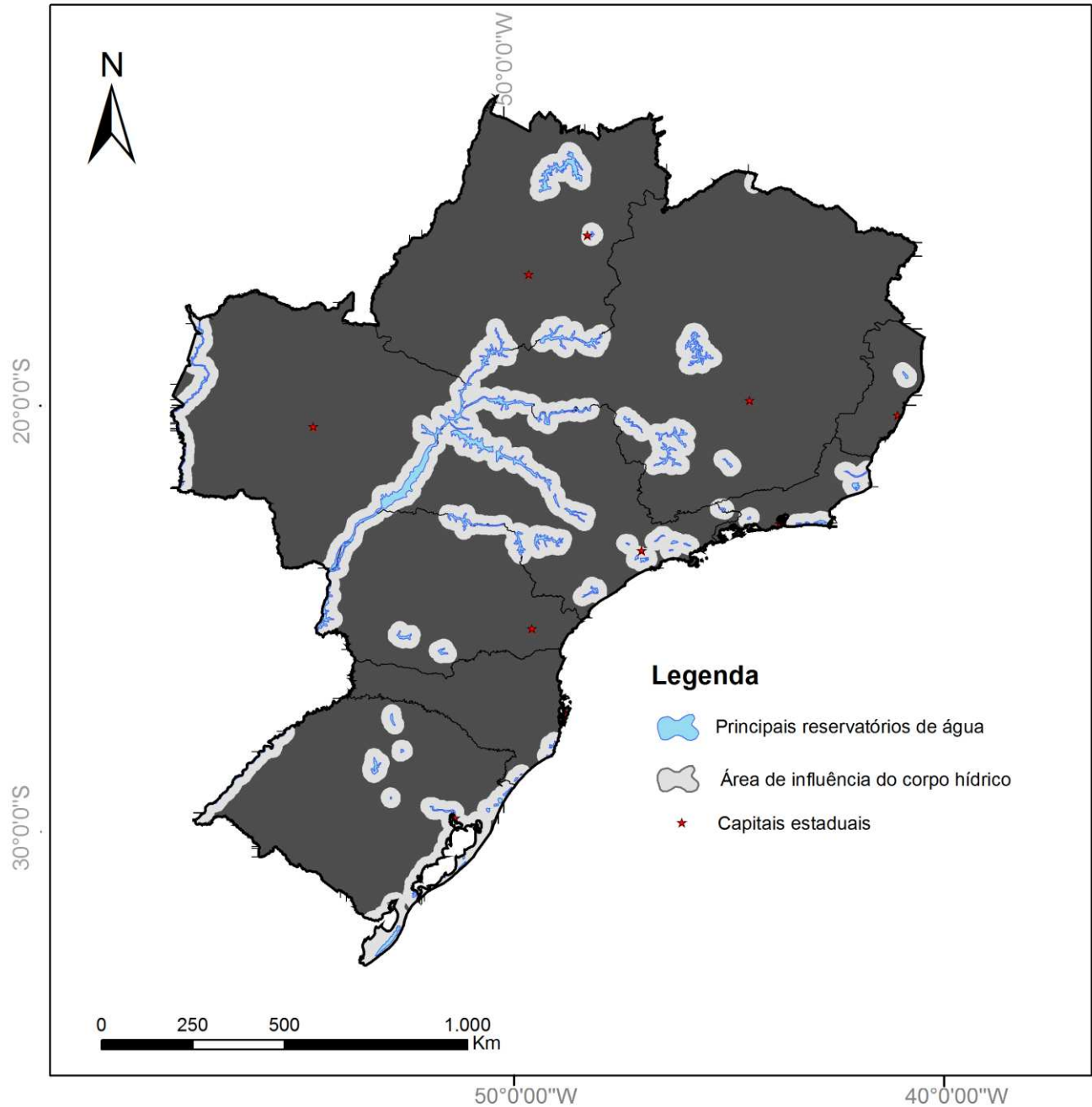


Figura 4.14: Grandes corpos hídricos existentes no setor e sua área de influência (Elaborado pelo autor)

Alguns rios brasileiros foram amplamente modificados por represamentos - é o caso do Tietê, que cruza o estado de São Paulo: seu canal fluvial encontra-se tão alterado em função da construção de grandes barragens, que é possível afirmar que na verdade não corresponde mais a

um rio *stricto sensu*, tratando-se na verdade de uma sucessão de lagos que cruza transversalmente o estado.

Assim, optou-se pela adição da influência dos corpos hídricos ao modelo previamente elaborado (Figura 4.13), de forma que as áreas sob influência dos corpos hídricos receberam incremento de 30% em seus valores (Figura 4.15).

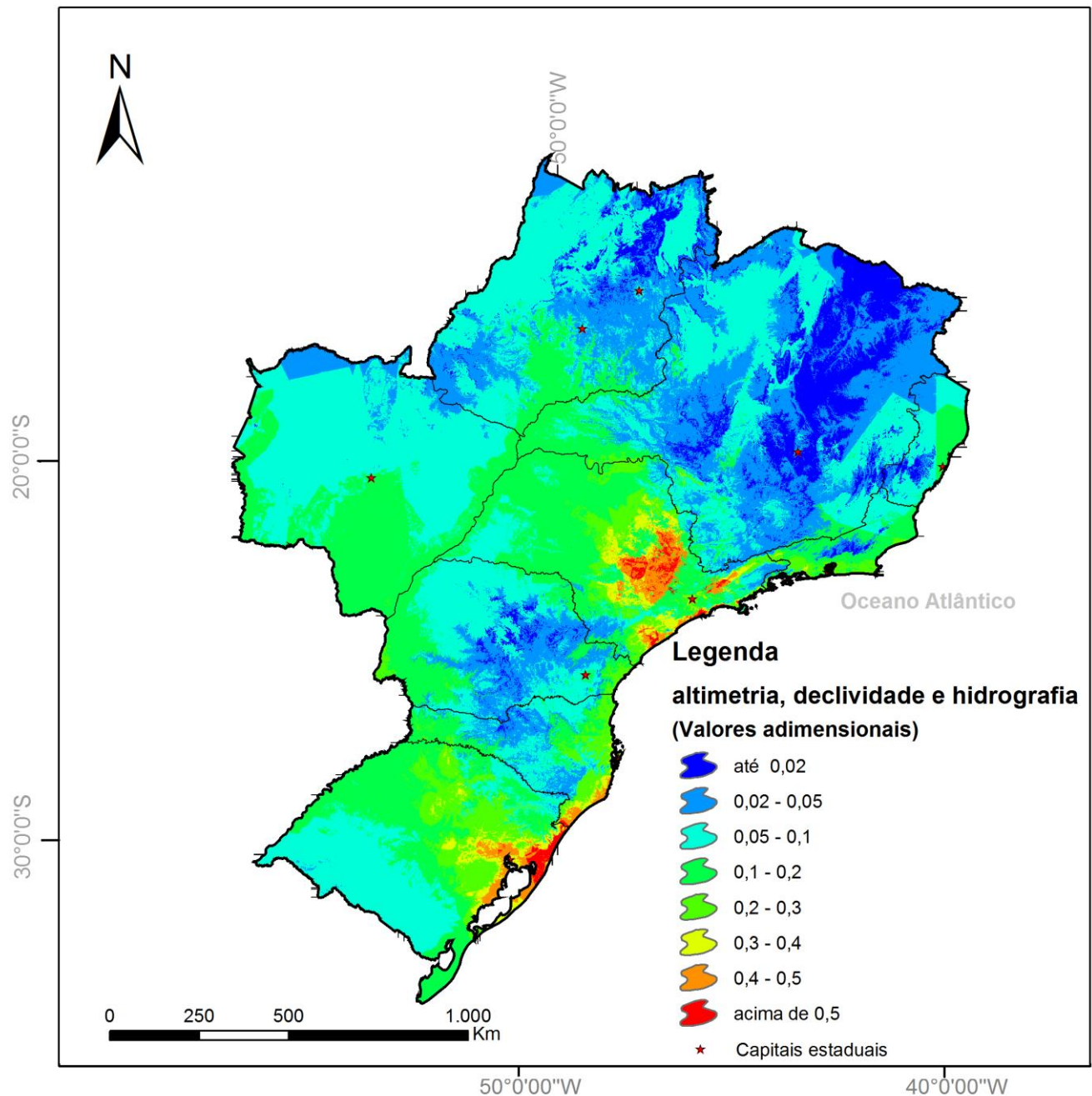


Figura 4.15: Mapa envolvendo a influência da altimetria, declividade e hidrografia para a ocorrência de tornados - MADH. (Elaborado pelo autor)

Com a produção desse mapa, observou-se a necessidade da recategorização dos valores da legenda, com a finalidade de torná-las mais facilmente compreensíveis. Dessa maneira, optou-se pela conversão desses dados em percentuais indicando o risco de ocorrência desses episódios em um período de um ano.

Assim, foram desenvolvidas e aplicadas as seguintes fórmulas:

$$\mathbf{PR = PC \div NEE}$$

Onde:

- PR => Período de Retorno, em anos;

- PC => Período considerado para a coleta de dados do estudo, em anos (neste caso, pelos motivos já discutidos anteriormente, adotou-se o período de 20 anos).

-NEE => Número de eventos estimados para o setor, cujos valores foram obtidos por meios de técnicas de interpolação, utilizando-se krigagem, conforme parâmetros já explicitados anteriormente.

$$\mathbf{IADH = (IA + ID) * ICH}$$

Onde:

- IADH => Influência da altimetria, declividade e hidrografia;

- IA => Influência da altimetria = **Altitude ponderada** $\div$ **PR**

- ID => Influência da declividade = **Declividade ponderada** $\div$ **PR**

- ICH => Influência dos grandes corpos hídricos - Variável conforme a distância em relação aos grandes corpos d'água. Caso o ponto em questão esteja localizado a mais de 40 km desses corpos hídricos, o valor estipulado foi 1; caso a distância seja inferior a 40 km, o valor adotado para ICH foi 1,3 (incremento de 30%).

$$\mathbf{Vr = [(IADH * 100) / VMax] / PRmin}$$

Onde,

- **Vr** = Valores de risco (em percentual)

- **IADH** = Valores pontuais de cada pixel do mapa envolvendo a influência da altimetria, declividade e hidrografia (cuja fórmula já foi explicitada);

- **VMax** = Valor pontual máximo possível do IADH encontrado em todo o setor mapeado.

- **PRmin** = Período de Retorno mínimo.

Para transformar o valor obtido em um percentual anual do risco de ocorrência foi preciso desenvolver fórmula baseada em uma “regra de três”. Somando todos os valores máximos possíveis dos mapas que serviram como base para a elaboração do produto final, chegou-se ao índice 0,84 (ou seja, o valor máximo possível para IADH é 0,84). O período de retorno mínimo encontrado foi de 2,3 anos. Desse modo, a fórmula foi definida como:

$$Vr = [(IADH * 100) / 0,84] / 2,3$$

Assim, foi possível obter valores de risco que correspondem à possibilidade de ocorrência de um tornado em um período de um ano (Figura 4.16), que foi usado como base para as análises presentes nesse estudo.

A opção pela análise em mesoescala foi motivada pela grande área de abrangência do fenômeno no Brasil. Com isso, foi necessária a escolha de uma resolução mais abrangente para a imagem de saída, permitindo sua execução em computadores pessoais comuns. Embora o SRTM forneça dados com 90 metros de resolução espacial, foi necessária a redução da resolução dos dados de saída, adotando-se pixels com arestas equivalentes a 1000 metros, devido a dois fatores limitantes:

- O elevado tamanho ocupado pelas imagens geradas, que mesmo com a resolução de 1000 metros, ocuparam 2,5 Gigabytes de disco rígido, cada uma.
- A velocidade do processamento de todos os cálculos necessários para execução dos modelos propostos. Devido à grande extensão territorial mapeada, se mantida a resolução de 90 metros, os computadores comuns simplesmente travam ao executar as operações complexas que envolvem a elaboração desses modelos. Tal fato não ocorre quando se adota uma resolução menos detalhada (1000 metros).

Salienta-se que, devido à escala adotada, essa mudança na resolução não prejudica as análises efetuadas. Se necessário, os dados de entrada desse modelo poderão ser utilizados para o desenvolvimento de imagens em resoluções mais detalhada em um futuro próximo, bastando para isso o uso de computadores mais potentes.

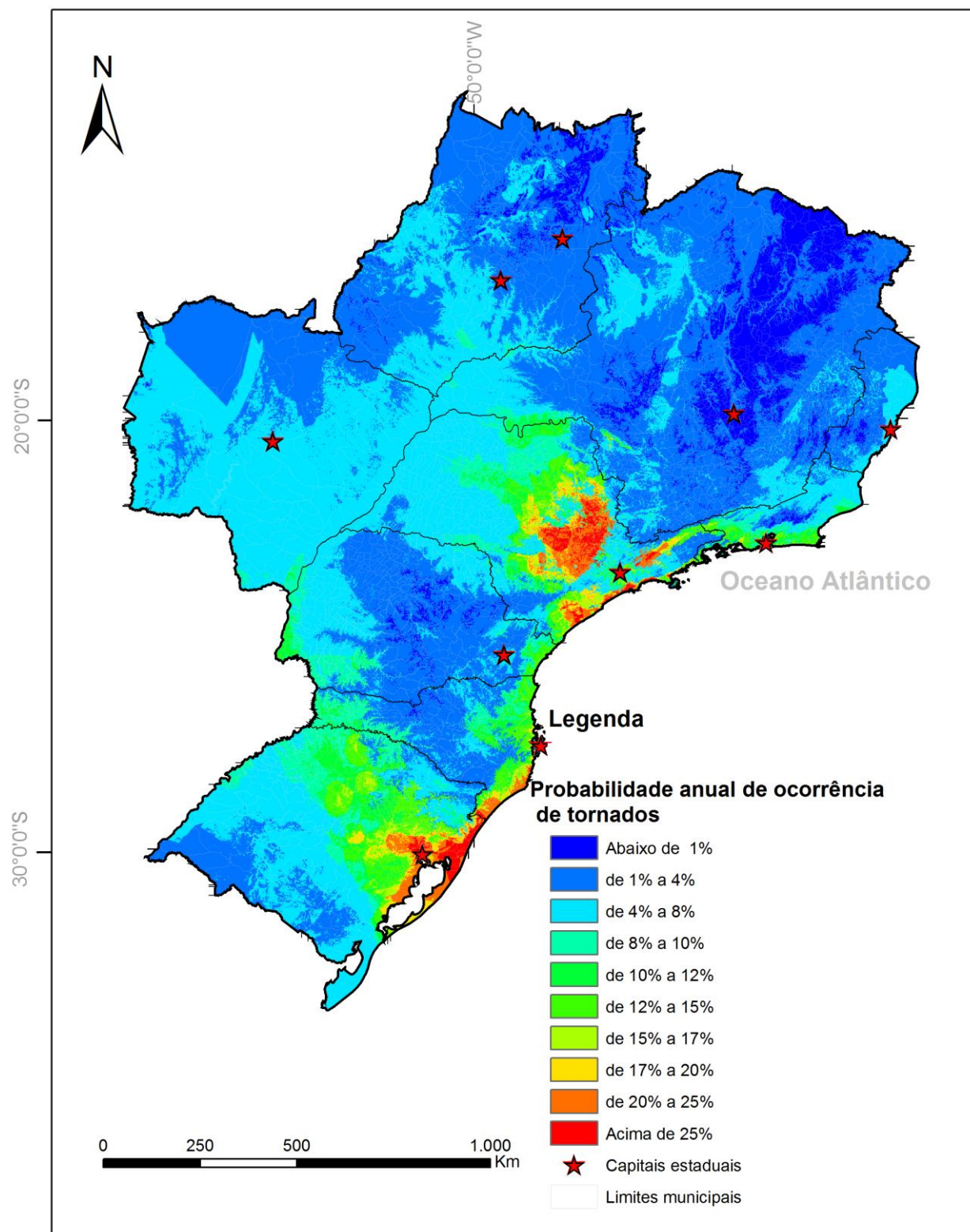


Figura 4.16: Saída do modelo exibindo a probabilidade anual de ocorrência de tornados. (Elaborado pelo autor)

4.2 Elaboração da escala brasileira de ventos

Com a finalidade de facilitar a análise dos episódios relacionados a ventos intensos ocorridos em território brasileiro, optou-se pela criação de uma escala que possibilitasse a medição das velocidades do deslocamento do ar em tais ocorrências. Denominada de EBRV (acrônimo de escala brasileira de ventos), tal categorização foi elaborada com base nos danos registrados por alguns eventos que tiveram velocidade dos ventos efetivamente medidas por aparelhos, ou estimadas por estudos científicos.

A pesquisa em artigos de jornais e relatórios de avaliação de danos da defesa civil nacional (AVADAN) foram úteis, uma vez que proporcionaram o ferramental necessário para a elaboração de tal escala. Entretanto, é determinante enfatizar que os AVADAN's apresentam inúmeros erros de preenchimento, sendo que muitos episódios encontram-se classificados em categorias erradas, não sendo incomum encontrar confusão entre chuva intensa e trombas d'água, assim como tornados classificados com códigos referentes à atuação de ciclones. Em decorrência da existência de tais disparates, este tipo de documento foi utilizado de forma limitada.

Para sua elaboração procurou-se as informações mais precisas possíveis quanto às velocidades dos ventos. Tendo por base este valor, procurou-se coletar as características dos danos decorrentes da atuação da tempestade, possibilitando a constatação de que certas estruturas colapsam à partir de certa intensidade dos ventos. Como exemplo, pode-se citar telhas de cerâmica, que começam a ser quebradas quando os ventos superam os 100 km/h e são totalmente retiradas dos telhados quando os ventos suplantam 130 km/h. Tal aspecto pode ser certificado por recorrentes relatos jornalísticos, que reportam quebras de telhas e destelhamentos em eventos que atingiram respectivas magnitudes.

Baseado em tais aspectos, foram agupados danos de diferentes características para estruturas comumente encontradas no Brasil, de modo a possibilitar o desenvolvimento da escala apresentada no capítulo 6 deste trabalho.

5 - Ocorrências de tornados no Brasil

Sabe-se que o chamado “*Tornado Alley*” – que consiste em uma área que abrange parte da região meio-oeste e sul dos Estados Unidos – é a região do planeta mais propícia à ocorrência de tornados (GRAZULIS, 2001; LINDOP, 2003; ALLABY, 2004). Todavia, a porção sudeste da América do Sul situa-se em segundo lugar no *ranking* mundial de incidência de tais eventos (BECK e VERZENHASSI, 2008). Embora previamente já houvesse conhecimento teórico da possibilidade de ocorrência (FUJITA, 1973), a formação de tornados em território brasileiro somente foi aceita como realidade pela comunidade científica após o ano de 1991, tendo como divisor de águas a ocorrência de um evento tornádico de grandes proporções atingindo parte da cidade de Itu, no estado de São Paulo durante a madrugada de 30 de setembro deste ano. Tal episódio acarretou danos de elevadas proporções, causando a morte de dezesseis pessoas, deixando enorme rastro de destruição ao longo de sua trajetória, que seguiu além da cidade de Itu, atingindo áreas rurais de quatro cidades vizinhas (Cabreúva, Indaiatuba, Porto Feliz e Salto).

Diversos tornados ocorreram anteriormente ao registrado em Itu, dentre os quais destacam-se os das cidades de Ivinhema, MS em agosto de 1989, Correia Pinto, SC, em novembro de 1989, Xanxerê, SC, em julho de 1987, Piedade, SP, em maio de 1987, entre outros. Entretanto, o desconhecimento da possibilidade de ocorrência de tornados no Brasil fez com que tais eventos fossem subestimados e classificados simplesmente como “fortes vendavais”. Posteriormente, pesquisas desenvolvidas por Marcelino (2003) e Marcelino et al., (2004) mostraram que, na verdade, muitos destes fenômenos consistiram em tempestades tornádicas.

É conveniente salientar que a menor incidência de informações referentes a períodos mais antigos não indica que, necessariamente, esses eventos estejam se tornando mais frequentes. Há de se considerar que o avanço tecnológico atual faz com que equipamentos de registros de imagens estejam embutidos em telefones celulares, os quais são carregados por grande parte da população brasileira, consistindo em uma eficiente ferramenta para registro de feições atípicas ao cotidiano, como o caso dos funis presentes nas nuvens em episódios tornádicos. A Figura 5.1 mostra uma relação diretamente proporcional entre a elevação no número de aparelhos de telefonia celular nas mãos da população e os totais de tornados efetivamente registrados no país. A linha de tendência referente à ocorrência de tornados foi elaborada visando evitar distorções nos dados, que poderiam ocorrer no caso da presença de algum período meteorologicamente

atípico, deixando ainda mais nítida a relação entre a disseminação dos telefones celulares e os registros dos eventos (Figura 5.2). Tal aspecto decorre do fato de grande parte desses aparelhos serem dotados de dispositivos que permitem a captura de imagens, tais como câmeras fotográficas e filmadoras digitais. O barateamento dessa tecnologia tem contribuído em muito com a validação de episódios classificados como possíveis tornados, uma vez que o registro fotográfico permite dirimir quaisquer dúvidas quanto sua ocorrência.

O espraçamento das cidades é outro fator que certamente implica em grande aumento nos registros, pois atualmente existem mais pessoas espalhadas pelo território, havendo menor número de áreas sem a presença humana. Portanto, há de se considerar que fenômenos climáticos não tão usuais tendem a ser mais registrados nos dias atuais.

Ainda assim, como os tornados são fenômenos bastante efêmeros e localizados, é de se esperar que grande parte das ocorrências se passe sem registro fiável. Considerando que nas últimas décadas houve expansão da urbanização no Brasil, com consequente avanço da distribuição populacional sobre terras antes desocupadas, pode-se elocubrar que tais aspectos estejam relacionados ao aumento numérico das informações registradas. Por outro lado, também há de se considerar que esse espraçamento urbano favorece o surgimento de ilhas de calor (LOMBARDO, 1985), o que pode induzir ou facilitar a formação de grandes sistemas de tempestade, pois a substituição da cobertura natural do solo pelos materiais antrópicos é capaz de induzir intensificação nos movimentos convectivos das parcelas de ar situadas sobre tais áreas.

Considerando tais aspectos, deve-se esperar que haja incremento nos totais de eventos registrados no Brasil ao longo dos próximos anos, seja pela propagação de tecnologias que facilitem a captura de imagens do cotidiano, ou por possível aumento nas ocorrências, decorrente das modificações nos parâmetros físicos atmosféricos ocasionadas pela expansão dos centros urbanos. Assim, é imprescindível a realização de um monitoramento mais constante de tais formações.

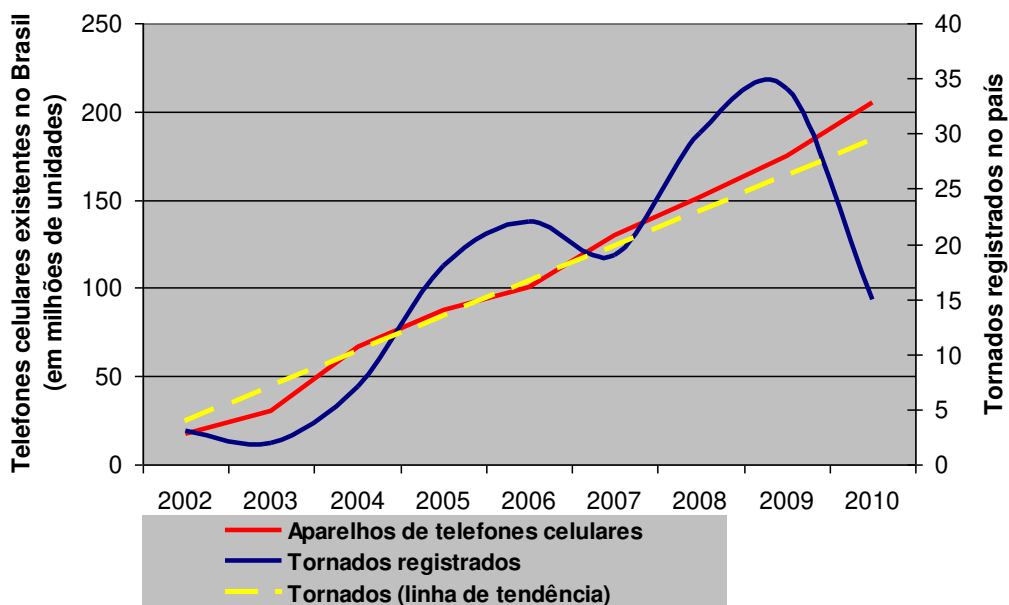


Figura 5.1: Comparação entre os totais de aparelhos de telefonia celular existentes no Brasil (segundo a ANATEL) e o número de tornados registrados. (Elaborado pelo autor)

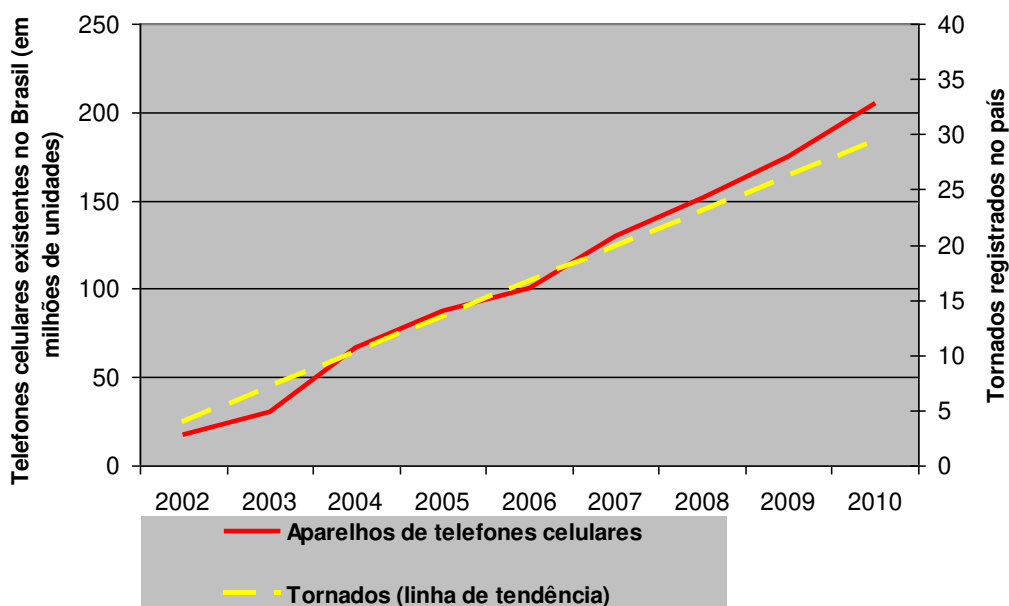


Figura 5.2: Comparação entre os totais de aparelhos de telefonia celular existentes no Brasil (segundo a ANATEL) e a linha de tendência referente ao total de tornados registrados a cada ano. (Elaborado pelo autor)

Destaca-se ainda que, para este estudo, há distinção entre as palavras “ocorrências” e “registros”, visto que a primeira refere-se a todos os eventos ocorridos em determinada área, mesmo que não tenham sido visualizados durante sua ação; já a segunda, indica apenas os

episódios que efetivamente foram testemunhados, fotografados, filmados, ou ainda, eventos que tiveram seus danos analisados e determinados como plausíveis de se tratarem de episódios tornádicos.

5.1 Eventos comprovadamente registrados no país

Ao longo da realização desta pesquisa, determinou-se a ocorrência de 205 episódios no período compreendido entre março de 1877 e abril de 2011. Na Tabela exibida no Anexo II estão listados todos os tornados registrados ao longo desses 134 anos. O mais antigo ocorreu em 7 de março de 1877 na cidade paulista de São José dos Campos, conforme descrição presente na edição de 11 de março de 1877 do extinto jornal “Gazeta de Campinas”:

“(...) às 3 horas menos 10 minutos da tarde, a população desta cidade foi surpreendida por um phenomeno meteorologico, que admirou e causou muito medo a muitos. Nada menos foi do que uma tromba formada de uma columnna de vento e precedida de um ruído semelhante ao de volumosa cachoeira. No seu movimento gyratorio bastante rápido, correspondendo com o seu cone formado nas nuvens, a tromba derrubava por terra tudo que encontrava, envolvendo em si ramos, folhas e poeira, que a acompanhava em seu gyro. Este phenomeno, por felicidade nossa, não atravessou o povoado, fazendo seu trajecto de sueste a noroeste, dos lados da estação; deitou por terra grande numero de arvores, quebrando e desarraigando muitas, atirando aqui e acolá os galhos; passando pela casa do sr. Martinho, virou todas as telhas, lançando a maior parte por terra; empurrou para longe um wagão que estava em uma das chaves dos trilhos da estação, e assim seguiu seu trajecto devastador, até que o perdemos de vista em consequência de uma pesada chuva com vento e saraiva que durou até 3 ½ horas; as pedras caíram por espaço de 15 minutos, e deram para formar em muitos lugares camada grossa. Pessoalmente verifiquei árvores, entre muitas, desarraigadas por este phenomeno; três d’ellas têm as seguintes circumferencias no tronco: 1m10, 1m, 0,90m. O cyclone em seu caminhar parece ter feito seu gyro n’uma extensão de 20 metros de largura, como se vê das arvores derrubadas e quebradas.”

(Gazeta de Campinas, 11 de Março de 1877)

Uma descrição reportando ocorrência similar está presente no Boletim da Comissão Geographica e Geológica do Estado de São Paulo, conforme relato referente ao dia 27 de junho de 1889:

“Outra tempestade, com toda a apparencia de um cyclone passou por Botucatu, Piracicaba, Limeira, Mogy-Mirim e Penha do Rio do Peixe. Sua direcção foi de Oeste a Leste. Todo o trajecto foi marcado por estragos causados em casas, árvores, roças e animaes. Na Penha do Rio do Peixe observamos uma facha de 60 metros por onde tinha passado. Havia árvores quebradas, pedras enormes viradas e uma carreira de bambu totalmente arrancada e deitada por terra.” (BOLETIM DA COMISSÃO GEOGRAPHICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1890, p.17).

Outro volume desse boletim aborda ocorrência semelhante para o mês de setembro do ano de 1898:

“Na tarde do dia 25 desabou medonho tufão sobre parte do interior deste estado. A respeito delle soubemos que em Lençóes o vento e a chuva causaram grandes estragos, damnificando quasi todos os edificios da cidade; e de Araras, distante 150 km de Lençóes nos escreveu o Sr. Dr. Olympio Portugal, dizendo às 3h da tarde desse mesmo dia 25 soprara ali desabrido tufão, derrubando telhados, muros, casas etc., acompanhado de aguaceiro e fortíssima chuva de pedra. [...] nesse curto espaço de tempo cahíram 21.6mm de chuva. Na capital não se vio signal algum dessa grande perturbação atmospherica.” (BOLETIM DA COMISSÃO GEOGRAPHICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1899 p.34).

Posteriormente, o mesmo boletim coloca a seguinte informação complementar:

“O Sr. Joaquim Moreira, arrebatado pelo tufão de sobre o cavallo que o conduzia para casa, foi cair a alguns metros de distância, ficando ferido levemente.”
(BOLETIM DA COMISSÃO GEOGRAPHICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1899 p.37)

Tanto no texto referente ao ano de 1877, bem como nos artigos publicados em 1890 e 1899 é possível perceber o uso das palavras ciclone e tufão para descrever os ventos rotacionais. Isso pode ser justificado pelo fato de que a palavra “tornado” possui etimologia relacionada ao termo espanhol “tronada”, que significa tempestade e, apesar de ter sido cunhado na segunda metade do século XVI, esse termo passou a ser amplamente utilizado somente no Século XX, tanto no idioma inglês, como na língua portuguesa. O filme “O Mágico de Oz”, de 1939, consiste em um bom exemplo dessa mudança na terminologia adotada para se referir a tais eventos, uma vez que essa obra cinematográfica utiliza a palavra ciclone em lugar de tornado.

Pelo teor das descrições citadas, fica claramente perceptível o fato de que as tempestades reportadas consistiram em episódios envolvendo ventos rotacionais, com restrita atuação espacial (20 metros de largura no caso da ocorrência de 1877 e 60 metros de largura no evento de 1889) e forte intensidade (descrição de destruição de casas, muros e vegetação), acompanhados de granizo. A primeira reportagem cita que os ventos foram intensos o suficiente para retirar um vagão de trem dos trilhos, o que evidencia a grande velocidade do deslocamento de ar relacionado à ocorrência.

No caso do evento de 1898, é possível aceitar a descrição que enfatiza que um cidadão fora atirado pelo vento a alguns metros de distância de seu cavalo, como o mais antigo relato de uma vítima humana (não fatal) relacionada à ocorrências de tornados no Brasil.

Também merece destaque o fato do relato publicado em 1890 começar pela *expressão* “*outra tempestade, com toda a apparencia de um cyclone*”, o que denota que formações similares já haviam sido registrados em episódios anteriores.

Vale destacar que a pequena concentração de eventos registrados nos períodos iniciais abordados na Tabela 5.1 não se deve, necessariamente, à inexistência de eventos, mas sim à pequena quantidade de registros disponíveis. É possível que existam mais evidências de episódios tornádicos publicadas em anuários e jornais de pequena circulação, mas a falta de um arquivamento sistematizado de publicações mais antigas faz com que a busca por reportagens e relatos desse período torne-se prejudicada.

A distribuição temporal dos eventos registrados no Brasil mostra que grande parte dos tornados foi registrada nos meses mais quentes ou, ainda, durante os períodos de transição sazonal (primavera ou outono), o que é perfeitamente explicável pela maior divergência entre diferentes massas de ar nessas épocas do ano.

A Figura 5.3 exibe a distribuição mensal dos tornados incididos em território brasileiro, no período compreendido entre os anos de 1950 e 2009. Embora os dados levantados, exibidos no Anexo II, contemplem quatro eventos registrados anteriormente à este período, optou-se por excluí-los desta estatística, em virtude da dificuldade de acesso à documentos fiáveis sobre as ocorrências anteriores à década de 1950. Conforme alertado, a distribuição apresentada nas Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 contemplam apenas eventos comprovadamente assinalados como tornados. Tal comprovação foi realizada mediante pesquisa em busca da presença de uma ou mais das seguintes evidências: relatos de visualização do funil e/ou ventos rotacionais por fonte fiável (entrevistas, contatos telefônicos ou buscas em reportagens veiculadas pela mídia), rastro de destruição característico (em forma linear, com sinais de rotação), registros fotográficos ou em vídeo ou, ainda, captura do sistema por radares meteorológicos (GOMES et al., 2000; HELD et al., 2006a).

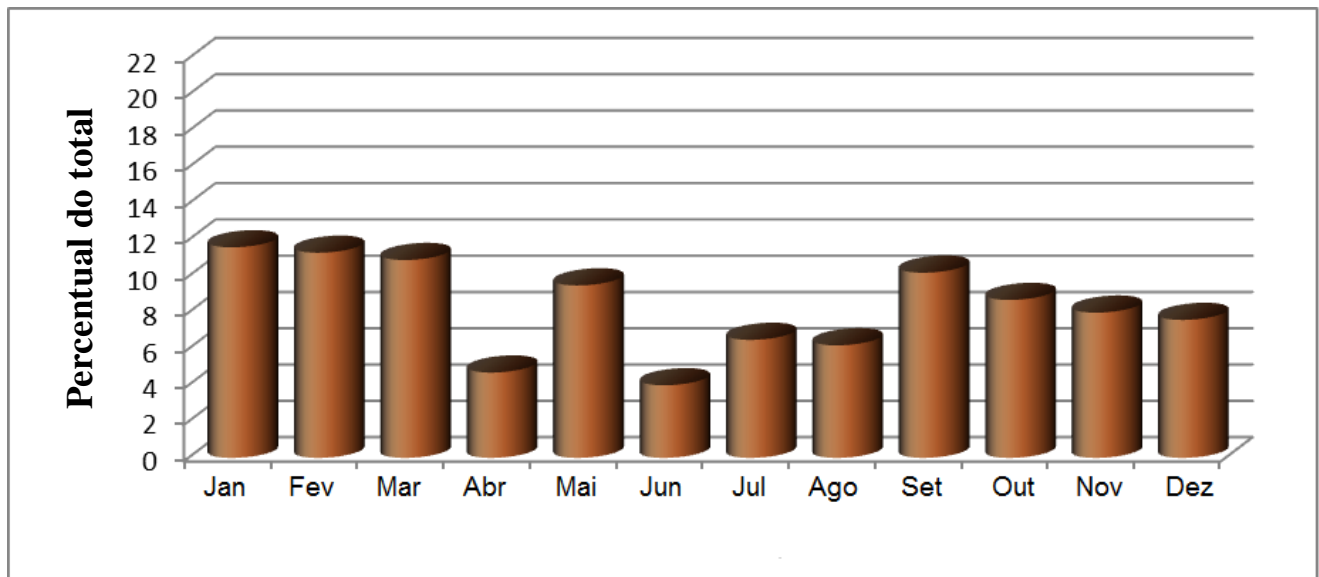


Figura 5.3: Distribuição mensal dos episódios de tornado registrados no Brasil no período de 1950 a 2010 (valores em percentual do total) (Elaborado pelo autor)

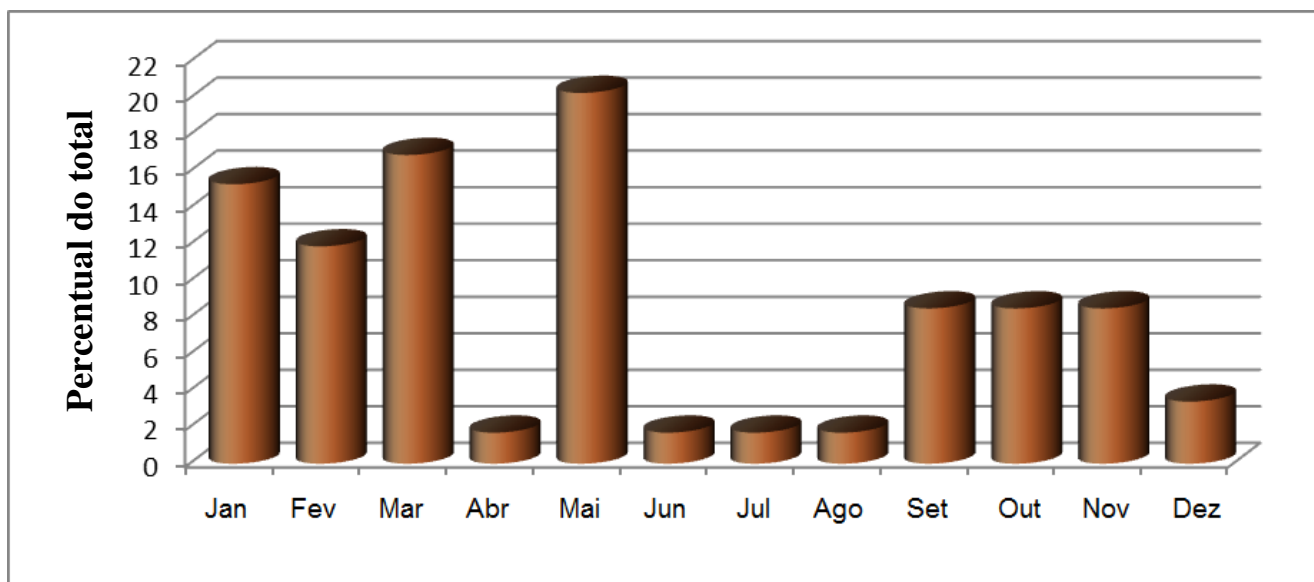


Figura 5.4: Distribuição mensal dos tornados registrados no estado de São Paulo no período de 1950 a 2010 (valores em percentual do total) (Elaborado pelo autor)

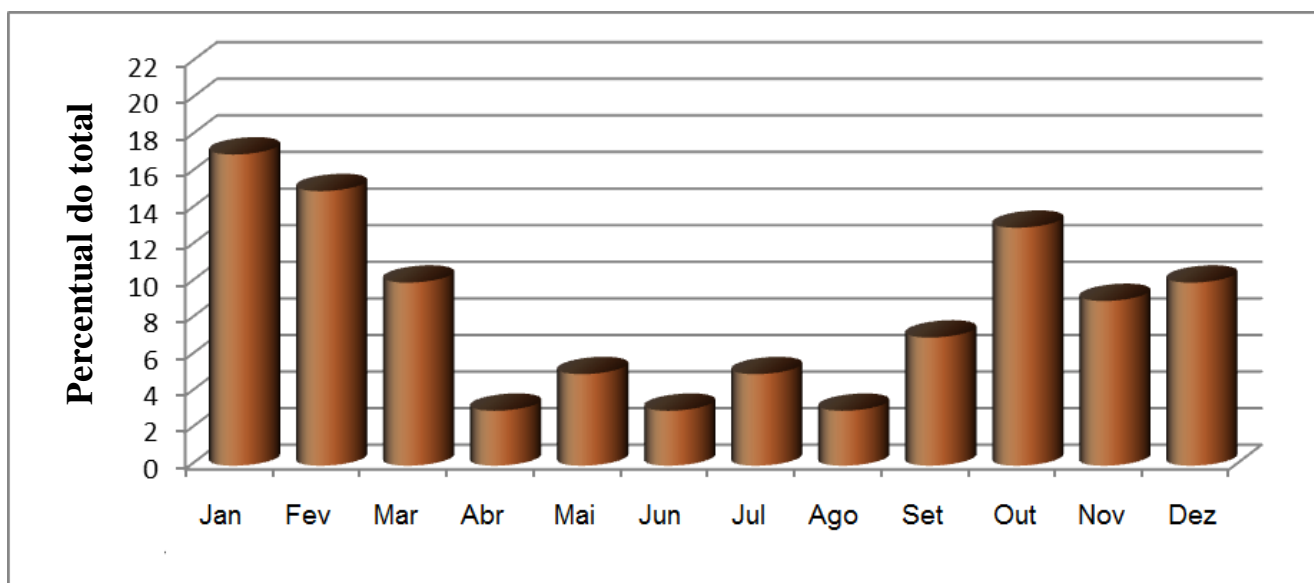


Figura 5.5: Distribuição mensal dos tornados registrados na região Sul do Brasil no período de 1950 a 2010 (valores em percentual do total) (Elaborado pelo autor)

A Figura 5.4 se refere às ocorrências registradas exclusivamente no estado de São Paulo e mostra tendência de concentração nos meses mais quentes, evidenciando padrão bem diferenciado daquele observado na região Sul do país (Figura 5.5), denotando que a latitude está diretamente relacionada ao período mais suscetível à ocorrência do fenômeno.

Não obstante, a distribuição para o território paulista também exibe pico de concentração das ocorrências em maio. Tal particularidade ocorre em função de ser nesse mês em que há o

início de um avanço mais significativo dos sistemas polares, os quais entram em conflito com massas de ar mais aquecidas que, nesta época do ano, ainda atuam na porção centro-sul do Brasil (NIMER, 1979; NUNES et al., 2009b), o que ocasiona os intensos contrastes atmosféricos, típicos do princípio do outono nesse setor. Com isso, não é incomum a formação de células convectivas sobre os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul nessa época do ano. A intensidade desses sistemas convectivos pode ser ampliada quando sua formação se combina à passagem de sistemas frontais ou à atuação de sistemas de baixa pressão. Já na região sul do país, por vezes podem ocorrer os chamados Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que possuem elevado potencial destrutivo, devido a grande energia envolvida nesse mecanismo (SILVA DIAS, 1996). Esse complexo é formado pela união de diversas células convectivas, muitas das quais podem apresentar elevadas dimensões espaciais, ultrapassando centenas de quilômetros de extensão horizontal e apresentar nuvens cujos topos se localizam em altitudes superiores a 15 mil metros penetrando, assim, a tropopausa.

É comum que a precipitação na forma de chuva e/ou granizo decorrente desses sistemas apresentem intensa concentração espacial e temporal e seja acompanhada de ventos fortes. Fenômenos como *downbursts* e tornados podem ser relacionados à ocorrência dos CCMs. Os *downbursts* (Figura 5.6) ocorrem devido ao movimento descendente gerado pela súbita redução de temperatura e consequente movimento descendente dessa parcela de ar, aliada ao arrasto aerodinâmico provocado pelas gotas das chuvas ao cair, que é capaz de causar certo incremento à velocidade do fluxo de ar. Os tornados surgem porque a turbulência, aliada à redução da temperatura em certos pontos no interior das nuvens, propicia ocorrência de ventos rotacionais que, em condições ideais, podem afunilar e, eventualmente, tocar o solo. Devido a lei física da conservação do *momentum* angular, essa espiral de ar ganha velocidade, culminando em um sistema retroalimentado. O ar em seu centro é sugado para o alto, reduzindo ainda mais a pressão em seu interior, dando mais força ao tornado. Com o tempo esse movimento perde a intensidade, não conseguindo mais manter a rotação mínima para que ocorra essa retroalimentação, e então deixa de atuar. Normalmente tais condições perduram por poucos minutos; contudo já foram registrados tornados com mais de uma hora de duração (ALLABY, 2004).

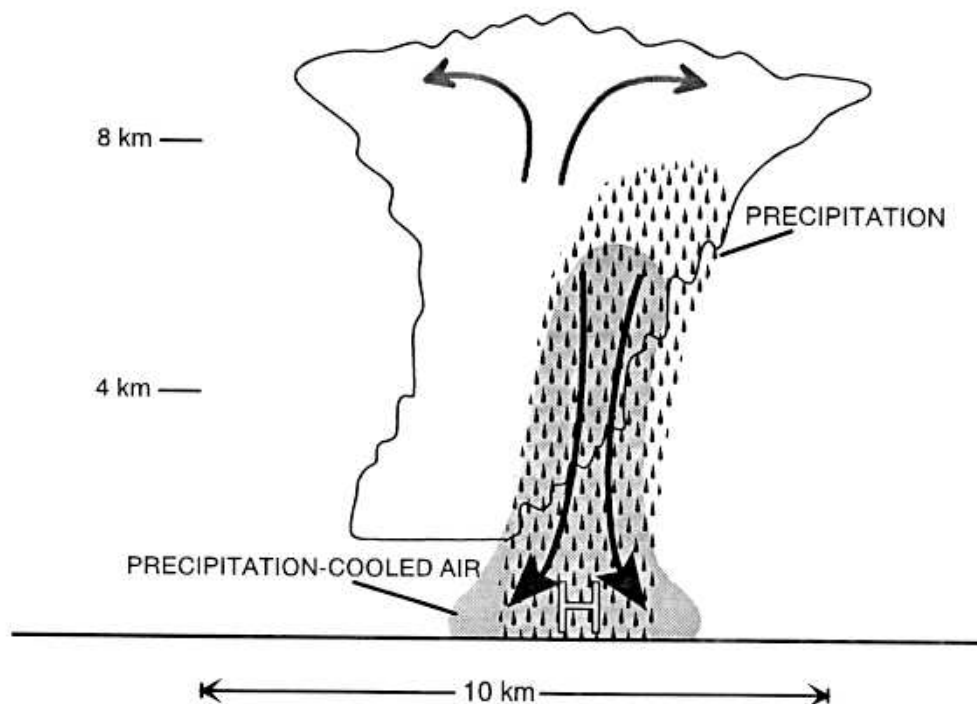


Figura 5.6: Esquema simplificado ilustrando o mecanismo causador dos *Downbursts* (Fonte: NOAA)

É importante destacar que um mesmo sistema convectivo pode dar origem à formação de tornados concomitantes ao longo de sua área de abrangência; juntamente aos tornados, podem surgir *downbursts*, usualmente acompanhados de queda de granizo nas cercanias.

Teoricamente, essas formações tempestuosas podem acontecer em praticamente todos os regimes climáticos; porém, alguns sítios apresentam condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento. O levantamento da distribuição dos eventos registrados no Brasil e países vizinhos permite afirmar a existência de um “Polígono dos Tornados da América do Sul”¹¹ (PTAS), que compreende área delimitada entre o norte da Argentina, o Uruguai, o centro-sul do Brasil, o Paraguai, e parte da Bolívia, conforme mapa exibido na Figura 5.7. Tal polígono, foi obtido por meio de levantamento e espacialização dos locais de ocorrência das tempestades tornádicas registradas na América do Sul, permitindo a definição de um setor mais favorável a sua ocorrência.

¹¹ Por tratar-se de uma área poligonal pouco alongada, o termo “polígono dos tornados” é mais indicado do que o termo “corredor dos tornados”, coloquialmente mais utilizado.

A posição latitudinal e o relevo dessa área favorecem o embate entre diferentes sistemas atmosféricos, que eventualmente culminam na formação de sistemas convectivos deflagradores de tornados e trombas-d'água. Salienta-se que no Brasil os estados de São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná são os mais suscetíveis à ocorrência dessas formações. Entretanto, conforme aparece na Tabela 5.1, esses fenômenos ocorrem em diversos outros setores do país.

Não há homogeneidade quanto à distribuição temporal do fenômeno, sendo possível a observação de uma diferenciação entre os períodos mais favoráveis de ocorrência em diferentes regiões do território brasileiro. A porção sul do país, assim como Uruguai e norte da Argentina, apresenta seu ápice de ocorrências nos meses de janeiro e fevereiro. Registros apontam que também existem ocorrências nos demais meses, tendo em vista que muitas vezes os tornados estão relacionados a formações ciclônicas; aspecto também observado na América do Norte, em estudo desenvolvido por Gentry (1983).

Tal feição se modifica quando consideramos setores mais ao norte do PTAS, que exhibe a distribuição temporal para setores mais setentrionais do estado de São Paulo: percebe-se concentração no mês de maio, devido ao fato desse mês marcar o início do avanço mais frequente de intensos sistemas frontais, que contrastam com o calor ainda remanescente armazenado durante os meses de verão. Já as ocorrências de janeiro, fevereiro e março estão vinculadas à intensa atividade convectiva, comuns nessa época do ano. É relevante considerar o reduzido número de registros durante os meses de inverno, o que é perfeitamente explicável pela dinâmica climática local, que está relacionada à ocorrência de estiagem nesse período.



Figura 5.7: Polígono dos tornados da América do Sul - PTAS (Fonte: Candido et al., 2009)

Os estados da Região Sul do Brasil localizam-se na faixa central do PTAS, área frequentemente atingida por tempestades severas ocasionadas por sistemas convectivos que se formam à frente dos sistemas frontais, deslocando-se conjuntamente. Como já exposto, este setor também é área de atuação dos CCMs, que geram nuvens cumulonimbos com elevado contraste termal, o que cria turbulência interna o suficiente para deflagrar tornados durante sua atuação.

Já o estado de São Paulo e o sul de Minas Gerais ficam situados na porção Nordeste do PTAS, em uma faixa intertropical sujeita as constantes variações meteorológicas, como passagem de sistemas frontais, atuação de centros de alta e baixa pressão atmosférica, presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul e formação de sistemas convectivos. Muitas vezes essas variações no tempo ocorrem de forma rápida, acompanhada das condições necessárias para a formação de tempestades com possibilidade de geração de *downbursts* e tornados.

A Figura 5.8 mostra a distribuição espacial dos tornados registrados no período compreendido entre 1950 a 2008, no estado de São Paulo, deixando evidente que existem certos pontos onde tais ocorrências são mais comuns. Na maioria dos casos a concentração das ocorrências encontra-se relacionada a presença de grandes corpos d'água.

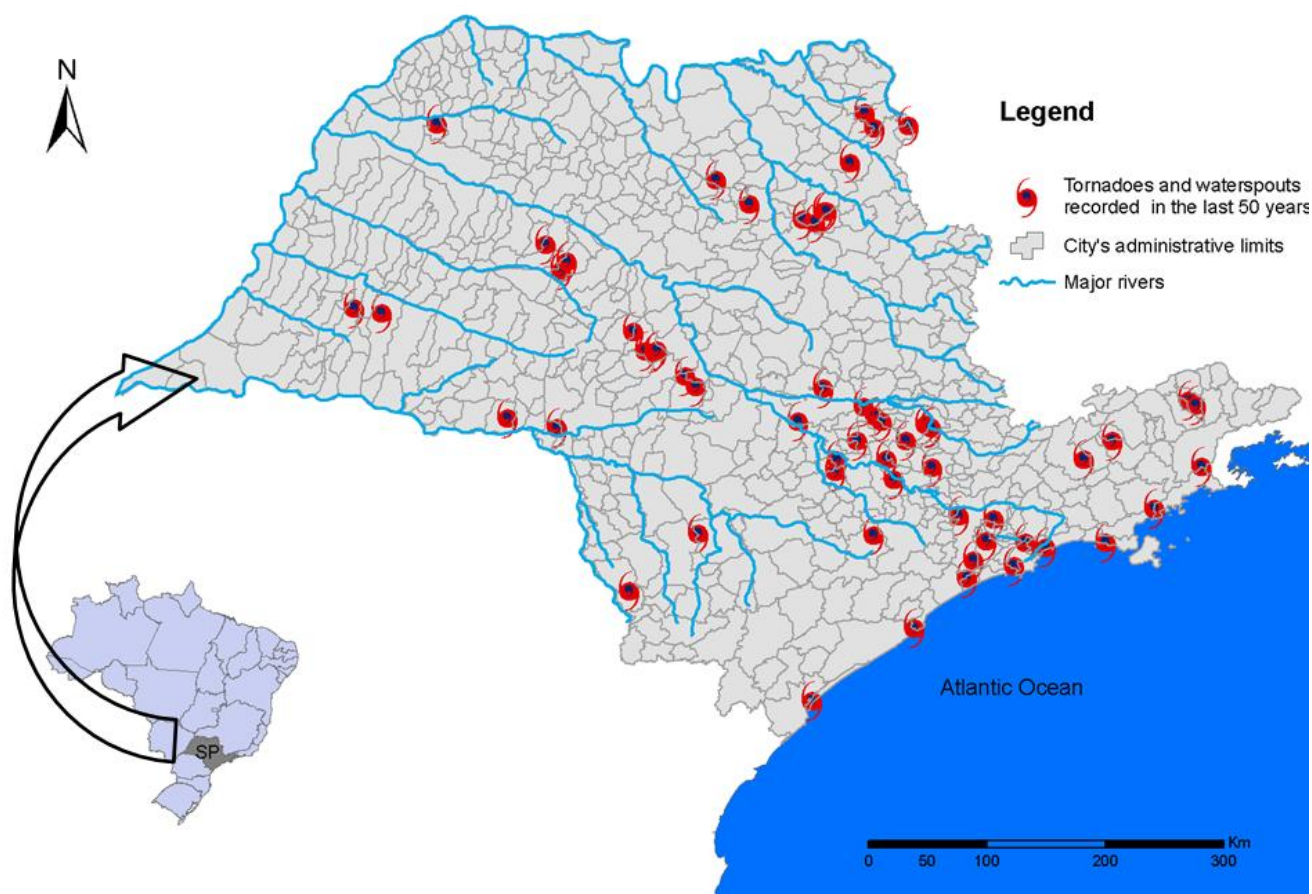


Figura 5.8: Distribuição espacial dos tornados registrados no período entre 1950 e 2008, no estado de São Paulo (Fonte: Candido et al., 2009)

A forte industrialização e urbanização ocorrida ao longo do século XX nesse estado criou uma demanda intensa por energia elétrica; para suprir essa necessidade os grandes rios ali existentes foram represados de modo que muitos deles não seguem mais sua trajetória natural, além de apresentarem intenso incremento em seus volumes de água. O Rio Tietê, por exemplo, após sua passagem pela Região Metropolitana de São Paulo, torna-se uma verdadeira sucessão de lagos, com escassos pontos onde seu curso ainda permanece com seu traçado e volumes originais.

Sabe-se que a água possui grande capacidade de armazenar calor latente, possibilitando que esses lagos sejam indutores de tempestades mais vigorosas. Análises de imagens dos radares do IPMet evidenciam que muitas das tempestades naturalmente formadas pelas condições climático-meteorológicas existentes no estado se intensificam quando o sistema se aproxima desses grandes corpos d'água. Também há de se considerar as formas de relevo existentes no

estado, pois esses rios se encontram em imensos vales aluviais que formam um corredor natural para circulação dos ventos.

A Figura 5.9 mostra um bom exemplo de como corpos d'água de grandes proporções são capazes de influenciar a intensificação das tempestades. Neste caso, as imagens mostram que um sistema convectivo multicelular, detectado pelo radar de Bauru no setor sudeste do estado, moveu-se de sudoeste para nordeste. Assim que atingiu o rio Tietê, ele se intensificou, chegando a apresentar formação de uma nova célula, conforme visualizado por meio dos cortes transversais a-b (Figura 5.9). Após sofrer intensificação em virtude da energia (calor latente) e umidade retida no vale do rio Tietê a célula continuou seu deslocamento aproximando-se da Região Metropolitana de Campinas, onde novamente ganhou força, com topo atingindo 20 km de altitude. Esta segunda intensificação pode ser atribuída à presença de uma ilha de calor sobre o setor mais urbanizado, capaz de suprir o sistema com energia adicional, fazendo a célula ganhar significativo desenvolvimento vertical. Objetivando facilitar a visualização das capturas de tela dos radares do IPMet, a Figura 5.10 exibe a escala adotada para todas as imagens de radar doravante mencionadas (exceto àquelas que exibem velocidade radial dos ventos).

Outro caso que merece menção é demonstrado pela Figura 5.11, que retrata a intensificação ocorrida quando uma supercélula, formada na noite de 20 de maio de 2004, cruzou área de represa no rio Tietê. O traçado, gerado pelo software TITAN, mostra como o sistema ganhou proporções significativas após passagem pelo corpo d'água (HELD et al., 2010).

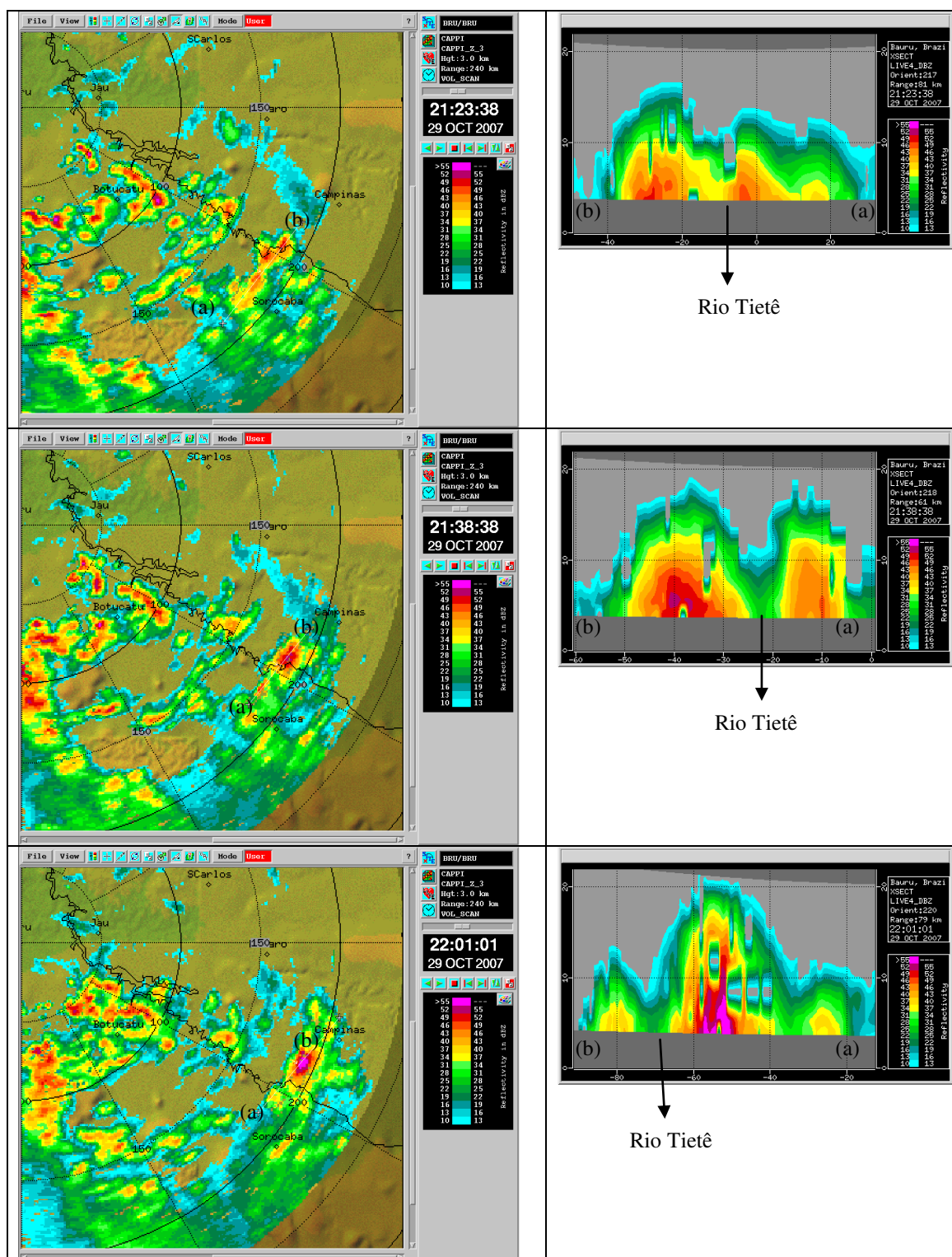


Figura 5.9: Imagem de radar com cortes transversais¹² exibindo intensificação do sistema após passagem pelo rio Tietê. Fonte: IPMet

¹² As falhas em forma de buracos na seção transversal se devem à longa distância em relação ao radar (aproximadamente 200 km)

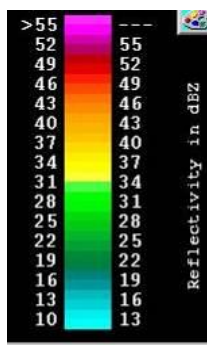


Figura 5.10: Escala de reflectividade adotada para a exibição dos dados de radares apresentados neste estudo.

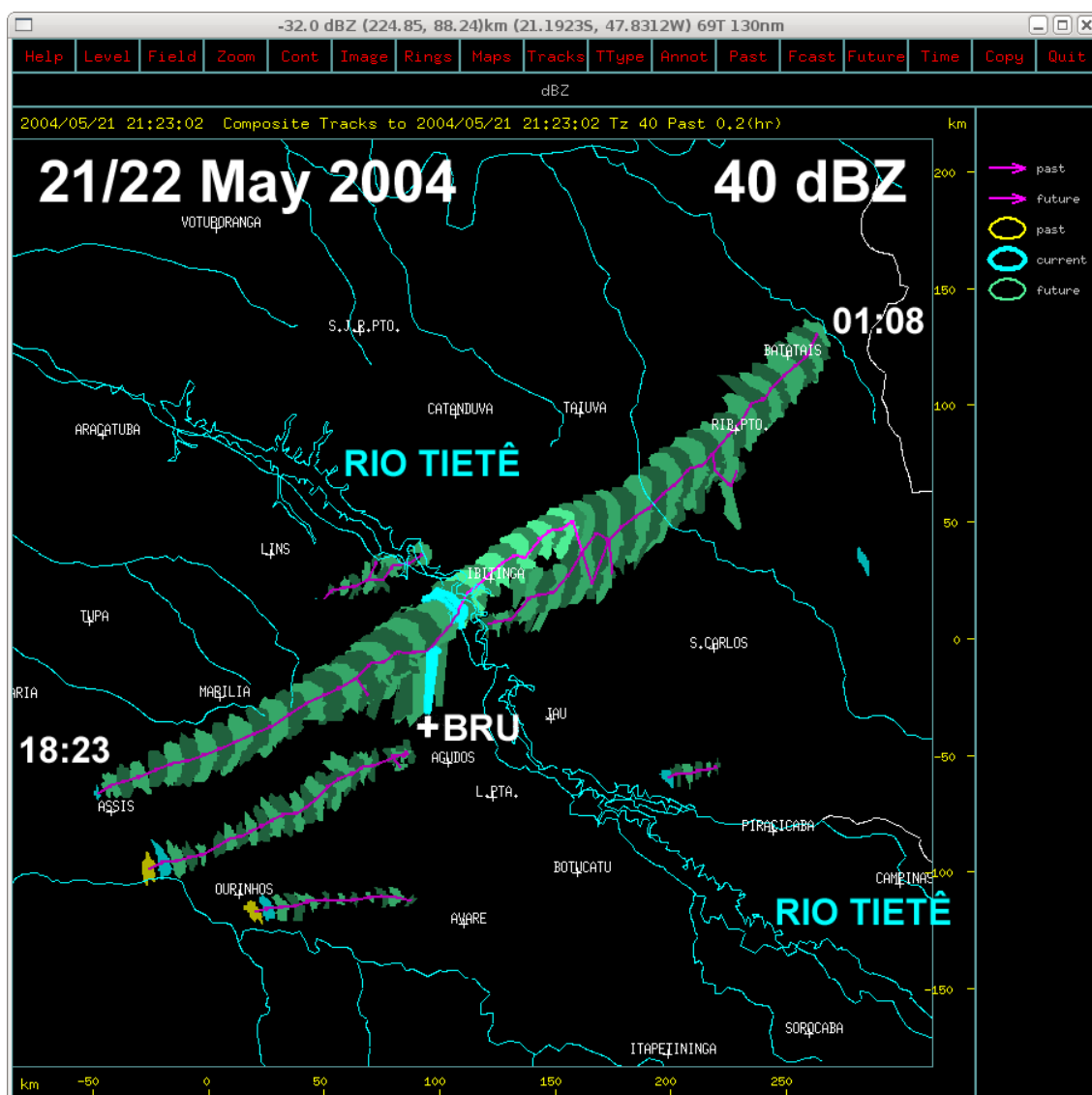


Figura 5.11: Trajetória do sistema ocorrido entre os dias 21 e 22 de maio de 2004, conforme evidenciado pelo software TITAN. (Fonte: HELD et al. 2010)

6. Escalas de medição dos ventos e danos decorrentes

Diversas escalas já foram elaboradas visando a obtenção de uma classificação qualitativa para determinação dos impactos exercidos pelos ventos. A mais utilizada é a escala de Beaufort (Tabela 6.1), que indica a velocidade do deslocamento do ar baseada nos efeitos empiricamente observados nos elementos encontrados sobre o solo ou a água.

Tabela 6.1: Escala de ventos de Beaufort

Escala	Velocidade do vento	Efeitos notados sobre o solo
0	No máximo 1 km/h	Fumaças emitidas por chaminés sobem verticalmente.
1	1 a 5 km/h	O deslocamento do ar é visível nas fumaças.
2	6 a 11 km/h	As folhas das árvores começam a se agitar.
3	12 a 19 km/h	Folhas e pequenos galhos em constante movimentação; bandeiras se agitam.
4	20 a 28 km/h	Papeis soltos e poeira sobem do chão; ramos maiores dos vegetais começam a se mover.
5	29 a 38 km/h	Galhos de tamanho moderado se movem; árvores pequenas começam a balançar.
6	39 a 49 km/h	Longos galhos se movimentam; um assovio pode ser ouvido quando o vento atinge fios elétricos suspensos; o uso de guarda-chuva fica dificultado.
7	50 a 61 km/h	Árvores inteiras balançam; é necessário esforço para andar.
8	62 a 74 km/h	Galhos se quebram; carros são desviados lateralmente nas estradas.
9	75 a 88	Galhos maiores são quebrados. pequenas árvores podem tombar.
10	89 a 102	Árvores podem se quebrar ou serem arrancadas pela raiz; telhas mal assentadas podem ser arrancadas dos telhados.
11	103 a 117	Danos generalizados a vegetação; estruturas de telhados podem não resistir.
12	Maior que 118	Danos generalizados e consideráveis à vegetação; vidros de janelas podem se quebrar; trailers e casas mal construídas podem desabar.

Dada a singularidade existente nos ventos de um tornado, que apresentam movimentos rotacionais bastante energéticos, essa escala não pode ser aplicada a esse fenômeno. Com isso, outras escalas foram elaboradas por pesquisadores de diversos locais do planeta, na tentativa de

criar uma classificação que seja fidedigna, relacionando adequadamente os danos causados à velocidade imprimida à parcela de ar envolvida.

A classificação mais conhecida e utilizada atualmente é conhecida como Escala F ou Fujita (Tabela 6.2). Elaborada por Fujita (1971) e complementada por Fujita e Pearson (1973), essa escala procura atribuir valores a um tornado de acordo com os danos provocados por seus ventos. Salienta-se que essa escala não considera as dimensões espaciais do fenômeno, uma vez que isso não indica, necessariamente a sua intensidade.

Apesar de, teoricamente, essa escala ter sido elaborada para abranger ventos que iriam desde 64 km/h (F0) até deslocamentos de ar com velocidades supersônicas (F12), na prática somente 6 classes podem ser consideradas nos tornados ocorridos na Terra: F0, F1, F2, F3, F4 e F5, que apresentam as características detalhadas na Tabela 6.2. Recentemente, essa tabela foi aprimorada, com a proposição de uma nova escala chamada de Enhanced Fujita (EF); a qual considera os danos causados, em lugar da velocidade dos ventos. Contudo, o fato da escala EF abordar danos em instalações tipicamente norte. A presença de valores não arredondados são consequência do fato de escala, originalmente, ter sido concebida considerando milhas por hora (mph) como unidade fundamental, uma vez que os Estados Unidos usualmente não empregam o sistema métrico para medições de distâncias e velocidades.

A necessidade da criação de uma escala que fosse mais universal, podendo ser aplicada para tornados ocorridos em diferentes áreas do Planeta, sobretudo na Europa, levou a criação da escala TORRO (ou Escala T), assim batizada em função de ter sido criada pela Tornado and Storm Research Organization (TORRO), instituição fundada em 1974, no Reino Unido. Essa classificação utiliza como base a escala de Beaufort, seguindo a fórmula: $B = 2(T+4)$ que, conseqüentemente, leva à seguinte equação: $T = (B/2 - 4)$ - considerando que B equivale a intensidade dos ventos na escala Beaufort e T indica a classificação na escala Torro (Tabela 6.3).

Tabela 6.2: Escala Fujita (Fonte: Fujita e Pearson, 1973).

Classificação do tornado	Velocidade dos ventos (km/h)	Danos potenciais
F0	64 a 116	Danos leves. Alguns danos em estruturas mais frágeis como chaminés e placas de sinalização, ramos de árvores quebrados, árvores com raízes superficiais se tombam.
F1	117 a 180	Danos moderados. Pode remover telhas de telhados. Trailers podem ser arrastados ou tombados. Automóveis em movimento podem ser arrastados para fora da estrada. Garagens externas podem ser destruídas.
F2	181 – 253	Danos consideráveis. Telhados inteiros podem ser arrancados das casas. Trailers são totalmente destruídos. Furgões são tombados. Árvores grandes são quebradas ou arrancadas pela raiz. Objetos leves são atirados com força (efeito míssil)
F3	254 – 332	Danos graves. Telhados e algumas paredes bem construídas sucumbem aos ventos. Maior parte das árvores são desenraizadas. Veículos pesados são levantados do solo.
F4	333 – 418	Danos devastadores Casas bem construídas são destruídas. Carros e estruturas com fundações fracas são atirados para longe. Grandes “mísseis” são gerados.
F5	419 – 512	Danos incríveis Casas bem construídas são derrubadas e levadas para longe. Objetos do tamanho de automóveis podem voar por mais de 100 metros. Árvores são derrubadas e perdem suas cascas. Estruturas de aço e concreto armado são seriamente afetadas.

Se os dados referentes aos ventos forem coletados *in loco*, esse sistema classifica com exatidão a sua velocidade, visto que é possível aplicar a fórmula prevista pela escala Beaufort: $V=0.837 B^{3/2}$, onde V indica a velocidade do vento em uma rajada de, no mínimo, três segundos. Entretanto, essa escala não é capaz de fornecer um bom parâmetro para estimativas baseadas nos danos observados posteriormente a atuação da tempestade, uma vez que a escala Beaufort somente funciona para observações executadas no momento em que o evento está ocorrendo.

Tabela 6.3: Escala Torro (Fonte: www.torro.org.uk)

Classificação do Tornado	Velocidade dos ventos ao nível do solo (km/h)	Descrição do Tornado	Danos causados
TC	-	Nuvem funil (não toca o solo)	Não causa danos à estruturas, exceto torres elevadas, balões e aeronaves. Ramos dos topos das árvores mais altas podem se agitar. Ocasionalmente é possível se escutar um som estridente, semelhante a um assovio.
T0	60 a 86	Fraco	Sujeira mais leve se eleva sobre o solo em forma de espiral. Toldos e tendas balançam intensamente. Nos telhados, as telhas mais expostas podem ser deslocadas.
T1	87 a 115	Brando	Cadeiras de praia, pequenas plantas e sujeira mais pesada começam a se elevar. Danos maiores às telhas. Árvores são levemente danificadas.
T2	116 a 147	Moderado	Trailers pesados são movidos. Cabanas de madeira sofrem danos severos. Telhados de garagem são atirados para fora da estrutura. Danos aos telhados de cerâmica e chaminés. Danos generalizados às arvores. Alguns galhos são quebrados e as árvores menores são arrancadas pela raiz.
T3	148 a 184	Forte	Trailers são derrubados e/ou gravemente danificados. Garagens e prédios fracos destruídos. Madeiramento de telhados é exposto. Algumas árvores grandes são quebradas ou desenraizadas.
T4	185 a 220	Severo	Carros são erguidos do solo. Trailers decolam. Hangares são atirados para distâncias consideráveis. Todo o telhado é removido de algumas casas. O madeiramento dos tetos de casas mais fortes, de tijolo ou pedras, são completamente expostos.
T5	221 a 259	Intenso	Veículos pesados são erguidos do solo; danos mais graves aos edifícios do nos T4, ainda que as paredes das casas permaneçam remanescentes; os prédios mais antigos, mais frágeis podem ruir completamente.

T6	260 a 299	Moderadamente devastador	Casas fortemente construídas perdem todos os telhados e talvez alguns muros; janelas são quebradas nos arranha-céus. Prédios menos resistentes desabam.
T7	300 – 342	Fortemente devastador	Casas com estrutura de madeira são totalmente destruídas. Algumas casas com muros paredes de pedra ou de tijolo desabam. Construções com estrutura de aço podem inclinar-se levemente. Locomotivas podem ser arremesadas para fora dos trilhos. Consideráveis pedaços de árvores voam pelos escombros.
T8	343 a 385	Severamente e devastador	Veículos automóveis arremessado a grandes distâncias. Casas com estruturas de madeira e seus respectivos conteúdos espalhados por longas distâncias. Casas de pedra ou tijolo irremediavelmente danificadas. Arranha-céus podem mostrar uma visível inclinação para um lado.
T9	386 a 432	Intensamente e devastador	Muitos edifícios com estruturas de aço seriamente danificados. Arranha-céus são derrubados. Locomotivas e trens são arremessados a distância. Descascamento completo dos troncos de qualquer árvore que permaneça em pé.
T10	433 a 482	Super	Todas as armações das casas e edificações semelhantes são levantadas de suas fundações. Edifícios compostos de concreto e aço podem ser severamente danificados.
T11	483 a 515	Destruidor	Toda a estrutura das casas são erguidas e atiradas para longe. Casas de tijolos são totalmente destruídas. Portas de abrigos anti-tempestade são arrancadas. Edifícios compostos de concreto e aço sofrem danos irreparáveis. Os ventos são fortes o suficiente para arrancar o asfalto das ruas e a grama do solo.

Pela análise das características das escalas aqui apresentadas, é possível perceber que nenhuma está adaptada à realidade das edificações mais comuns no Brasil e em toda a América do Sul. Isso decorre do fato da maior parte das construções dessa área ser erguida tomando como base conceitos arquitetônicos importados dos países europeus, sobretudo Portugal e Itália, países de clima temperado, dos quais foram importados muitos hábitos culturais devido ao intenso movimento migratório registrado nos cinco primeiros séculos de nossa história. Latif (1987) argumenta que

“A história de nossa arquitetura - como de toda a civilização no trópico - passa por um ponto de inflexão, quando depois de tantas tentativas de melhor adaptação ao meio, tivemos a veleidade de também tentar remodelá-lo. Se há muito que nos climas temperados e ainda há pouco no grande frio vem se conformando, drasticamente o meio, foi preciso, para o trópico, o auxílio da ciência e da técnica em pleno surto no século XX. O homem em suas tentativas de supremacia sobre o meio na faixa equinocial da terra, quase só tem que enfrentar o clima quente e úmido. E deveríamos ter no subconsciente ao projetar a casa ou mesmo a cidade toda, a luta não apenas contra as inclemências do sol, mas contra o ar quente e úmido, principalmente quando parado. Só pela aeração consegue-se o conforto de um homem que reage à canícula pela ação refrescante do suor. Assim como nos climas frios não se projeta uma habitação sem pensar no seu conveniente aquecimento no inverno, para uma boa habitabilidade no trópico não basta que se suprima a calefação(...)” (p313).

Pelo texto pode-se ver que a realidade das habitações no território brasileiro difere daquela existente na Europa. Embora tenha se derivado da arquitetura existente no velho mundo, o brasileiro teve que adaptar suas construções visando adequação ao clima e aos materiais disponíveis no local, sendo, desse modo, criado um padrão arquitetônico singular, sem similaridade direta com os seus originários europeus. Ao contrário do padrão comumente encontrado em locais de climas mais frios, as residências brasileiras normalmente não possuem chaminés, lareiras e outras estruturas para calefação, com exceção a algumas edificações

construídas em locais mais frio, como a região sul do país. A maior parte dos prédios locais está construída com tijolos de barro, não sendo comum a presença de construções exclusivamente em madeira¹³. A presença de habitações com sótão ou porão não são tão comuns e as garagens normalmente são parte integrante do imóvel, não sendo construídas de forma anexa, como na América do Norte. Outras estruturas comuns às cidades brasileiras podem não apresentar resistência adequada a ventos muito intensos. Destaca-se estudo desenvolvido por Beck e Verzenhassi (2008), onde relatam que, no Brasil, é comum o uso de torres de telecomunicações não capacitadas a suportar os velozes ventos decorrentes dos tornados.

Sopesando essa característica diferenciada, há necessidade de elaboração de uma escala para mensuração dos danos causados pelos ventos, que se molde aos padrões das construções brasileiras. Levando em conta que o Brasil, além de grande dimensão territorial, apresenta elevada diversidade sócio-cultural, foi necessária a análise de danos ocasionados por ventos de diferentes intensidades em diferentes localidades do país, para se alcançar uma proposta apropriada à realidade nacional. Os mesmos ventos capazes de deslocar e até mesmo tombar *trailers* nos Estados Unidos, podem causar apenas destelhamento em casas de alvenaria, como as que temos no Brasil. Entretanto, também há de se considerar a realidade social brasileira, pois os mesmos ventos que seriam considerados praticamente inofensivos em um bairro de classe média, têm potencial para causar uma catástrofe nas frágeis construções existentes nas favelas.

Com isso, criou-se uma escala que leve em consideração elementos que estejam presentes tanto nos bairros mais nobres, bem como nas áreas socialmente menos privilegiadas. Elementos como árvores, antenas, muros, postes de eletricidade e torres de energia estão distribuídos de forma relativamente homogênea na maior parte de nossas cidades. Assim, a Tabela 6.4 agrupa indicativos de danos em estruturas comumente presentes nas cidades brasileiras, facilitando a classificação dos ventos ocorridos no país.

Outro ponto considerado está na dificuldade de visualização do funil da maior parte dos tornados que se forma em território brasileiro, em função da elevada umidade atmosférica atuante, aspecto comum às áreas localizadas nos setores intertropicais de nosso planeta e em suas

¹³ Com exceção às habitações subnormais existentes nas áreas economicamente menos favorecidas (principalmente em favelas) e em algumas localidades do país, devido à fatores culturais.

proximidades. Com isso, optou-se por uma classificação que leve em conta a intensidade do vento, sem considerar sua origem (*downburst*, tornado, vendaval ciclone extra-tropical ou furacão). Assim, a escala aqui proposta é válida para qualquer tipo de vento, independentemente de se tratar ou não de um tornado – por isso as categorias EBRAV 0 e EBRAV 1 englobam ventos de velocidades inferiores a 80 km/h, o que normalmente é incompatível com a atuação de um tornado, mas perfeitamente plausível para os outros fenômenos citados. Por outro lado, a categoria EBRAV 7 compreende qualquer evento que compreenda velocidades superiores a 260 km/h. Considerando que a escala proposta visa a determinação da velocidade dos ventos por meio de avaliação dos danos provocados, considera-se que este limite seja o suficiente, visto que a maior parte das estruturas urbanas já se encontram severamente impactadas diante de episódios de tal magnitude.

A Tabela 6.5 exibe comparativo das diferentes escalas abordadas neste trabalho, permitindo a percepção das diferenças existentes entre estas classificações. Nota-se que a escala Beaufort é bastante detalhada quando considera ventos inferiores a 50 km/h.; em contrapartida, esta escala deixa de ser funcional com ventos superiores a 130 km/h, quando o valor máximo da classificação é atingido. Já as escalas Fujita e Torro apresentam pouco detalhamento para ventos com velocidades inferiores a 100 km/h, privilegiando ocorrências com maiores velocidades. Assim, procurou-se manter a classificação EBRAV em uma escala intermediária, englobando tanto ventos de velocidades mais baixas, assim como movimentações mais energéticas. É importante reafirmar que a opção por enquadrar ventos com velocidades superiores a 260 km/h em uma mesma categoria se deu em decorrência de que os deslocamentos de ar dessa magnitude são intensos o suficiente para destruírem a maior parte das estruturas situadas nas áreas afetadas. Como a escala proposta baseia-se nos danos observados, a categorização de ventos mais velozes ficaria prejudicada.

Com base na proposição exposta nas Tabelas 6.4 e 6.5, é possível reclassificar alguns tornados ocorridos no Brasil. Registros sobre o episódio de 30 de setembro de 1991, que atingiu a cidade de Itu, atestam danos severos:

“Na Rodovia Santos Dumont um Chevette foi lançado a 700 metros da pista; os dois ocupantes morreram”; “Um ônibus da viação Nardelli que levava estudantes de Salto para Sorocaba foi lançado em um barranco; oito estudantes morreram”; “Duzentas casas e dez empresas foram destruídas em uma faixa de 5 km por 500m”; “(...) postes de luz foram arrancados e lançados a distâncias de até 20 metros”; “O obelisco do km 28 da Rodovia Santos Dumont, com 25 metros de altura e cerca de 100 toneladas de peso, foi derrubado”.

(Folha de São Paulo, 02 de outubro de 1991).

Na época, o episódio foi classificado com um evento tornádico de intensidade F4. Considerando que houve danos generalizados, nenhuma árvore ou estrutura resistiu inteira dentro da trilha de deslocamento do tornado, a presença de torres de alta tensão totalmente retorcidas e o tombamento de grandes estruturas (e.g. obelisco de 100 toneladas), o episódio seria classificado no nível EBRV 7 - o mais alto da série.

Tabela 6.4: Proposta de uma escala de aferição da intensidade dos ventos relacionados à tempestades ocorridas no Brasil (EBRAV – Escala Brasileira de Ventos)

Escala	Danos causados	Velocidade estimada
EBRAV 0	- Galhos menores podem se agitar, contudo não são quebrados. - Os ventos não apresentam nenhum potencial de danos.	Até 50 km/h
EBRAV 1	- Galhos de árvores se quebram. - Plantações com grande massa foliar, como a cana-de-açúcar são inclinadas em direção ao solo. Árvores frutíferas em período de produção podem perder parte de suas flores ou frutificações. - Antenas de TV do tipo VHF oscilam. - Telhas de cerâmica mal instaladas podem sofrer leve deslocamento, sobretudo nas bordas dos telhados. - Coberturas de materiais leves como fibrocimento podem vibrar, deslocar ou quebrar. - Algumas placas de painéis publicitários do tipo “outdoor” podem se soltar. - Objetos soltos nas ruas, como latas de lixo ou mesas de bares ao ar livre, podem ser arrastados.	Entre 51 a 80 km/h

EBRAV 2	• Grandes galhos são quebrados. • Árvores pouco saudáveis e atacadas por cupins podem ter seus troncos partidos. • Culturas agrícolas compostas por plantas de caules mais finos podem sofrer danos. Árvores frutíferas em período produtivo perdem a maior parte de suas frutificações. • Estruturas soltas, como fachadas de lojas, podem ser danificadas. • Telhas de cerâmica podem sofrer deslocamento. • Coberturas de lonas são rasgadas. • Barracos de madeira podem desabar. • Antenas de TV do tipo VHF podem ser derrubadas. • Habitações mais frágeis sofrem danos de grande monta. • Painéis publicitários do tipo “<i>outdoor</i>” podem tombar.	Entre 81 a 100 km/h
EBRAV 3	• Árvores mais velhas podem ser arrancadas pela raiz. • Telhas de cerâmica se quebram nos telhados. • • Árvores maiores e de madeira pouco flexível podem se quebrar. • Plantações são intensamente danificadas, apresentando caules quebrados. • Habitações mais frágeis e expostas podem ser derrubadas. • Coberturas feitas em fibrocimento sofrem danos intensos. • Coberturas de galpões podem sofrer danos estruturais. • Antenas parabólicas podem perder parte de sua estrutura. • Muros com fundação pouco resistente podem desabar. • Painéis publicitários do tipo “<i>outdoor</i>” tombam e têm suas placas destruídas. • Alguns detritos podem danificar vidros mais expostos. • Cabos de energia elétrica expostos podem se romper.	De 101 a 130 km/h
EBRAV 4	• Árvores saudáveis são arrancadas pela raiz. • Objetos são atirados ao ar pelo vento, podendo causar danos à estruturas e veículos. Janelas têm os vidros quebrados (efeito míssil). • Placas de trânsito são inclinadas.	De 131 a 160 km/h

- Telhas de cerâmica são retiradas dos telhados.
- Coberturas de postos de combustíveis podem ser derrubadas.
- Telhas de zinco voam e se enroscam em cabos elétricos.
- Antenas parabólicas são destruídas.
- Postes de iluminação em material metálico são derrubados.
- Casas de madeira sofrem danos severos.
- Painéis publicitários do tipo “*outdoor*” tombam, têm suas placas destruídas e atiradas a dezenas de metros de distância.
- Muros com fundação resistentes são derrubados.
- Mini-antenas parabólicas (popularmente conhecidas como antenas do tipo “pizza”) são danificadas.

EBRAV 5	• Árvores de grande porte têm seus troncos partidos ao meio. • Se expostos de maneira perpendicular aos ventos, ônibus podem tombar. • Em áreas rurais, a maior parte das plantas rasteiras (e.g. soja, feijão, amendoim) é arrancada, deixando o solo exposto. • O madeiramento dos telhados é completamente exposto. • Paredes grossas e fortemente construídas podem desabar. • Habitações de alvenaria podem ser parcialmente destruídas. • Materiais lançados pelo vento podem causar sérios ferimentos. • Alguns vidros das janelas dos quatro primeiros andares de edifícios são quebrados por detritos carregados pelos ventos. • Postes de concreto se inclinam.	De 161 a 200 km/h
EBRAV 6	• Algumas casas feitas em alvenaria desabam. • Automóveis são levantados do solo pelo vento. • Veículos mais pesados, como caminhões, podem ser arrastados e até mesmo tombar. • Vagões de trens vazios podem sair dos trilhos. • Postes de cimento se quebram. Torres de alta tensão podem cair. • Chaminés industriais podem tombar. • Alguns vidros das janelas dos andares mais altos de edifícios são quebrados por detritos carregados pelos ventos.	De 201 a 260 km/h

EBRAV 7	• Destruição generalizada às instalações urbanas. • Casas fortemente construídas são afetadas. • Praticamente nenhuma árvore resiste ao impacto do vento. • Vagões de trens carregados e até mesmo locomotivas são retiradas dos trilhos. • Veículos podem ser arrastados por longas distâncias. • Pessoas podem ser atiradas para longe pelo vento. • Torres de alta tensão são totalmente retorcidas. • Grandes estruturas podem ser deslocadas e/ou derrubadas.	Acima de 261 km/h
---------	---	----------------------

Tabela 6.5: Comparativo entre a EBRV e as demais escalas de medição de vento citadas neste estudo

Velocidade do vento em km/h	Classificação EBRV	Classificação aproximada na escala Beaufort	Classificação aproximada na escala Fujita	Classificação aproximada na escala Torro
0 a 50	0	entre 1 e 6	-	-
51 a 80	1	entre 7 e 8	F0	T0
81 a 100	2	entre 9 e 10	F0	T1
101 a 130	3	entre 11 e 12	entre F0 e F1	entre T1 e T2
131 a 160	4	12	F1	entre T2 e T3
161 a 200	5	12	entre F1 e F2	entre T3 e T4
201 a 260	6	12	entre F2 e F3	entre T4 e T5
acima de 260	7	12	entre F3 e F5	entre T6 e T11

Em 26 de abril de 1991, a cidade de São Bernardo foi atingida por um tornado que derrubou dez carretas no estacionamento de uma loja de departamentos da cidade e tombou vagões de trem que se encontravam vazios, além de causar o desabamento de casas feitas em alvenaria. Pela escala Fujita, o evento poderia ser classificado como um F3. Já na escala brasileira de ventos em tempestades, pode ser classificado como EBRV 6, visto que houve desabamento de estruturas em alvenaria e tombamento de veículos pesados e vagões de trens.

No dia 26 de outubro de 1999 a cidade sul matogrossense de Ponta Porã registrou a ocorrência de um tornado que ocasionou o tombamento de um ônibus escolar da Prefeitura local, provocando a morte de uma estudante e ferindo gravemente outras 13 pessoas. Embora pela escala Fujita tenha se tratado de um evento F1, os danos fazem com que a classificação indicada pela EBRV seja consistente com a categoria 5.

O evento acontecido nas cidades de Piracicaba e Santa Bárbara d'Oeste, SP em 29 de março de 2006 causou danos como telhas de zinco arrancadas e atiradas ao alto, telhados destruídos, árvores de grandes proporções tombadas e antenas parabólicas destruídas, podendo ser então classificado como EBRV 4. A medição da velocidade dos ventos na ocasião acaba sendo um indicativo que a escala é funcional, uma vez que aparelhos registraram ventos de 160 km/h (NUNES et al., 2009a)

A cidade de Rio Pardo, no estado do Rio Grande do Sul foi atingida por um tornado originado de uma supercélula formada sobre a região no dia 8 de novembro de 2008, deixando sinistros como árvores quebradas ou arrancadas pela raiz, danos em coberturas de fibrocimento, antenas parabólicas danificadas e destruição generalizada em lavouras de fumo. Deste modo, o

evento aqui citado pode ser classificado como EBRAV 3. Embora não tão intensos, os ventos desta categoria ainda apresentam força suficiente para causar os danos supramencionados.

Outro exemplo interessante consiste no *Gustnado* ocorrido em Campinas no dia 13 de dezembro de 2010. O evento ocorreu em uma área espacialmente restrita, afetando um setor não superior a 200 metros de extensão. Entretanto, os ventos rotacionais atingiram o pátio de uma concessionária de veículos, tendo como consequência a quebra da cerca que protegia o recinto; a forte circulação do ar no local também fez que alguns automóveis fossem atirados para o alto, caindo capotados no solo. Embora tenham apresentado abrangência espacial extremamente localizada, estes ventos podem se enquadrar na categoria EBRAV 6. Infelizmente não havia nenhum anemômetro no local, mas os danos nas redondezas evidenciam a ocorrência de ventos de tal magnitude.

A criação de uma escala adaptada ao Brasil pode, ainda, auxiliar na definição de valores limiares de velocidades do vento para elaboração de sistemas de alertas referentes à ocorrência de vendavais. Joe et al. (2012) demonstram a eficiência do uso de radares Doppler no monitoramento de episódios envolvendo ventos intensos. Foram definidos valores limites para as velocidades dos ventos em diferentes províncias do Canadá, variando conforme a vulnerabilidade apresentada pela região (Tabela 6.6). Conforme os radares indicam que a velocidade dos ventos superaram tais níveis, avisos e alertas podem ser emitidos aos órgãos responsáveis pela prevenção e tomada de decisões perante a ocorrência de desastres. Em similaridade ao sistema adotado no Canadá, é possível utilizar a escala EBRAV como base para a definição de alguns limiares de velocidades para rajadas de ventos ocorridos em território brasileiro (Tabela 6.7), de modo a nortear sistemas de emissão de alertas de desastres relacionados à atuação de ventos intensos.

Tabela 6.6: Valores limiares de vento para emissão de alertas adotados pelos órgãos meteorológicos do Canadá (Fonte: Joe et al.)

Área	Limiares
<i>Newfoundland</i>	Ventos constantes de 75 km/h ou rajadas de 100 km/h
<i>Marítima</i>	Ventos constantes de 65 km/h ou rajadas de 90 km/h
<i>Quebec</i>	Rajadas de 90 km/h
<i>Ontário</i>	Ventos constantes de 60 km/h por três horas ou rajadas de 90 km/h
<i>Prairie</i>	Ventos constantes de 60 km/h por uma hora ou rajadas de 90 km/h
<i>Alberta</i>	Ventos constantes de 65 km/h ou rajadas de 100 km/h (exceto na região de Lethbridge, onde adota-se ventos constantes de 70 km/h ou rajadas de 120 km/h)
<i>Ártico</i>	Ventos constantes de 60 km/h ou rajadas de 90 km/h
<i>Yukon</i>	Ventos constantes de 60 km/h ou rajadas de 90 km/h
<i>Costa do Pacífico</i>	Ventos constantes de 65 km/h ou rajadas de 90 km/h

Devido à grande heterogeneidade presente no Brasil, não é possível adotar um padrão regional, como feito pelas instituições canadenses. Assim, a proposta de limiares considera as características predominantes de uso de cada área. No caso de setores muito diversificados, recomenda-se a adoção do limiar mínimo encontrado, considerando-se as estruturas presentes na região.

Merece menção algumas particularidades adotadas para definição destes valores. Segundo a EBRAV, ventos superiores a 80 km/h já são capazes de causar danos à algumas culturas agrícolas, fato que, aliado a grande vulnerabilidade da maioria das instalações rurais brasileiras, motivou a definição de um limiar baixo. Critério similar foi adotado para setores comerciais, em função da ampla presença de coberturas parcialmente soltas, tais como toldos e marquises. No caso de favelas, a vulnerabilidade é elevada devido ao fato de grande parte das habitações não apresentarem fundação sólida, podendo sucumbir à ação dos ventos. Esta situação é particularmente mais dramática nos barracos construídos em madeira, cuja estrutura pode ser totalmente desmontada pela intensa movimentação do ar. Por outro lado, grandes galpões industriais e estruturas urbanas consolidadas apresentam menores graus de vulnerabilidade, por apresentarem construções mais sólidas e melhores projetadas, resistindo assim à ventos mais

intensos. No caso de rodovias e estacionamentos adotou-se como limites os valores mínimos necessários para que os detritos atirados pelos ventos sejam capazes de danificar os veículos ou causar ferimentos às pessoas que eventualmente estejam circulando pelo local.

Tabela 6.7: Limiares de velocidades de rajadas de vento propostos para algumas feições existentes em território brasileiro

Características predominantes da área	Limiares de velocidades para rajadas de vento
Setores rurais, culturas agrícolas e instalações agropecuárias	80 km/h
Setor comercial (exceto <i>shopping centers</i>)	80 km/h
Favela com predominância de barracos de madeira	80 km/h
Favela com predominância de construções em alvenaria	90 km/h
<i>Shopping centers</i> do tipo “outlet” (com lojas externas)	90 km/h
Setor urbanizado, com predomínio de casas com cobertura em fibrocimento	90 km/h
Setor urbanizado, com predomínio de casas com cobertura em telhas de cerâmica	100 km/h
Setor industrial	100 km/h
Praças e parques	100 km/h
Setor urbanizado, com predomínio de edifícios (exceto em setores comerciais)	100 km/h
Setor densamente urbanizado com presença de grandes e modernos edifícios	110 km/h
<i>Shopping centers</i> sem lojas externas	110 km/h
Rodovias e estacionamentos ao ar livre	120 km/h

Além da existência de um sistema de classificação que leve em conta as particularidades dos aspectos físicos e arquitetônicos existentes em território brasileiro, para que seja possível o conhecimento de um panorama mais completo da atuação do fenômeno no país, também é necessária a determinação das áreas mais comuns à sua ocorrência. Assim, o capítulo seguinte apresenta os resultados do produto cartográfico obtido com uso das técnicas de modelagem propostas neste estudo.

7 - Análise do modelo de risco de ocorrência de tornados

Conforme exposto anteriormente, um dos objetivos deste trabalho foi o desenvolvimento de um modelo capaz de fornecer um indicativo do risco de ocorrência de tornados. Tal modelo busca, não apenas determinar a distribuição espacial das ocorrências já registradas, mas também se fundamentar em fatores físicos do terreno para determinar a frequência de recorrência dos eventos, possibilitando futura inserção em sistemas de modelagem atmosférica. Tais informações, associadas a outros dados disponíveis nos modelos existentes, poderão auxiliar na previsão de episódios tornádicos.

O modelo elaborado (Figura 7.1) mostra a existência de uma nítida tendência de concentração de tornados em determinados setores do Brasil meridional, com destaque para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Contudo, probabilidades significativas de ocorrência do fenômeno foram encontradas em praticamente todo o setor mapeado, com exceção das porções norte dos estados de Goiás e Minas Gerais, e grande parte do estado do Espírito Santo.

Apesar da dinâmica atmosférica desconsiderar as fronteiras políticas impostas pelo homem, neste estudo foi feita a opção pela exibição dos resultados em escala estadual, uma vez que a delimitação das ocorrências dentro dessas Unidades da Federação facilita o planejamento e tomada de decisões por parte dos órgãos públicos responsáveis pela prevenção e mitigação dos impactos decorrentes de desastres naturais.

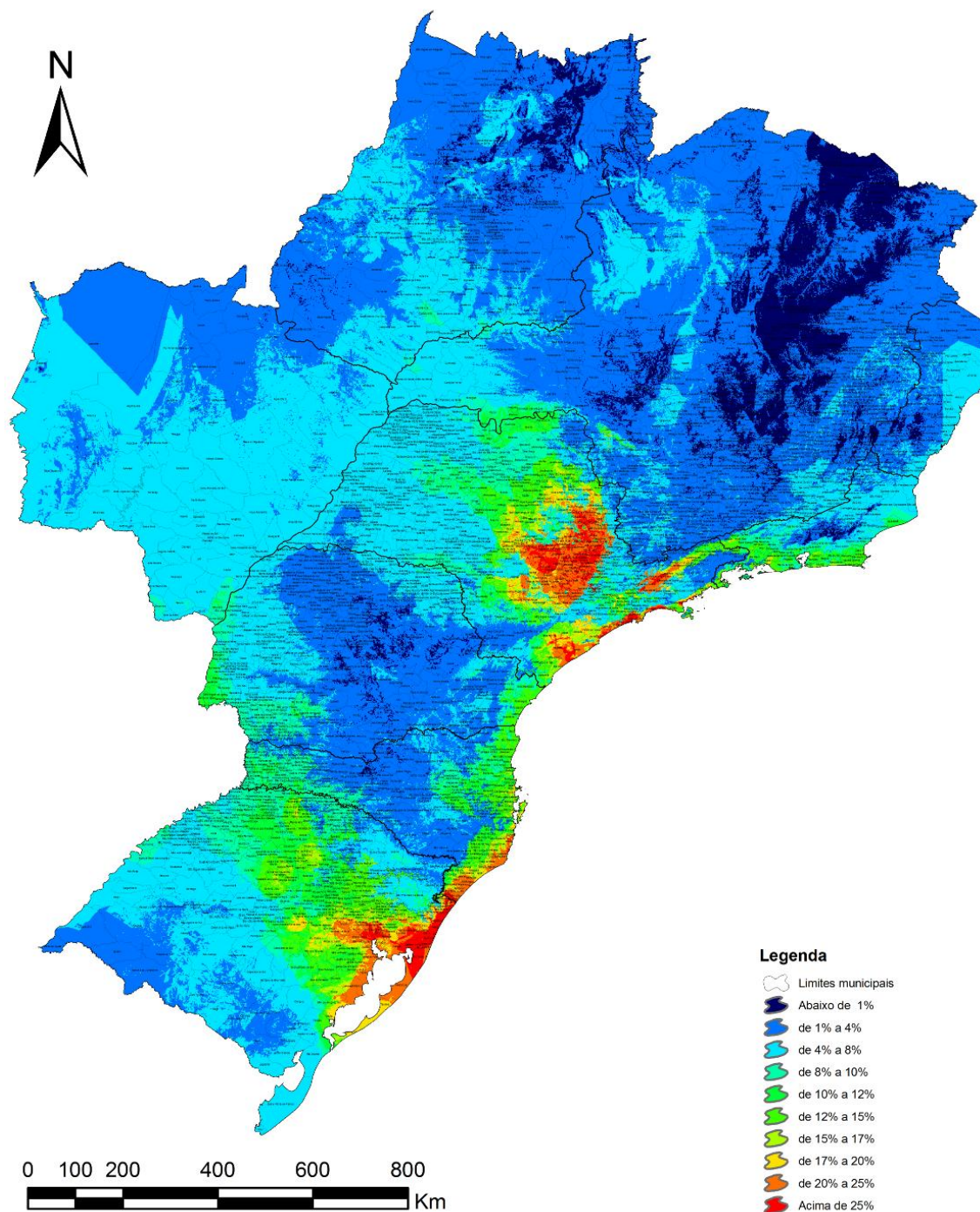


Figura 7.1: Risco de ocorrência de tornados no Brasil Meridional, de acordo com o modelo proposto¹⁴. (Elaborado pelo autor)

¹⁴ Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados apresentados, ao fim desta Tese encontra-se anexado um CD contendo cópia em alta resolução do mapa apresentado na Figura 7.1

7.1 Estado de São Paulo

São Paulo é o estado que apresenta o maior quantidade de registros desses eventos – não necessariamente maior número de episódios, tendo em vista que esse é o estado mais povoado e populoso da federação, fato que favorece a percepção do fenômeno. O modelo responde a tal constatação e exibe grandes áreas que apresentam riscos de ocorrência maiores que 20% ao ano (Figura 7.2). Nota-se extensa faixa na área central do estado, correspondente à Depressão Periférica, onde a junção da geomorfologia e clima apropriados fazem com que as probabilidades de ocorrência sejam particularmente elevadas em relação ao entorno. Tais valores são ainda mais altos em certos pontos, onde há influência da presença de massivos corpos d'água.

A faixa litorânea também apresenta grande risco de ocorrência; nesse caso, além de tornados, que se formam nos setores mais planos, o risco também está associado à formação de trombas-d'água, que ocorrem em função da presença de águas mais aquecidas, sendo que a grande maioria ocorre nos meses de verão.

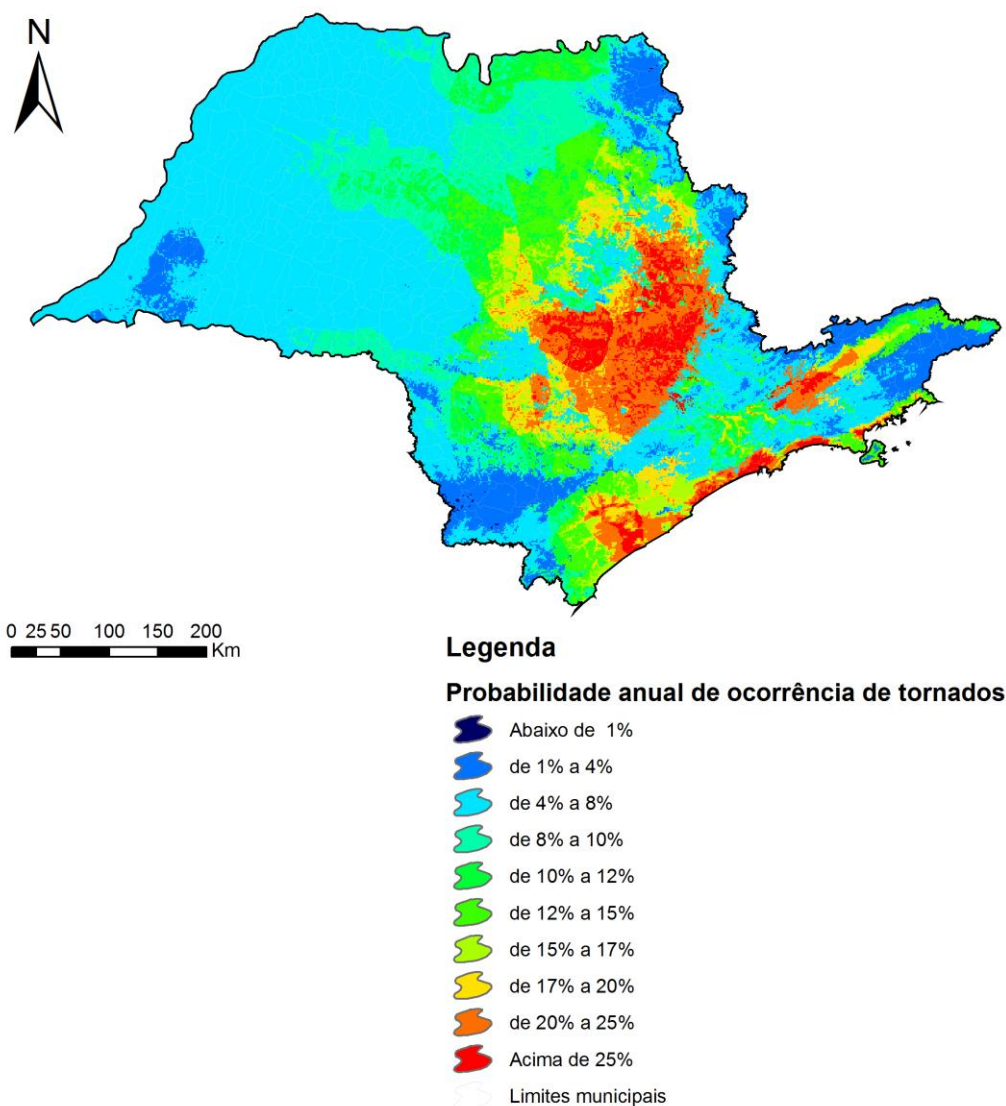


Figura 7.2: Risco de ocorrência de tornados no estado de São Paulo (Elaborado pelo autor)

Observa-se uma faixa ao longo do Vale do Paraíba onde o risco também é intensificado (Figura 7.3). Tal aspecto surge em função da planície formada pelo rio que dá o nome ao vale, que propicia circulação atmosférica livre da influência de obstáculos naturais, em oposição ao que ocorre na borda do vale, onde a Serra da Mantiqueira ao norte e a Serra do Mar ao sul dificultam a circulação do ar, formando nuvens orográficas. Estas podem eventualmente se deslocar até o vale, provocando chuvas pesadas, por vezes acompanhadas de ventos intensos, apresentando, assim, condições de originar tornados. Intensificação semelhante das probabilidades ocorre nos arredores dos vales do Rio Tietê, no centro do estado e próximo ao Rio Grande, na divisa com

Minas Gerais. Complementarmente, a urbanização pode ter também um papel fundamental na intensificação das tempestades, fator que fica evidenciado pela Figura 7.4, a qual faz parte de estudo desenvolvido por Gomes (2010) e revela que os registros de raios apresentam padrão de distribuição espacial bastante similar ao exibido pelo modelo de risco de ocorrências de tornados, embora este último esteja mais intimamente ligado às variações do relevo. Um dos poucos pontos discordantes consiste na região litorânea onde há grande risco de surgimento de episódios tornádicos envolvendo, sobretudo, à ocorrência de trombas-d'água, embora haja escassa incidência de raios.

O modelo mostra grandes percentuais de probabilidade de ocorrência de tornados ao longo de todo o setor paulista do Vale do Paraíba, com valores particularmente elevados nos arredores das cidades de Jacareí e São José dos Campos. Nos setores serranos as probabilidades são drasticamente reduzidas, com exceção de pequenas faixas correspondentes aos vales fluviais de alguns afluentes do Paraíba.

A Figura 7.3 exhibe ainda setores litorâneos com certo incremento nos riscos de ocorrência. Tais elevações nos valores relacionam-se aos registros de trombas-d'água, que não chegam a ser incomuns no setor, e à presença de faixas de relevo mais plano, situadas nas porções onde a planície litorânea é um pouco mais extensa. Vale ressaltar que nessas localidades estão localizadas as áreas mais adensadas das principais cidades do litoral norte paulista: Bertioga, São Sebastião, Caraguatatuba e Ubatuba.

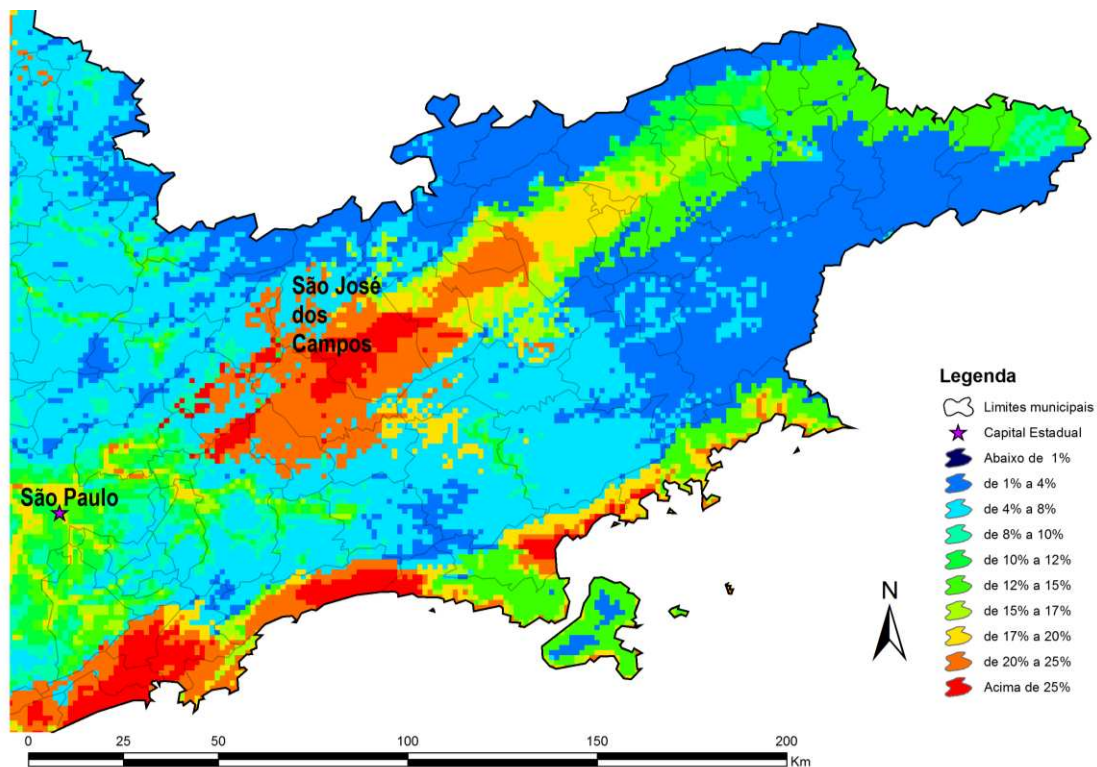


Figura 7.3: Risco de ocorrência de tornados na região do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo (Elaborado pelo autor)

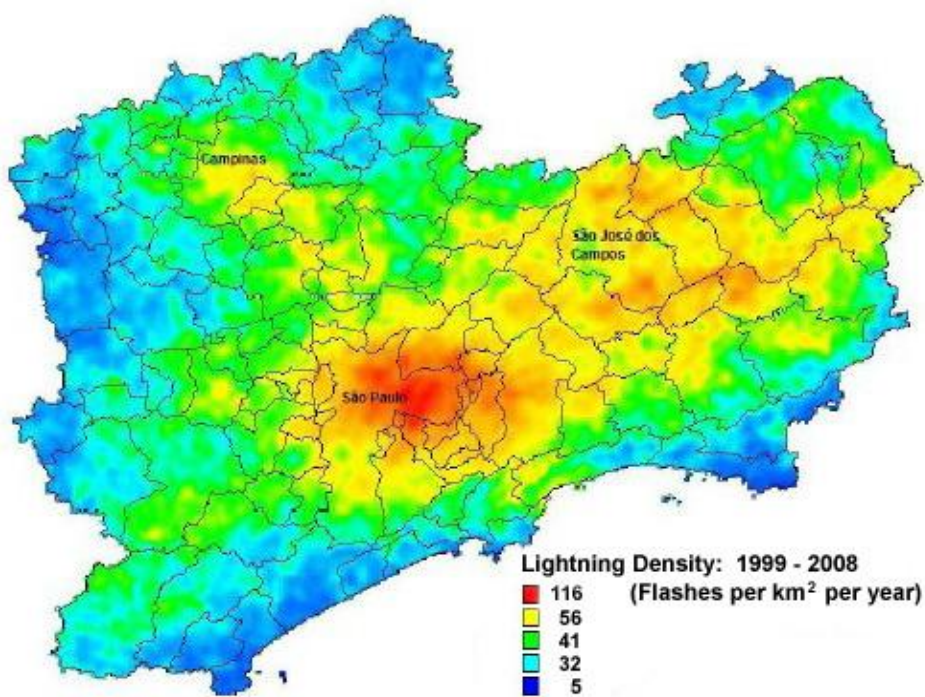


Figura 7.4: Densidade de ocorrência de raios em porção densamente urbanizada do estado de São Paulo (Fonte: Gomes, 2010)

O estado de São Paulo apresenta, também, o ponto com maior probabilidade de ocorrência em toda a área mapeada: trata-se de um ponto situado na cidade de Itupeva, próximo à divisa com Jundiaí (ponto demarcado com a letra A, na Figura 7.5). O relevo plano, com baixa altimetria e próximo a um setor com elevado número de ocorrências faz com que o modelo probabilístico aponte até 36% de chances anuais de formação de tornados nesse local. Como nem sempre a imprensa registra tais episódios como se tratando propriamente de um tornado, foram executadas buscas na Internet utilizando as seguintes palavras-chave na tentativa de se encontrar indícios de eventos ali ocorridos: vendaval, ventos fortes, destelhamento, queda de árvores, tempestade, ciclone, furacão e tufão – embora muitas dessas palavras indiquem fenômenos não correlatos aos tornados, não é incomum o uso de tais termos pela mídia, tratando-os como sinônimos de ventos intensos. Várias reportagens e relatos em *blogs* da Internet foram encontrados relatando ocorrências ao lado de uma estrada exatamente nesse ponto, com destaque para os seguintes registros recentes: 04 de maio de 2009¹⁵; 08 de setembro de 2009¹⁶ e 09 de janeiro de 2010. Apesar de não ser possível comprovar que esses mais recentes se trataram de fato de tornados, há recorrentes registros fotográficos e visuais da formação de nuvens funil na área em questão, mostrando que fatores locais intensificam as células de tempestades que atingem tal área.

¹⁵ <http://www.itupevaonline.com.br/noticia.php?canal=4&id=1420> – Acesso em maio de 2012

¹⁶ <http://www.itupevaonline.com.br/noticia.php?id=1906> – Acesso em maio de 2012

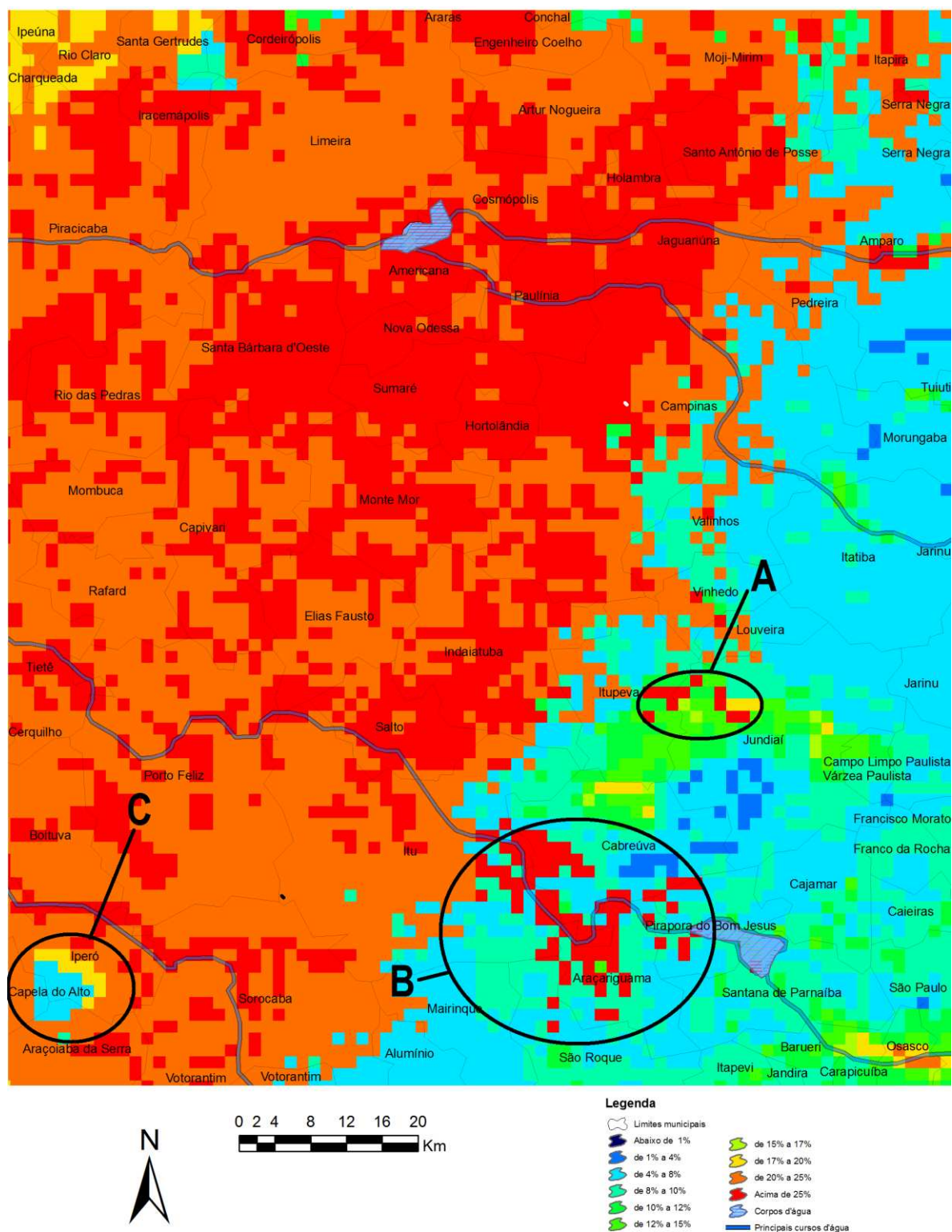


Figura 7.5: Risco de ocorrência de tornados nas proximidades da cidade de Campinas, SP (Elaborado pelo autor)

A localização demarcada como “B” na Figura 7.5 mostra que o risco de ocorrência do fenômeno também é bastante alto nas proximidades do Rio Tietê, superando 25% em pontos situados entre as cidades de Itu, Araçariguama e Cabreúva. Tal área corresponde, justamente, aos arredores do local onde ocorreu o mais destrutivo e dramático tornado já registrado no país, que causou grande destruição ao atingir setores residenciais da cidade de Itu em 1991. O relevo plano, em conjunto com a presença de um grande reservatório de água nas proximidades, certamente teve papel preponderante na gênese e intensificação do fenômeno.

A Figura 7.5 permite, ainda, destacar elevados valores de risco em toda a Região Metropolitana de Campinas e municípios vizinhos, onde as probabilidades de ocorrência ficam em torno de 20% a 25% ao ano.

Opostamente às elevadas probabilidades de ocorrência, surge uma mancha correspondente a menores valores na divisa entre os municípios de Araçoiaba da Serra, Capela do Alto e Iperó, (setor demarcado com a Letra C na Figura 7.5). Tal aspecto decorre da existência de um relevo residual mais elevado e íngreme derivado da existência de um antigo *horst* vulcânico. Essa irregularidade pontual na topografia inibe a intensificação dos sistemas convectivos, diminuindo assim as chances de formação de tornados nesse local. É conveniente destacar que a presença de tal ponto ilustra como o modelo desenvolvido para a execução deste estudo apresenta respostas intimamente ligadas às formas de relevo.

Um importante fator a ser considerado é que a maior parte das áreas que apresentam elevados riscos, encontram-se entre os setores com as maiores concentrações populacionais do país, consistindo no agrupamento de extensas manchas urbanas. Com isso, há tendência de formação de ilhas de calor (LOMBARDO, 1985), capazes de tornar mais frequentes as tempestades severas, podendo facilitar ainda mais a formação de tornados.

7.2 Estado do Rio Grande do Sul

Com 54 episódios registrados, o Rio Grande do Sul apresenta-se em segundo lugar quando se trata do número absoluto de ocorrência de tornados no Brasil. Conforme evidenciado pelo mapa presente na Figura 7.6, ao longo deste estado existe uma faixa longitudinal onde o risco de ocorrência é relativamente elevado. Tais valores tendem a ficar ainda mais altos nas

proximidades do litoral. Setores no entorno do Lago Guaíba e Lagoa dos Patos também apresentam percentuais de risco acima da média, conforme evidenciado pela Figura 7.7. Tais aspectos derivam da conjunção de quatro fatores: proximidade com o oceano, altimetrias pouco elevadas, baixas declividades e grande número de eventos previamente registrados.

Nota-se influência latitudinal significativa, que se sobrepõe ao fator relevo. Riscos relativamente baixos de ocorrência nas planícies dos Pampas evidenciam que, para esse estado, a latitude é fator preponderante.

Também vale salientar a grande diversidade de valores encontrados para a região da Serra Gaúcha (Figura 7.8). O ponto destacado com a letra “A” exhibe claramente como o risco é intensificado no fundo dos vales formados pelos rios que cruzam a região, uma vez que normalmente estes canais apresentam-se bem encaixados no relevo, com grandes desníveis altimétricos entre o fundo do vale e seu entorno. Na marcação “B”, nota-se claramente o desenho de dois cânions existentes no local, em cuja base os valores apresentam grande incremento quando comparados à sua porção mais alta. Além da altimetria, certamente há alguma influência relacionada à proximidade com o oceano, visto que tal área se encontra a menos de 30 km de distância do mar.

Outro fator capaz de intensificar as tempestades ocorridas nesse estado relaciona-se ao fato do Rio Grande do Sul estar em uma região ciclogênica (GAN e RAO, 1993), na qual não é incomum o estabelecimento de núcleos de baixa pressão vinculados a formação de ciclones extra-tropicais.

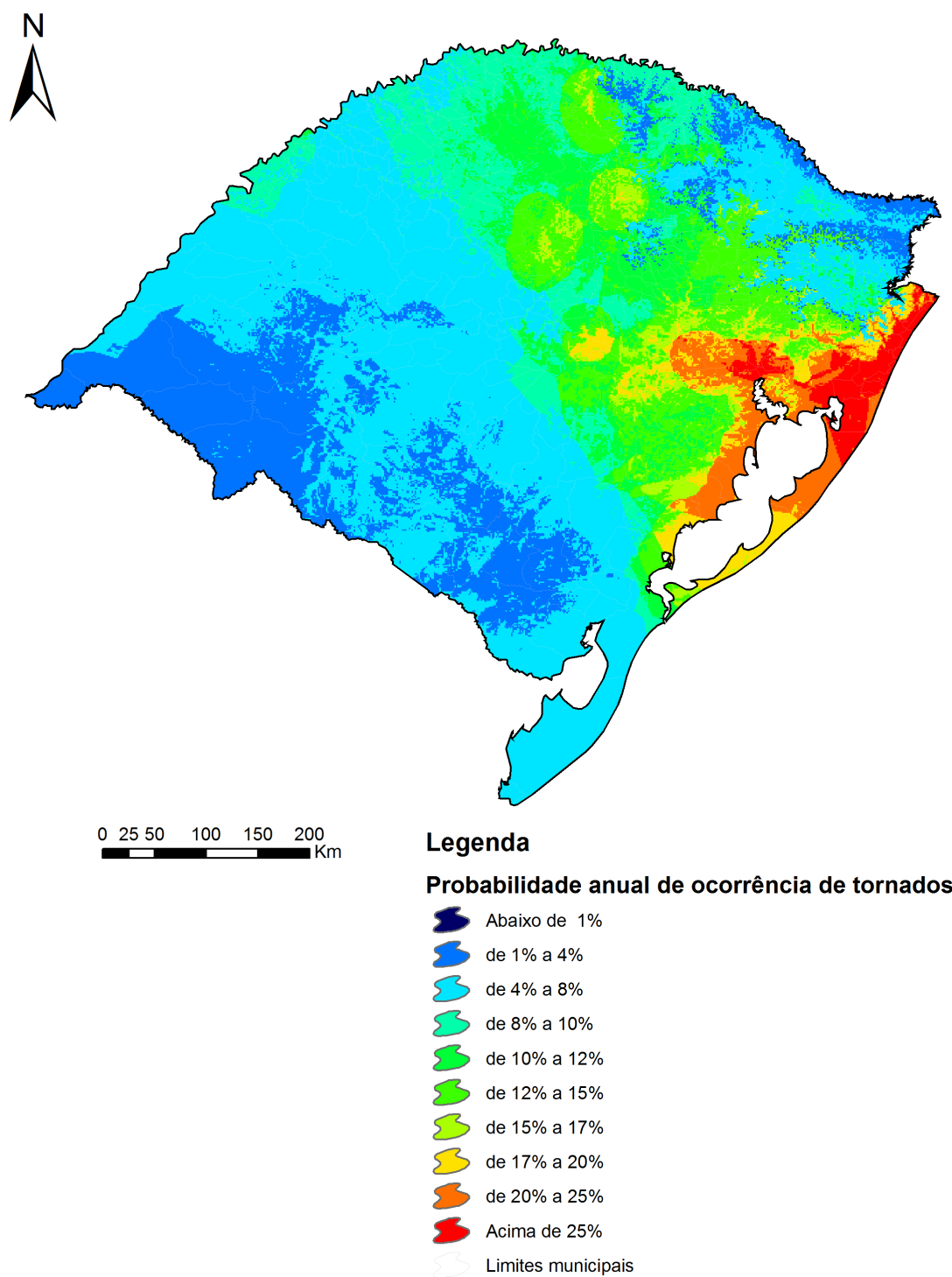


Figura 7.6: Risco de ocorrência de tornados no estado do Rio Grande do Sul (Elaborado pelo autor)

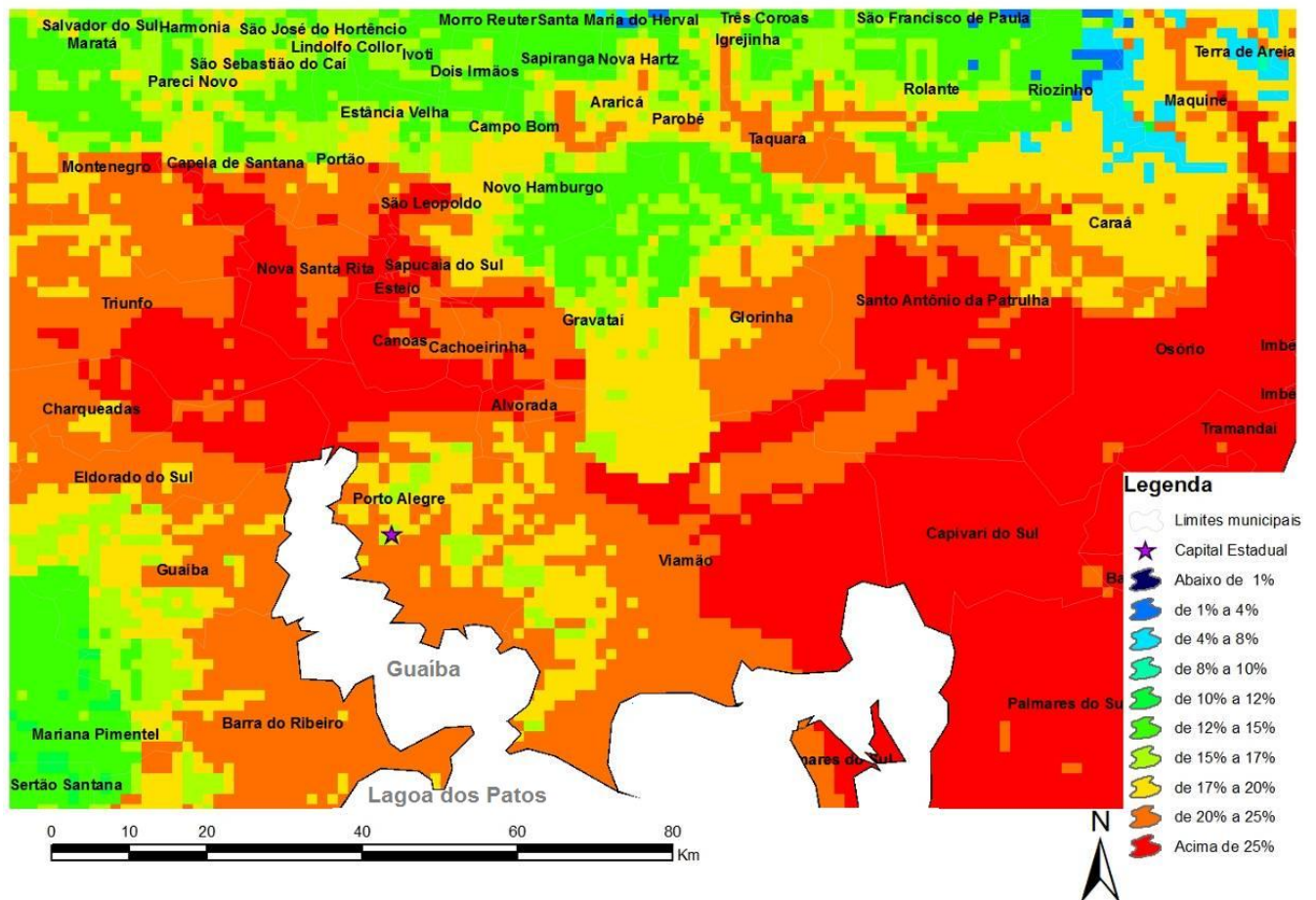


Figura 7.7: Risco de ocorrência de tornados nas cercanias de Porto Alegre, RS (Elaborado pelo autor)

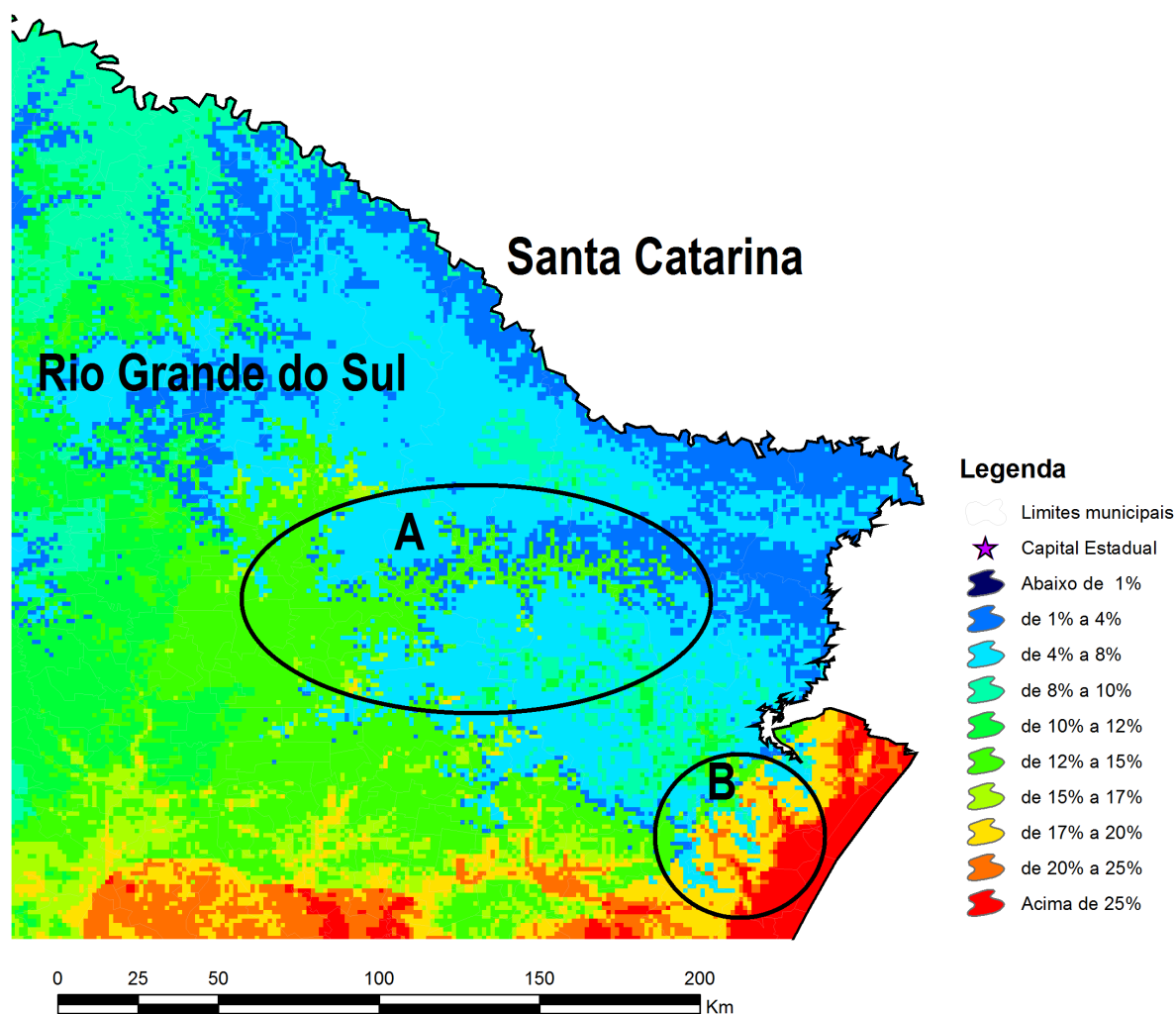


Figura 7.8: Risco de ocorrência de tornados na região da Serra Gaúcha (Elaborado pelo autor)

7.3 Estado de Santa Catarina

Terceiro colocado em relação ao número de ocorrências dentre todas as unidades da federação, o Santa Catarina (Figura 7.9) apresenta riscos elevados de ocorrência de tornados ao longo de uma faixa compreendendo todo o seu litoral e planícies relacionadas aos maiores rios que apresentam desembocaduras nas proximidades - caso do vale do rio Itajaí, onde estão importantes cidades industriais, como Blumenau e Joinville.

O risco é sensivelmente reduzido com o aumento da distância em relação ao litoral, devido à presença de relevo mais elevado e irregular, em um setor popularmente conhecido como “Serra Catarinense”. Todavia, no extremo oeste do estado, próximo à divisa com a Argentina, o

risco volta a se elevar, estando associado às menores altimetrias e declividades existentes nas cercanias de canais tributários do Rio Paraná, sendo claramente visível o delineamento de seus vales. Nesse ponto o relevo mais plano, margeado por morros relativamente elevados (Planalto Catarinense) faz com que haja canalização do ar que ali circula, permitindo rápido deslocamento de sistemas atmosféricos que por ali eventualmente atuem.

O modelo também indica maior probabilidade de surgimento de tornados na porção sul do litoral deste estado, onde, pela figura 7.10 nota-se a existência de riscos de ocorrência superiores a 20% anuais, em praticamente todo o setor, mostrando grande influência da umidade oceânica na intensificação das células de tempestade que atuam nesse local. Certamente, o relevo mais plano da área também exerce papel fundamental na formação do fenômeno atmosférico em questão.

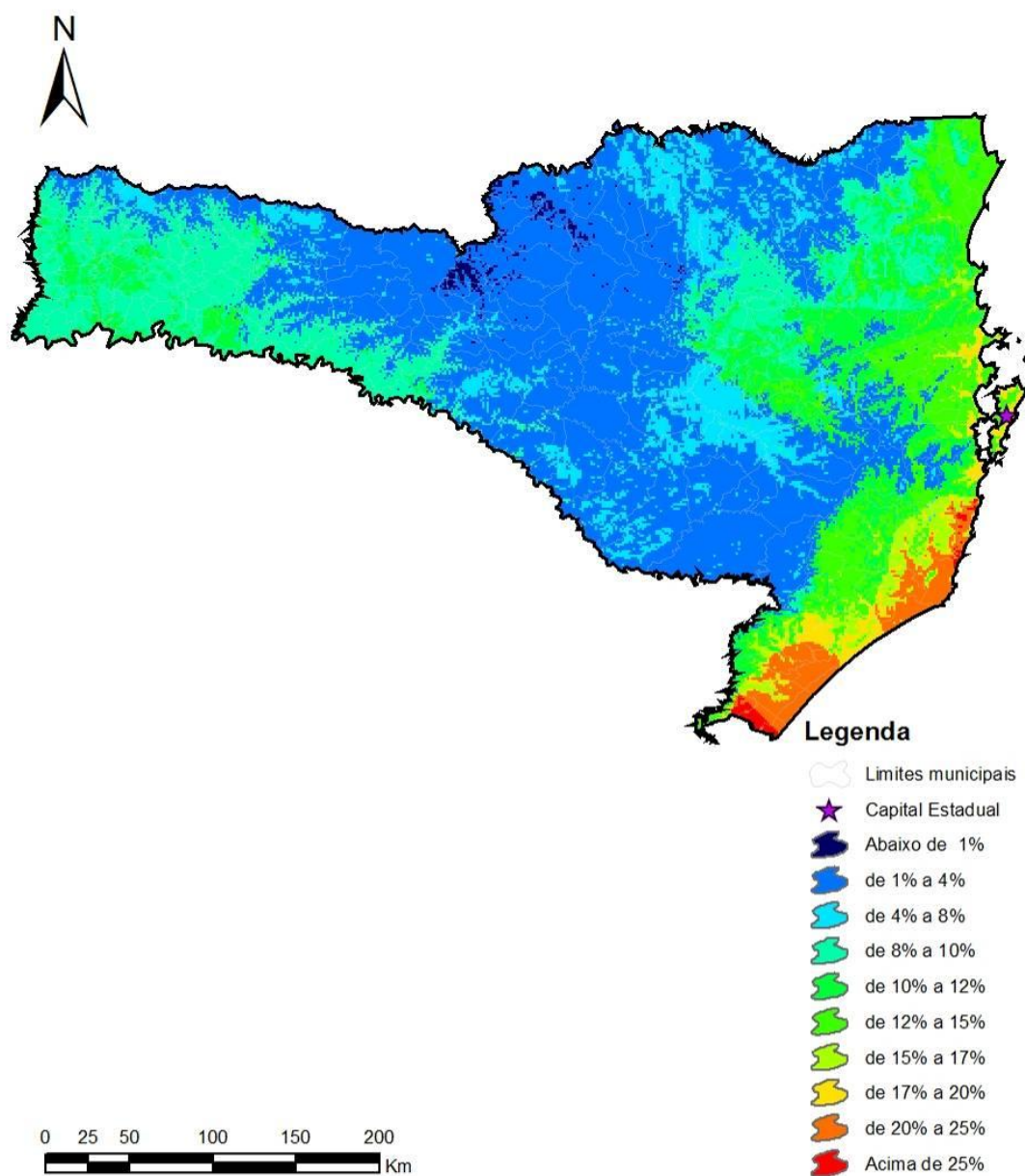


Figura 7.9: Risco de ocorrência de tornados no estado de Santa Catarina (Elaborado pelo autor)

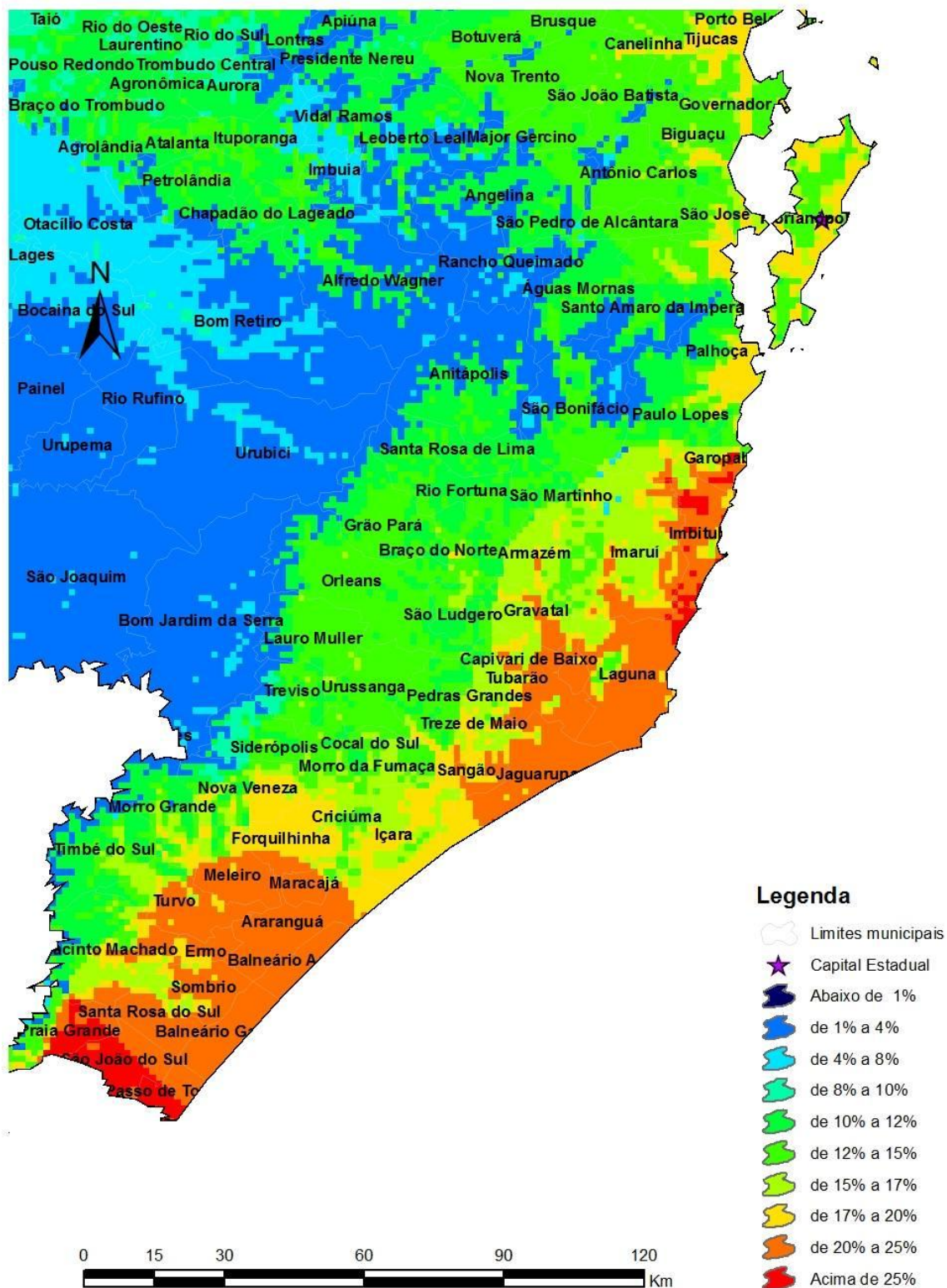


Figura 7.10: Risco de ocorrência de tornados no litoral sul do estado de Santa Catarina (Elaborado pelo autor)

7.4 Estado do Paraná

O estado do Paraná, quarto no *ranking* nacional de ocorrências, apresenta elevado potencial de formação de eventos tornádicos em seu litoral (Figura 7.11). Entretanto, tal faixa de risco não avança muito em direção ao interior (Figura 7.12), pelo fato de que este estado apresenta geomorfologia diferenciada, com a Serra do Mar chegando muito próxima do Oceano, deixando pouco espaço de planície litorânea. Após curta extensão, que varia entre 25 a 50 km, o risco cai abruptamente, em função das elevadas altimetrias e declividades do terreno, assim permanecendo até o setor mais a oeste do estado onde a presença de extensas áreas planas faz com que o risco volte a aumentar, até atingir seu ápice às margens dos rios Iguaçu e Paraná. Tal aspecto consiste em mais uma evidência de que a amplificação dos riscos é diretamente influenciada pela proximidade com grandes corpos hídricos.

A existência de formações relacionadas à presença de relevos relativamente elevados e regulares, faz com que o setor central do estado revele valores pouco elevados, embora eventuais tornados já tenham sido registrados nos fundos dos vales ali existente, como o ocorrido na parte interna do Cânion Guartelá, em 06 de janeiro de 2006.

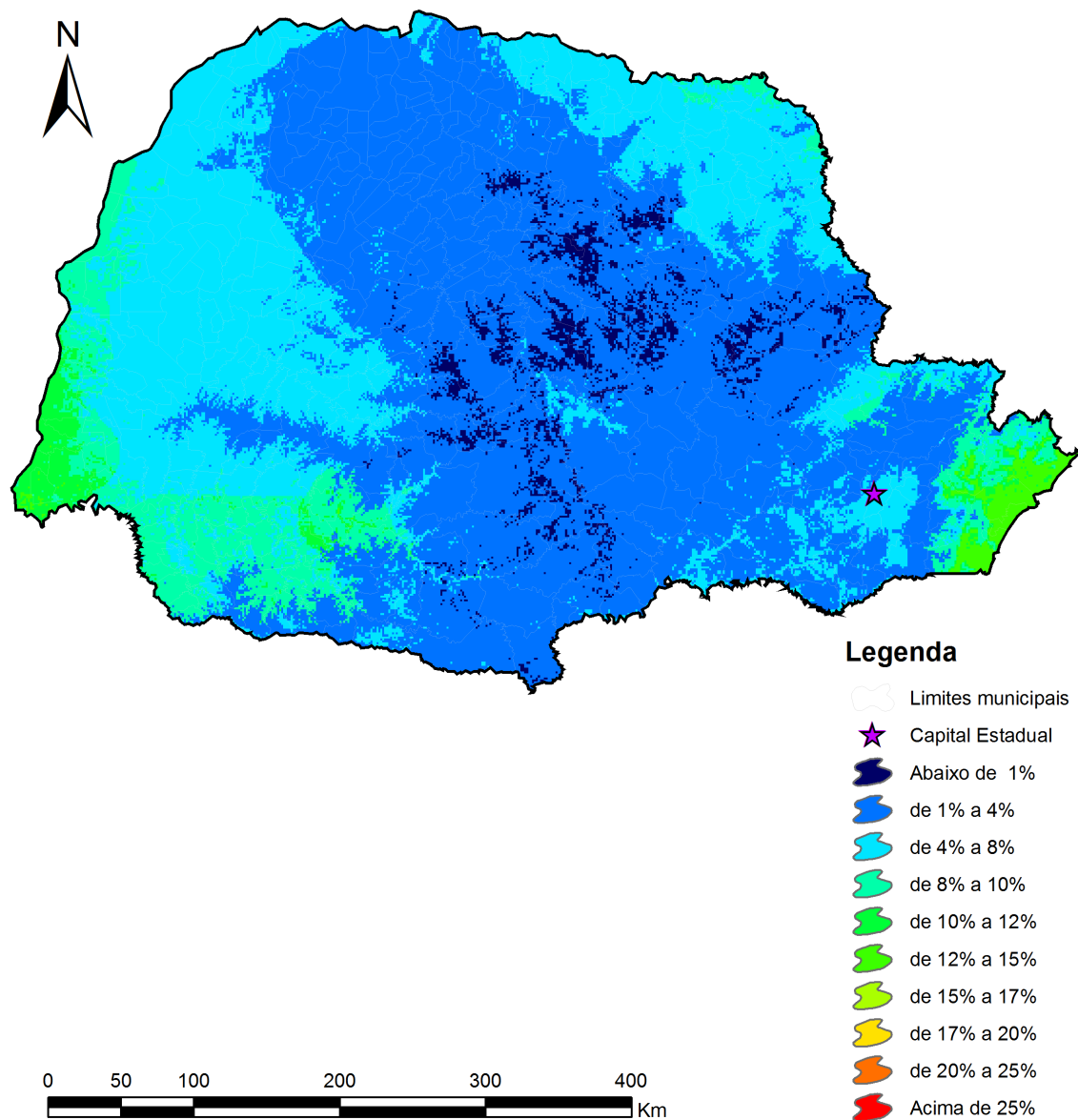


Figura 7.11: Risco de ocorrência de tornados no estado do Paraná (Elaborado pelo autor)

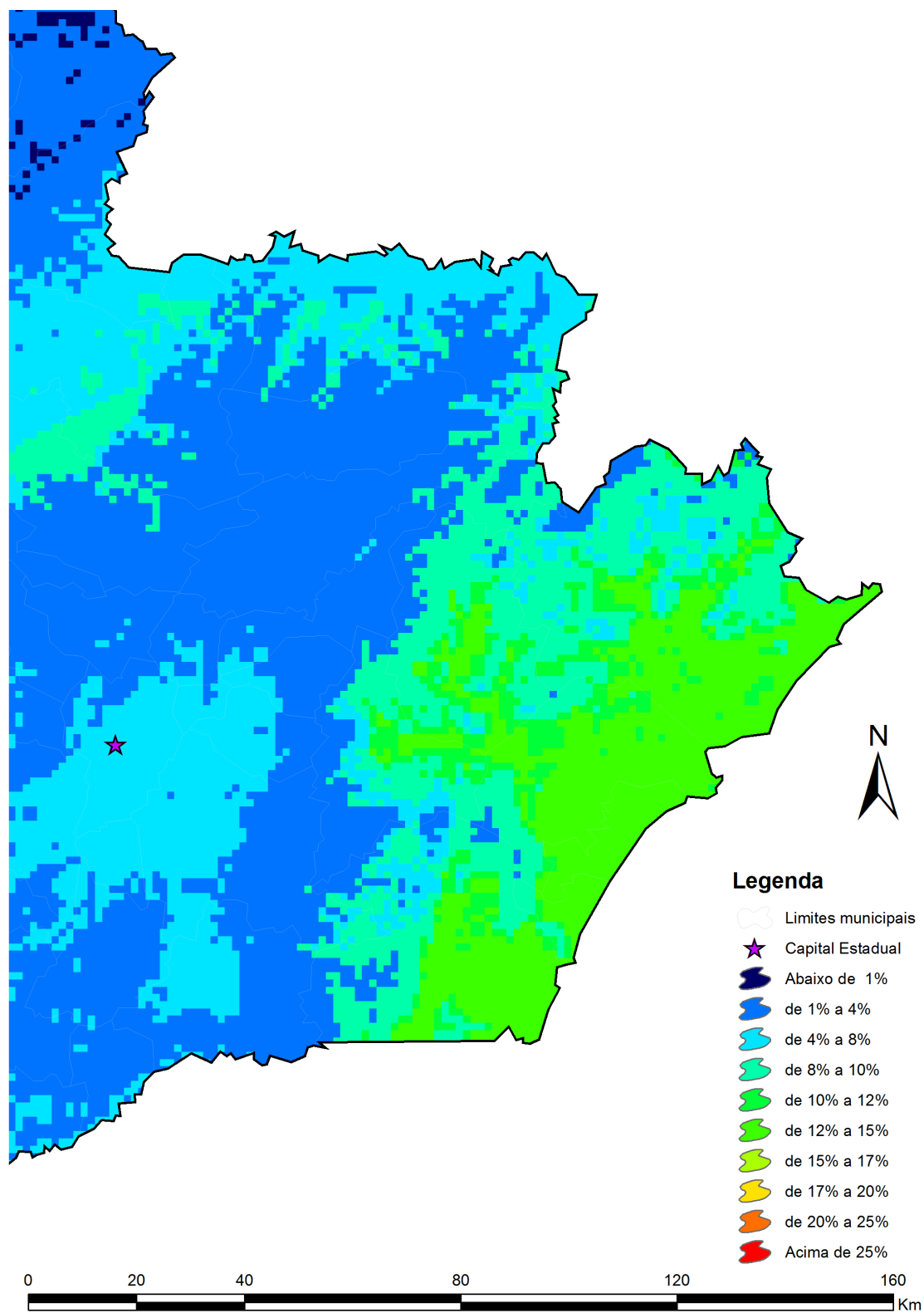


Figura 7.12: Risco de ocorrência de tornados no litoral do estado do Paraná (Elaborado pelo autor)

7.5 Estado do Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro (Figura 7.13) apresenta risco particularmente mais elevado nas proximidades do Rio Paraíba, à exemplo do que ocorre no setor paulista desse curso d'água; ainda que apresente valores inferiores aos registrados em seu estado vizinho. O mesmo aspecto é encontrado nas redondezas do Rio Guandu, na região da Baixada Fluminense (Figura 7.14). Embora o relevo fluminense seja bastante irregular, com encostas íngremes nas proximidades do mar, toda a faixa correspondente ao litoral sul do estado apresenta risco relativamente intenso, sobretudo quando comparado às áreas mais afastadas do litoral (setor serrano); os picos mais elevados da Serra do Mar atuam, nitidamente, como anteparos ao avanço dos sistemas atmosféricos, reduzindo o potencial tornádico das áreas mais próximas a este setor.

Ao norte do município de Cabo Frio, observa-se tendência na redução dos riscos; mesmo quando avaliada a porção litorânea; setor que, se analisado unicamente por sua caracterização topográfica, deveria apresentar riscos mais elevados. A ressurgência da corrente das Malvinas, composta por águas mais frias, acontece nesse ponto, fato que indica que a presença de águas mais frias pode exercer influência direta na gênese do fenômeno, sobretudo quando se trata da ocorrência de trombas-d'água.

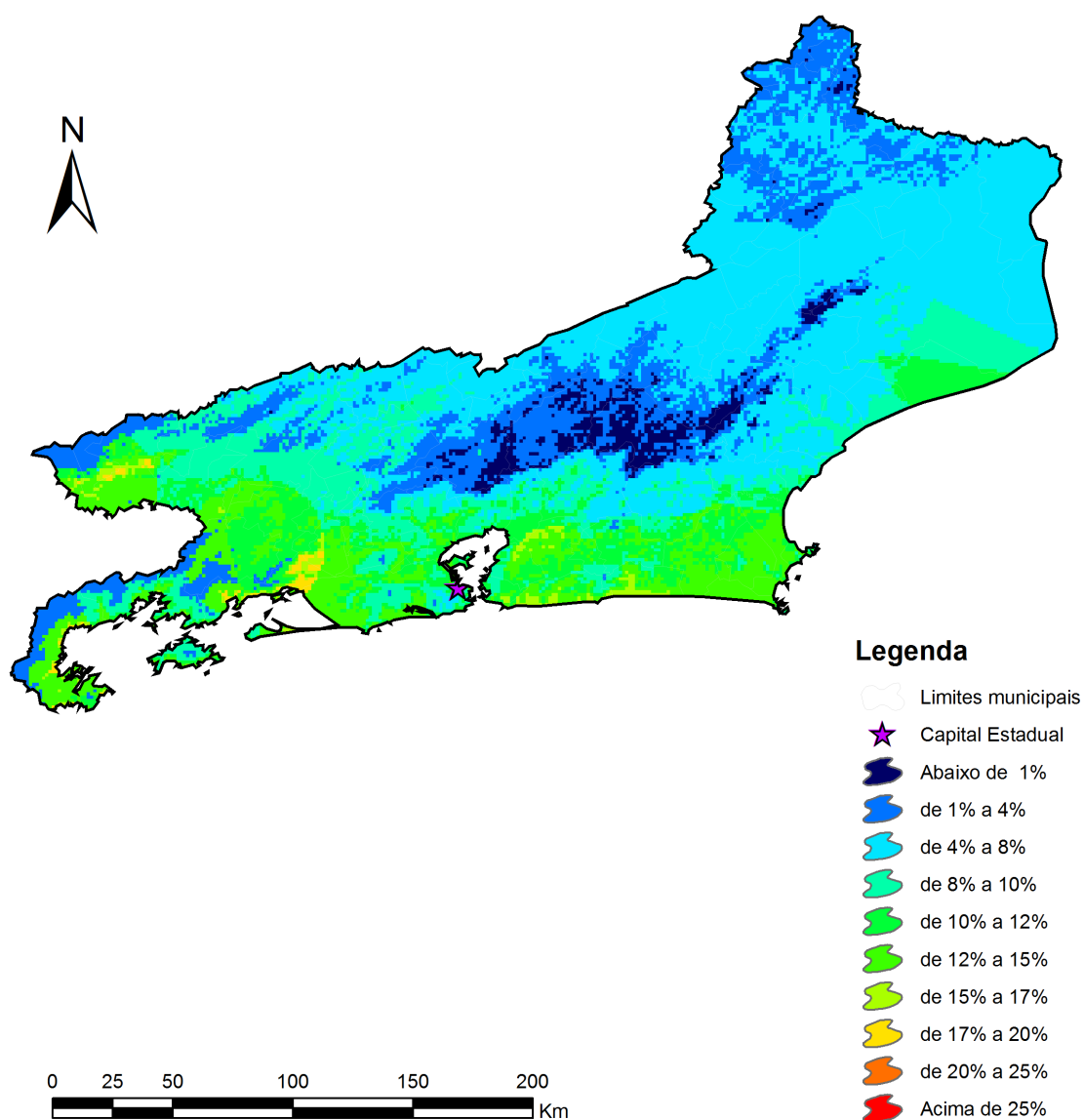


Figura 7.13: Risco de ocorrência de tornados no estado do Rio de Janeiro (Elaborado pelo autor)

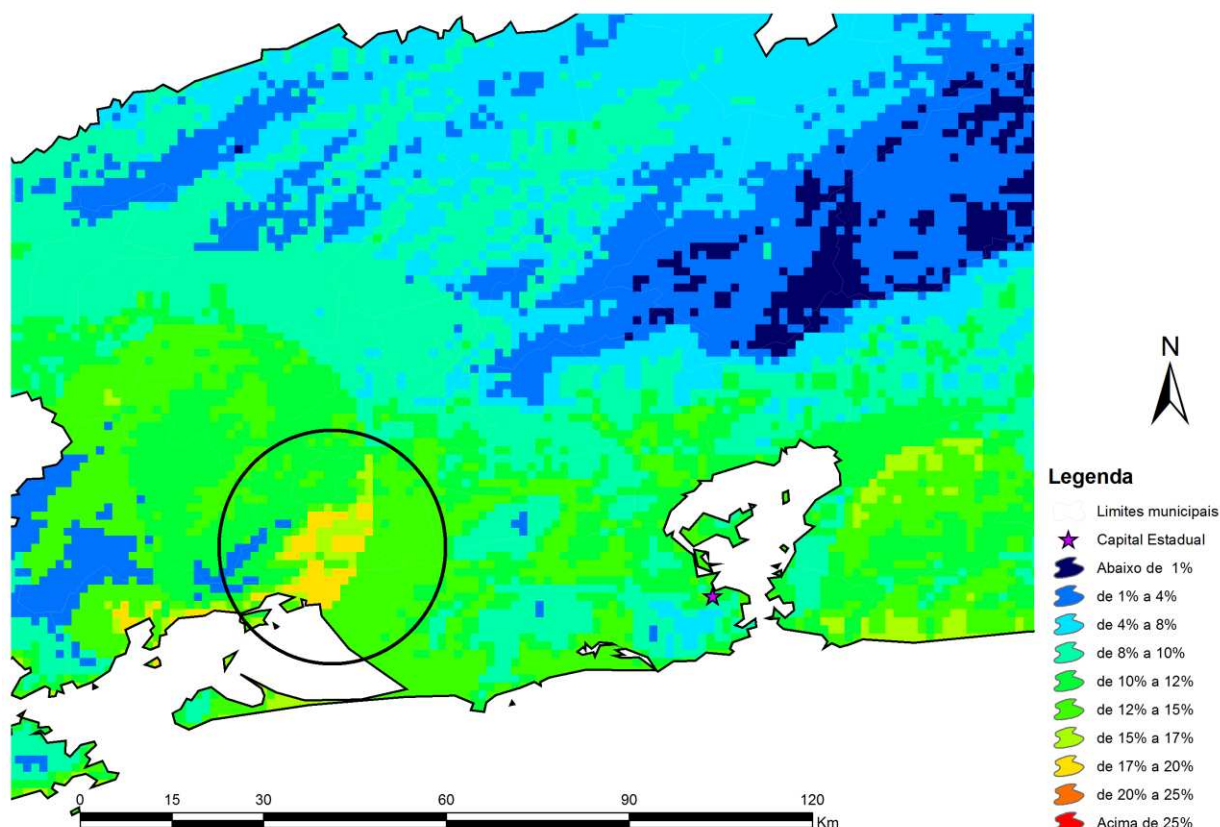


Figura 7.14: Risco de ocorrência de tornados na região da Baixada Fluminense – com destaque para a desembocadura do Rio Guandu (demarcada com um círculo preto) (Elaborado pelo autor)

7.6 Estado de Minas Gerais

Por não possuir território em áreas litorâneas, o estado de Minas Gerais (Figura 7.15) não apresenta eventos diretamente influenciados pela proximidade com o mar. Outro aspecto observado nesse estado é o relevo elevado e irregular, o que reduz drasticamente as chances de ocorrência do fenômeno em sua área central e, principalmente, nas cercanias da Serra do Espinhaço.

Nota-se, ainda, redução gradativa das ocorrências conforme se avança para o Norte do estado. Tal aspecto relaciona-se às latitudes relativamente baixas, o que faz com que essa área não seja frequentemente englobada pelos sistemas mais conflitantes que avançam oriundos do sul do continente. Há também que se considerar que tal local apresenta regime climático semiárido, diferenciando-se assim dos demais setores avaliados.

À leste do estado há pequena tendência de ampliação dos valores, o que pode ser relacionado com a proximidade com o oceano. Ainda que a distância até o mar seja relativamente grande, alguns sistemas mais bem configurados podem atingir a região e, eventualmente, deflagrar tempestades quando se confrontam com parcelas de ar mais arrefecido.

Não obstante, os maiores riscos de ocorrência de tornados estão em setores mais distantes da influência oceânica. A imagem 7.16 mostra pontos na região do Triângulo Mineiro, próximos à divisa com o estado de São Paulo, onde os valores apresentados são relativamente elevados, decorrente da conjunção da presença de geomorfologia mais suave em conjunção com latitudes elevadas o suficiente para permitir a influência das massas de ar de origem polar, ainda que de maneira inconstante.

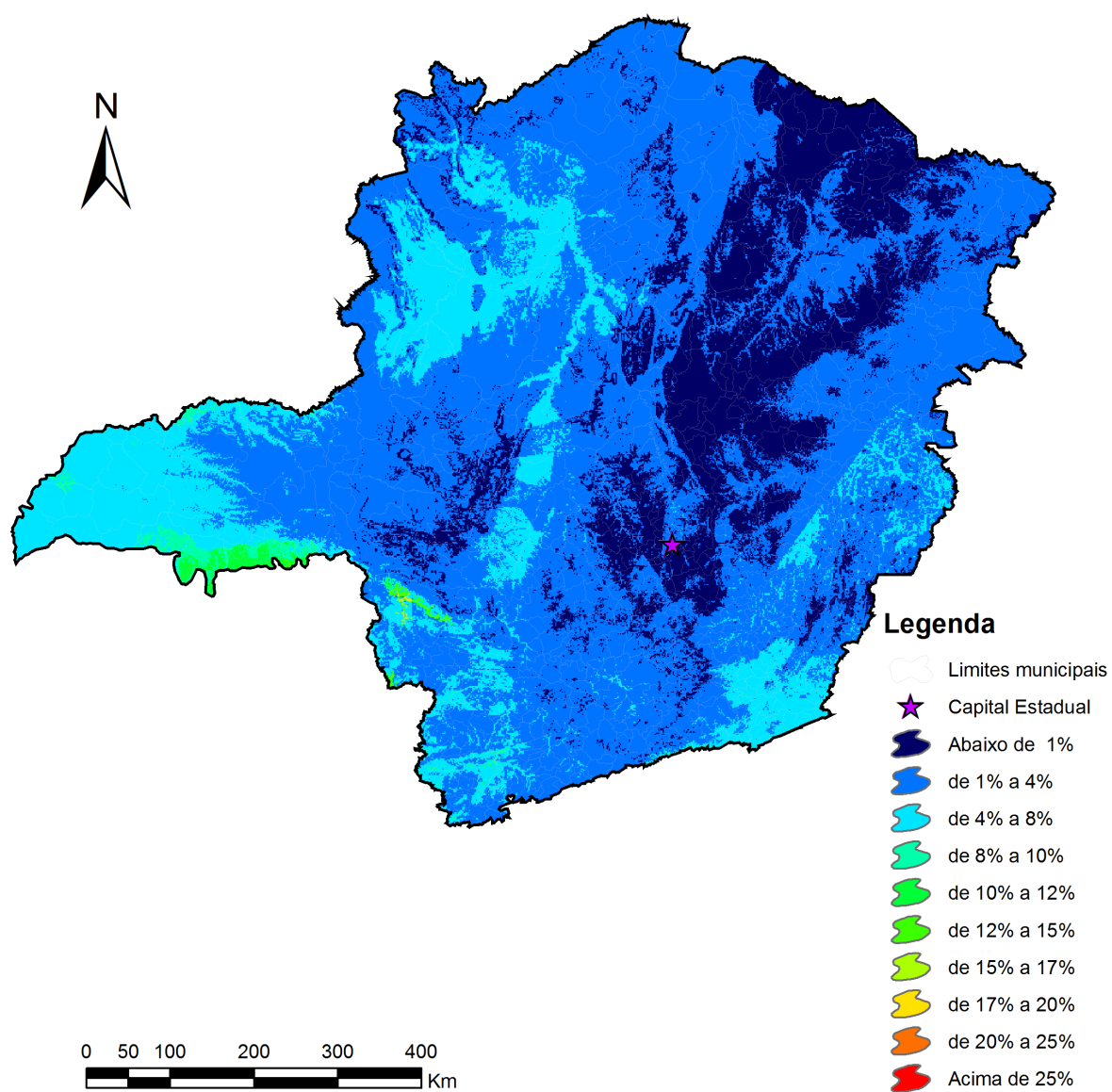


Figura 7.15: Risco de ocorrência de tornados no estado de Minas Gerais (Elaborado pelo autor)

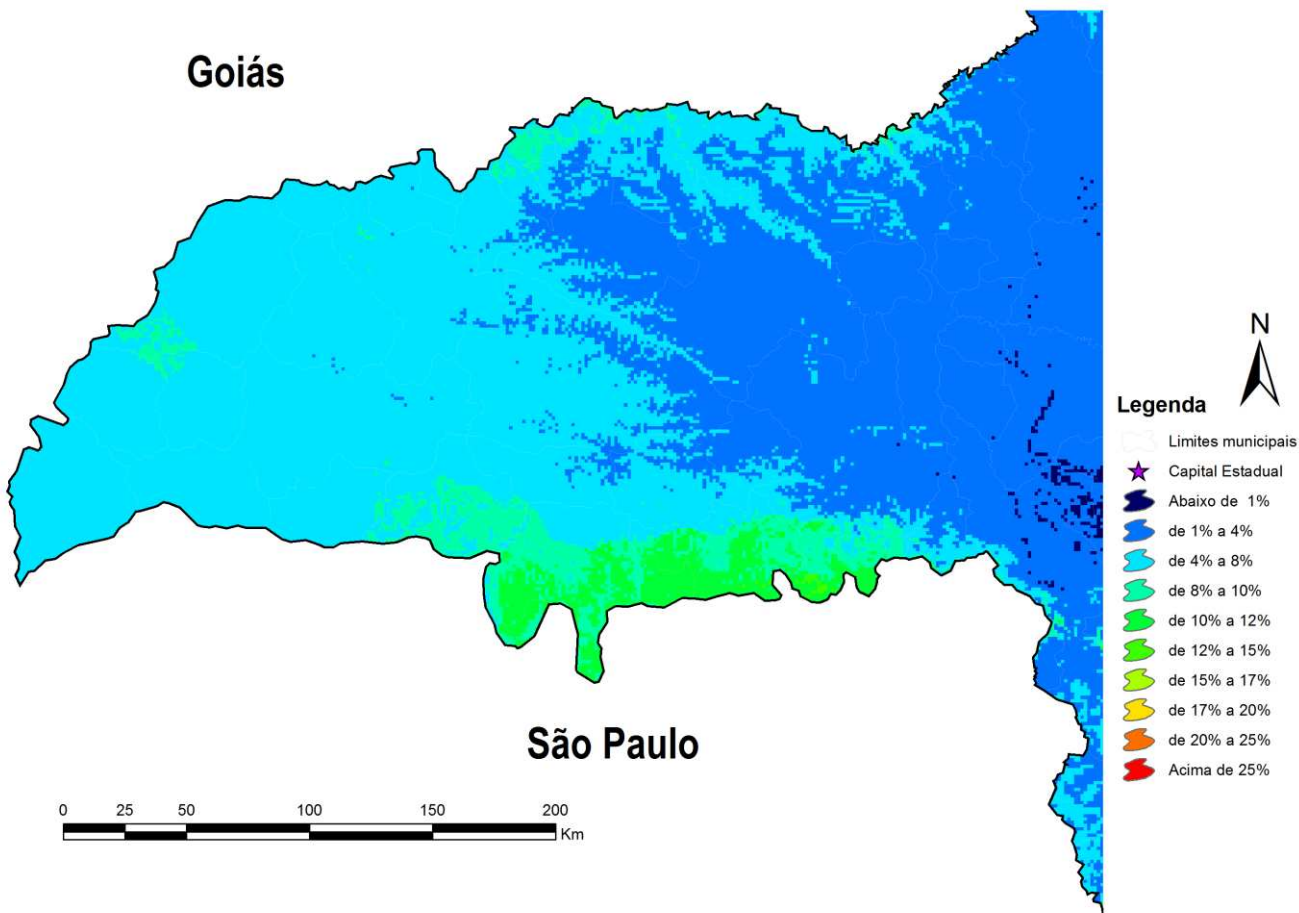


Figura 7.16: Risco de ocorrência de tornados na região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais (Elaborado pelo autor)

7.7 Estado de Mato Grosso do Sul

Em virtude de estar situado em área de relevo uniforme, com poucas alterações significativas em sua declividade ou altimetria, os setores centrais do estado do Mato Grosso do Sul (Figura 7.17) exibem relativa homogeneidade na distribuição dos riscos de ocorrência, que apresentam valores em torno de 4 a 8% na maior parte de seu território. Em função da grande distância até o oceano, a continentalidade influencia fortemente a dinâmica do clima, deixando então evidente o papel da latitude na distribuição do risco das ocorrências, que variam conforme a posição do setor em relação ao sentido de entrada dos sistemas frontais neste estado. Assim, é possível perceber a influência relativamente elevada do fator latitudinal, uma vez que os riscos são significativamente menores na porção mais ao norte do estado, enquanto, no extremo sul do

estado, é perceptível a existência de zonas com intensificação das probabilidades de ocorrência (Figura 7.18).

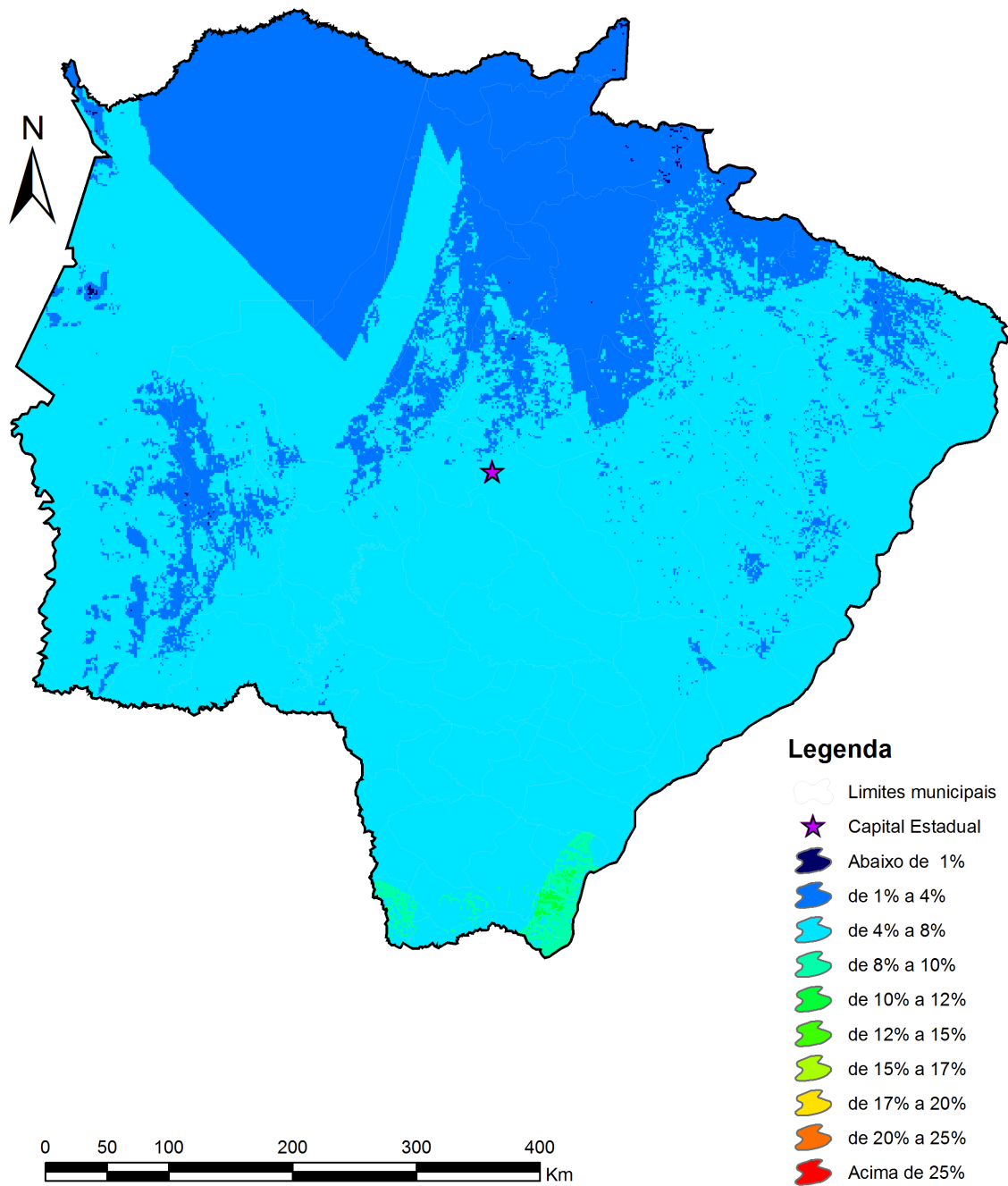


Figura 7.17: Risco de ocorrência de tornados no estado do Mato Grosso do Sul (Elaborado pelo autor)

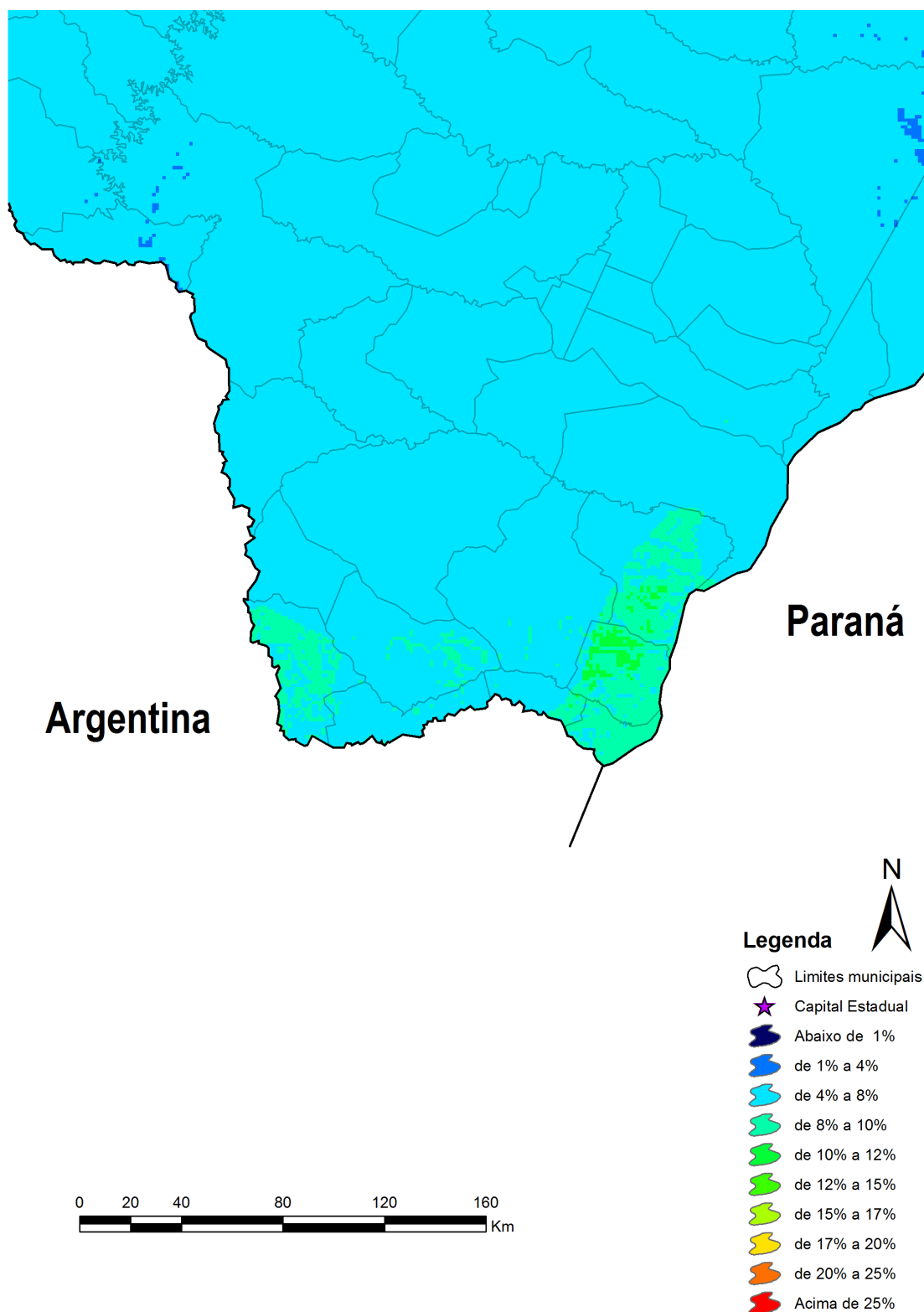


Figura 7.18: Risco de ocorrência de tornados no extremo sul do estado do Mato Grosso do Sul (Elaborado pelo autor)

7.8 Estado de Goiás e Distrito Federal

Similarmente ao ocorrido no estado do Mato Grosso do Sul, a grande distância em relação ao oceano faz com que a distribuição no estado de Goiás assuma grande componente latitudinal (Figura 7.19). Contudo a presença de elevações mais significativas (chapadas) faz com que haja redução nos riscos de ocorrências em certos setores, onde o risco cai para valores próximos a 1% ao ano. Nas cercanias do Distrito Federal (Figura 7.20) temos valores variáveis entre 1 a 4%, sendo possível notar alguns focos com probabilidades mais elevadas, principalmente nas áreas mais rebaixadas. É importante salientar que, embora apresente riscos reduzidos, relatos recentes indicam a visualização de nuvens funis em Brasília e Sobradinho, cidade satélite próxima à capital federal (ver Anexo II).

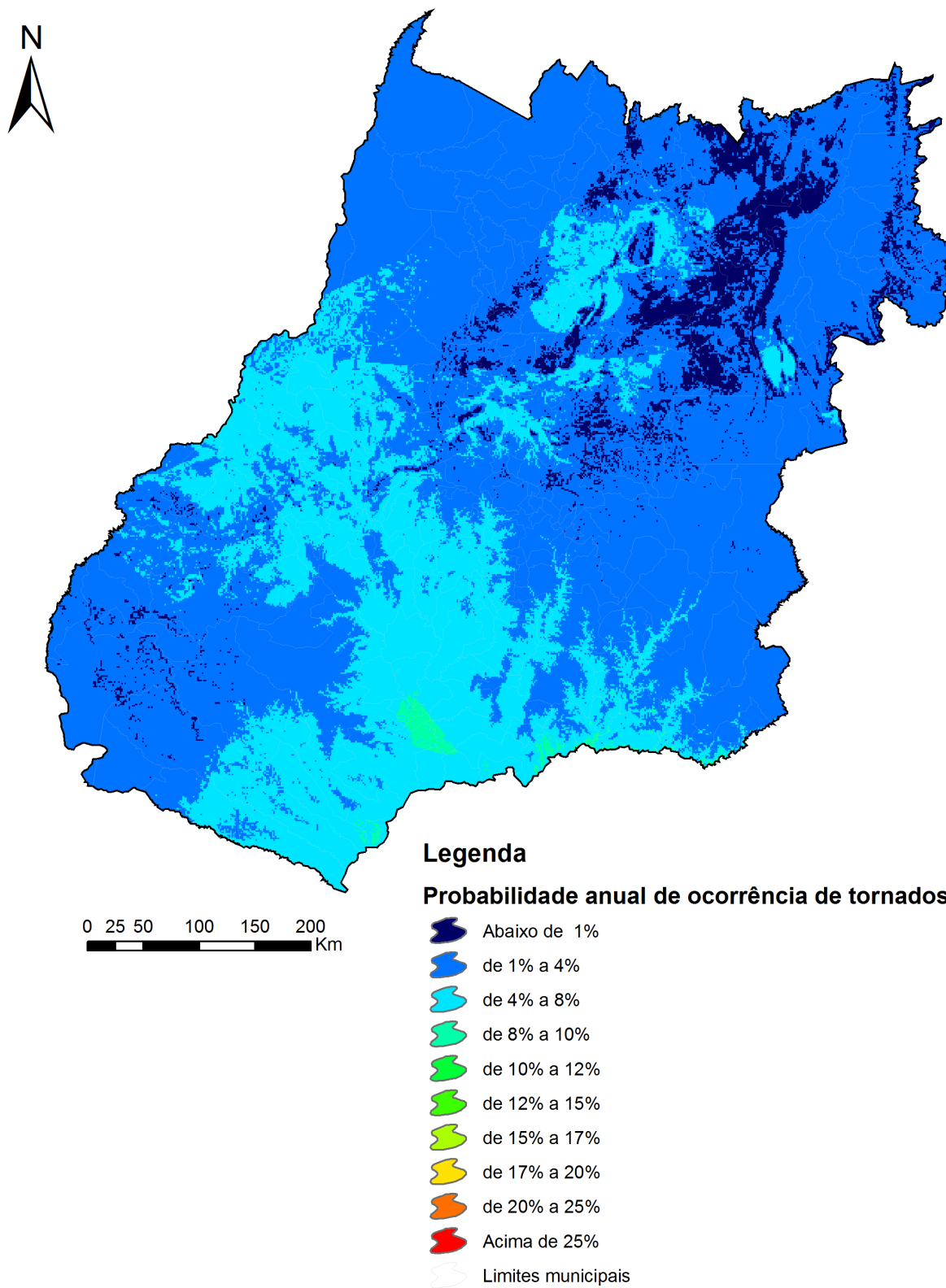


Figura 7.19: Risco de ocorrência de tornados no estado de Goiás e Distrito Federal (Elaborado pelo autor)

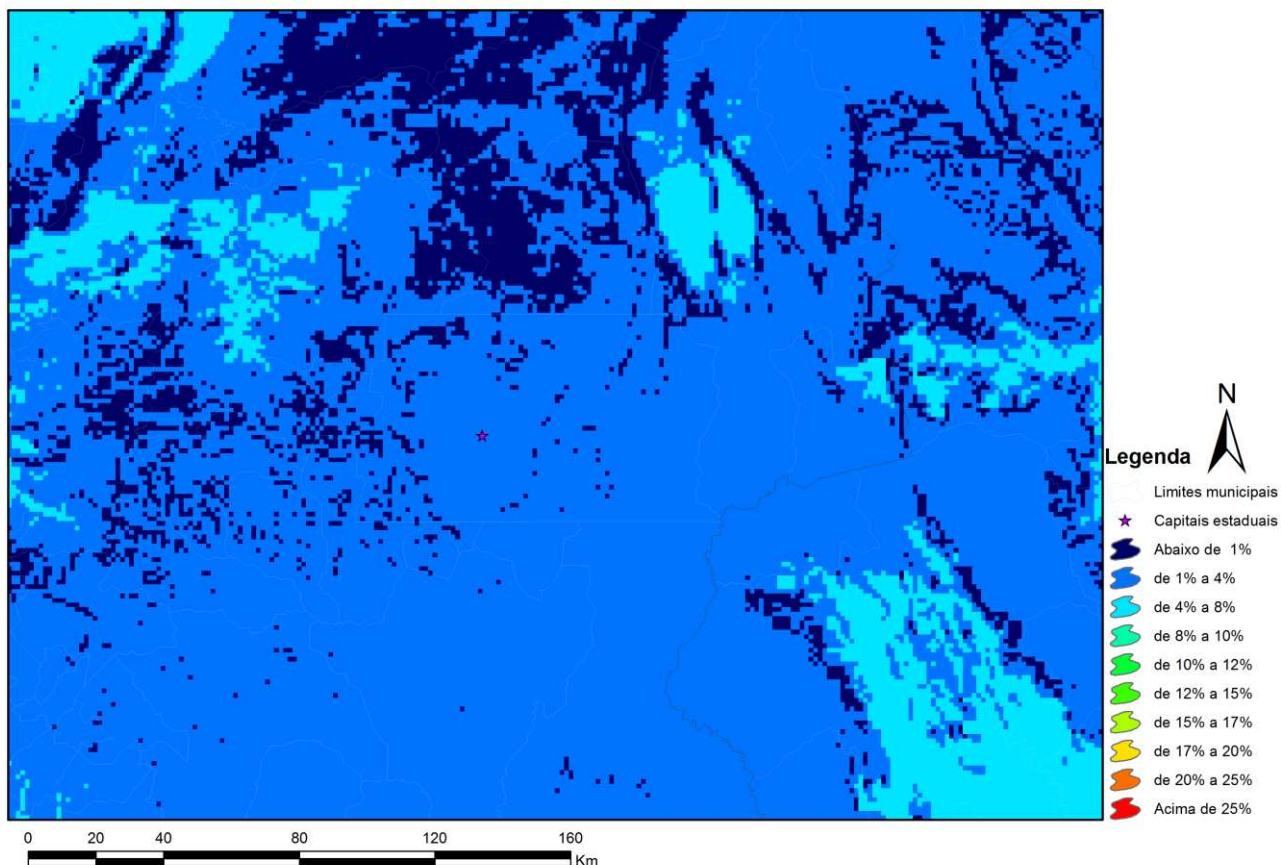


Figura 7.20: Risco de ocorrência de tornados nas cercanias do Distrito Federal (Elaborado pelo autor)

7.9 Estado do Espírito Santo

O mapa exibindo a distribuição do risco de ocorrência de tornados no Espírito Santo (Figura 7.21) exhibe notável redução dos valores, quando comparados aos encontrados no estado do Rio de Janeiro, situado mais ao sul. Este aspecto indica que a presença dos contrastes energéticos envolvidos na gênese de tornados não são tão comuns nesta área. Ainda assim, há certo incremento das probabilidades na faixa litorânea ao sul do estado, onde o relevo plano e baixo, associado à proximidade com o oceano ainda pode oferecer alguma condição de risco para formação de tornados ou trombas-d'água. Ao norte do estado, é mais comum a atuação de nuvens estratiformes e de baixo desenvolvimento vertical, que raramente apresentam algum potencial tornádico.

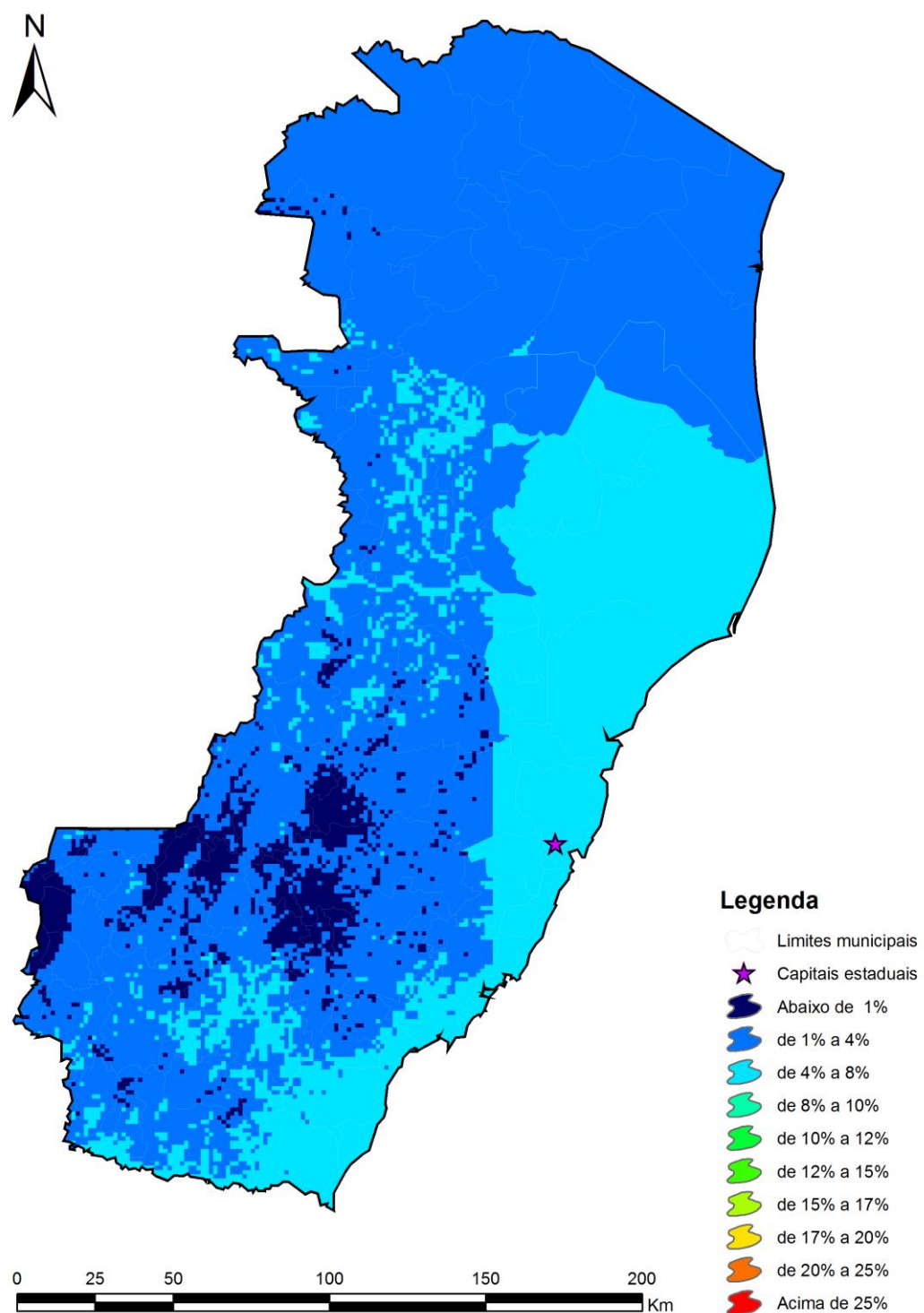


Figura 7.21: Risco de ocorrência de tornados no estado do Espírito Santo (Elaborado pelo autor)

8 - Análise de alguns episódios selecionados

Objetivando melhor avaliação e certificação de que o modelo elaborado apresenta real funcionalidade, procurou-se investigar alguns episódios levantados durante a etapa que compreendeu a elaboração da Tabela 5.1, em busca de evidências baseadas em imagens de radar comprovando que realmente consistiram em episódios tornádicos. Alguns destes eventos apresentaram características particularmente interessantes merecendo, portanto, destaque ao longo deste capítulo.

8.1 Ribeirão Preto – 14 de maio de 1994

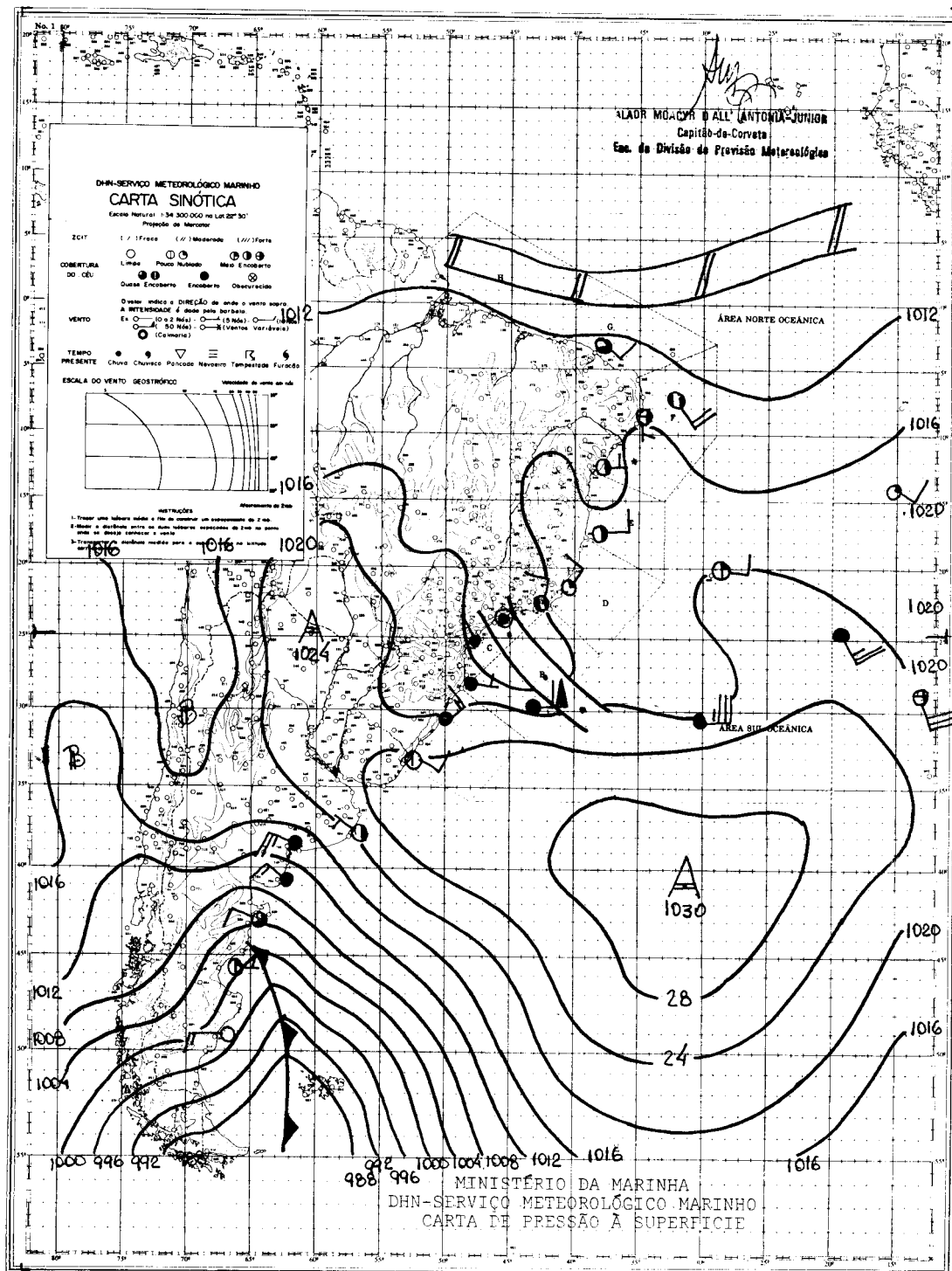
No início da noite de 14 de maio de 1994, diversas células de tempestade surgiram sobre o estado de São Paulo. As Figuras 8.1 e 8.2 exibem o rápido avanço do sistema, sendo que no dia anterior (13 de maio) havia presença de um cavado entre o litoral paulista e o Oceano Atlântico. Um sistema bem definido de alta pressão atmosférica estava configurado sobre o mar em latitudes próximas a 30°, onde chegaram a ser registrados valores superiores a 1030 hPa sobre o Atlântico Sul.

O gradiente de pressão formado fez com que o ar se deslocasse do oceano em direção ao interior do continente, o que fica evidenciado pelo vetor indicativo da velocidade do vento nas imediações do estado de São Paulo, presentes na Carta Sinótica da Marinha representando as condições vigentes no dia que antecedeu o evento aqui descrito (Figura 8.1).

A carta sinótica referente ao dia da ocorrência do tornado (Figura 8.2) revela que um grande sistema frontal se desenvolveu no local anteriormente ocupado pelo cavado, avançando pelo interior do continente, atravessando todo o estado de São Paulo. O sistema apresenta ramificações quentes e frias, indicando presença de intenso contraste atmosférico, sendo que o núcleo de baixa pressão desenvolveu-se justamente sobre a região centro-oeste paulista. A zona de baixa pressão avançou rapidamente ao longo litoral associado a uma forte frente fria, deslocando, assim, a zona de alta pressão que havia se configurado.

Tal configuração meteorológica foi responsável por significativo transporte de umidade, o que implicou em chuvas intensas em praticamente todo o estado. Registros avaliados indicam que a situação foi particularmente mais forte nas cercanias de Ribeirão Preto, onde registros apontam o surgimento de fortes tempestades e ocorrência de, ao menos, um tornado.

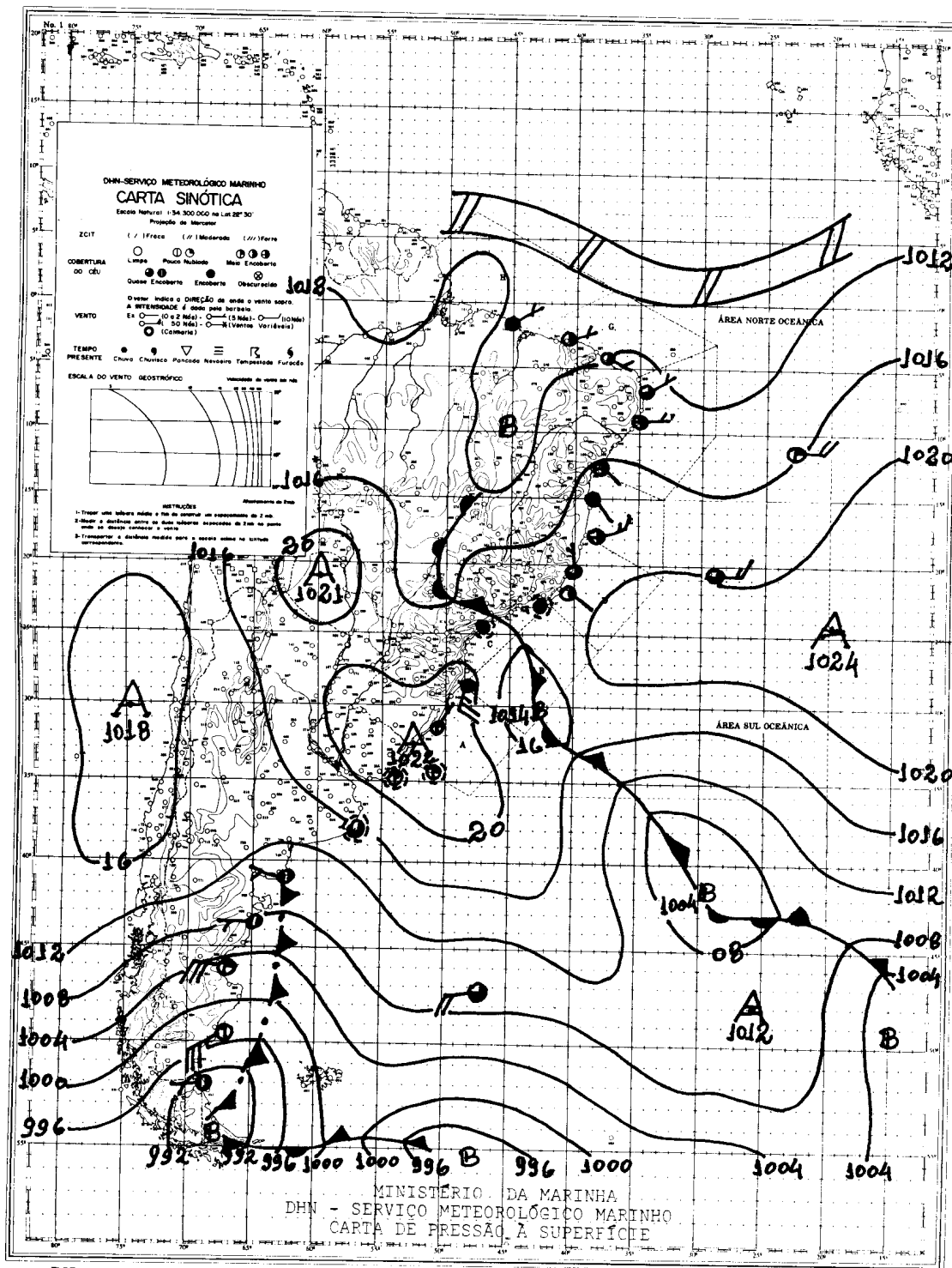
1200 HMG DO DIA 13 (SEXTA-FEIRA) DE MAIO DE 1994



DHN - 5927-1
60 000 - V - 1993

Figura 8.1: Carta sinótica do dia 13 de maio de 1994, 12h GMT (Fonte: Marinha do Brasil)

1200 HMG DO DIA 14 (SÁBADO) DE MAIO DE 1994



DHN - 5927-1
 60 000 - V - 1993

Figura 8.2: Carta sinótica do dia 14 de maio de 1994, 12h GMT (Fonte: Marinha do Brasil)

A situação sinótica aqui descrita provocou tempestades severas em muitas partes do estado de São Paulo, conforme mostrado pela Figura 8.3, que revela as trajetórias das supercélulas (a) reflectividade do sistema (b) e velocidade radial dos ventos no interior na célula que atingiu Ribeirão Preto(c). Considerando que a imagem “a” da Figura 8.3 captura da posição dos sistemas com intervalos de regulares de tempo (15 minutos), fica evidente o rápido deslocamento da célula que atingiu a região de Ribeirão Preto. Quando comparadas à Figura 7.2, nota-se que a trajetória e intensificação destas tempestades coincidem com os setores que apresentam maiores riscos de ocorrência de tornados.

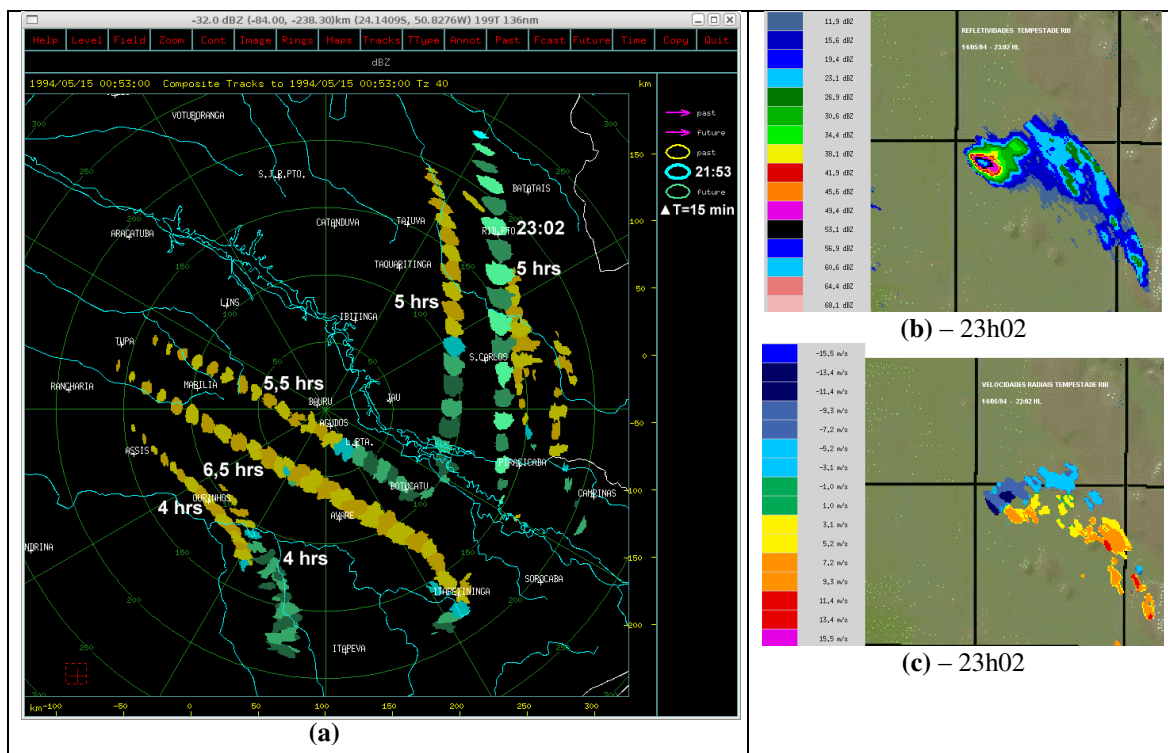


Figura 8.3: Comportamento das células convectivas geradas sobre o estado de São Paulo no dia 14 de maio de 1994. (fonte: TITAN - IPMet)

O Jornal Folha de São Paulo retrata, em sua edição de 17 de maio de 1994, que os danos relacionados aos ventos decorrentes da atuação desse sistema implicaram em prejuízo superior a 11 milhões de dólares, o que obrigou a prefeitura de Ribeirão Preto a declarar estado de emergência e solicitar apoio do governo federal.

O mesmo jornal cita que outras cidades da região também sofreram danos, como Orlândia, onde 50 casas foram destelhadas e Araraquara, com 250 moradias danificadas. Tal aspecto, em conjunto com a análise das características apresentadas pela tempestade, indica que há a possibilidade de ter ocorrido formação de mais de um funil ao longo do sistema.

Contudo, nenhuma cidade foi tão afetada quanto Ribeirão Preto, onde 150 pessoas ficaram feridas, sendo que 3 delas faleceram (Folha de São Paulo, 16/05/1994). Dentre os danos registrados, destacam-se os seguintes: a parede da U.T.I. de um hospital da cidade desabou, afetando 13 pessoas que estavam em tratamento no local; um Shopping Center teve 70% de sua cobertura destruída, com prejuízos da ordem de 250 mil dólares; o salão de um clube desabou no momento em que ocorria uma festa com 150 participantes; o teto da Igreja Santo Antônio Maria Goretti desabou, no momento em que havia 400 pessoas participando de um bingo beneficente no local; diversos barracos de uma favela na periferia da cidade sofreram danos severos, sendo que muito deles desabaram; houve perdas agrícolas impressionantes, que obrigaram parte dos agricultores locais solicitar auxílio financeiro dos governos estadual e federal. A Folha de São Paulo de 20 de maio de 1994 aponta, ainda, que 40% das árvores do município foram derrubadas pelos ventos, o que evidencia que o tornado não ocorreu de forma isolada, estando associado aos fortes ventos que atingiram praticamente toda a cidade em questão. Pelos danos descritos é possível classificar o episódio na categoria EBRAV 6.

Relatos também apontam notável quantidade de granizo precipitado, que cobriu todo o solo de alguns setores do município, perdurando por mais de 12 horas até seu total derretimento.

O acompanhamento da evolução do sistema que deflagrou estes tornados mediante imagens de radar mostrou que o sistema teve origem a norte do local atingido pelo tornado. A Figura 8.4 mostra que às 18h02 um grande sistema iniciou seu avanço, passando sobre a região de Ribeirão Preto, causando chuva moderada a forte em todo o setor por onde deslocou.

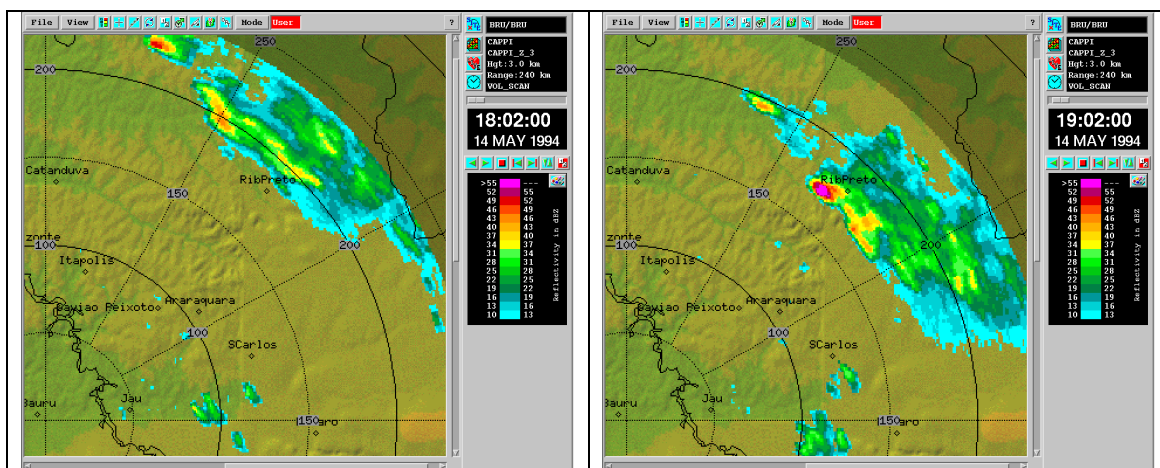


Figura 8.4: CAPPI 3,0 km do radar do IPMet em Bauru de 14 de Maio de 1994 as 18h02 e 19h02

Posteriormente, apareceu uma célula isolada do restante do sistema que surge nas proximidades de Ribeirão Preto. Ela se desenvolveu e ganhou intensidade ao passar pelo local previamente afetado pelo sistema anterior, mostrando que a umidade atmosférica decorrente da chuva precipitada algumas horas antes teve papel essencial na intensificação do sistema.

Contudo, não foi esse o sistema responsável pelo(s) tornado(s) ocorridos na região: apesar de apresentar características de uma célula tornádica, não há registro algum de danos ocasionados pelos ventos nesse horário embora, pela elevada refletividade obtida no radar, seja possível afirmar que ocorreram chuvas torrenciais acompanhadas de granizo.

As 22h02 percebe-se avanço de novo sistema derivado do mesmo local de origem do sistema formado no início da noite (Figura 8.5). Similarmente ao registro anterior, uma célula separa-se do sistema e se desenvolve, ganhando intensidade ao longo de seu deslocamento. As 23h02 a supercélula atinge a cidade de Ribeirão Preto (Figura 8.5), fortalecendo ainda mais, provavelmente devido à influência do calor latente previamente retido pelas estruturas urbanas, tendo em vista que o núcleo do sistema atingiu justamente a área mais densamente urbanizada do município. Após cruzar a cidade de Ribeirão Preto, a célula continua avançando para o sul, de modo que as 23h32 é claramente visível a presença de um mesociclone, onde a rotação das nuvens fica evidenciada pela forma de gancho presente na imagem do radar (Figura 8.6). Na sequência o sistema continua seu rápido deslocamento, passando às 0h17 pelas cercanias de São Carlos. A partir desse momento nota-se perda de intensidade e posterior dissipação da célula.

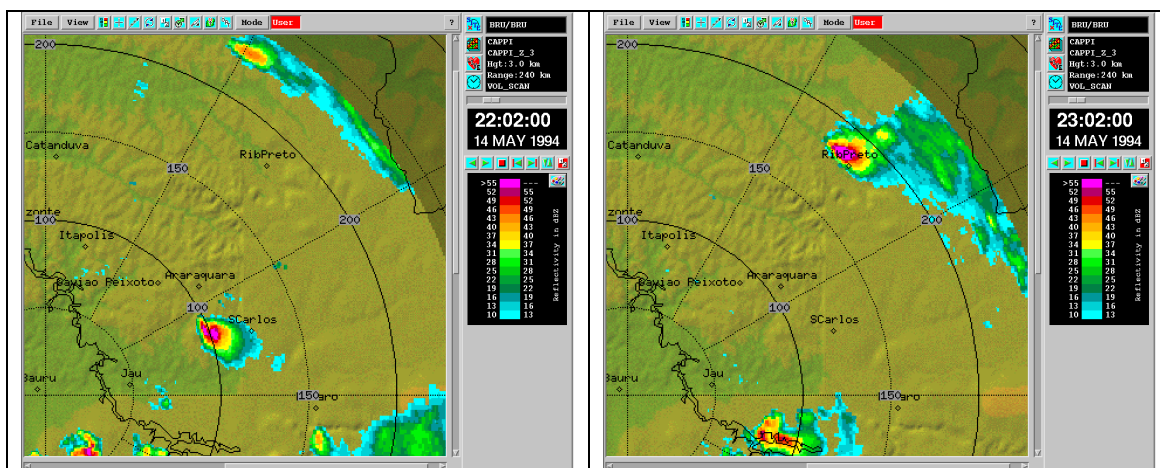


Figura 8.5: CAPPI 3,0 km do Radar do IPMet de Bauru de 14 de Maio de 1994 as 22h02 e 23h02

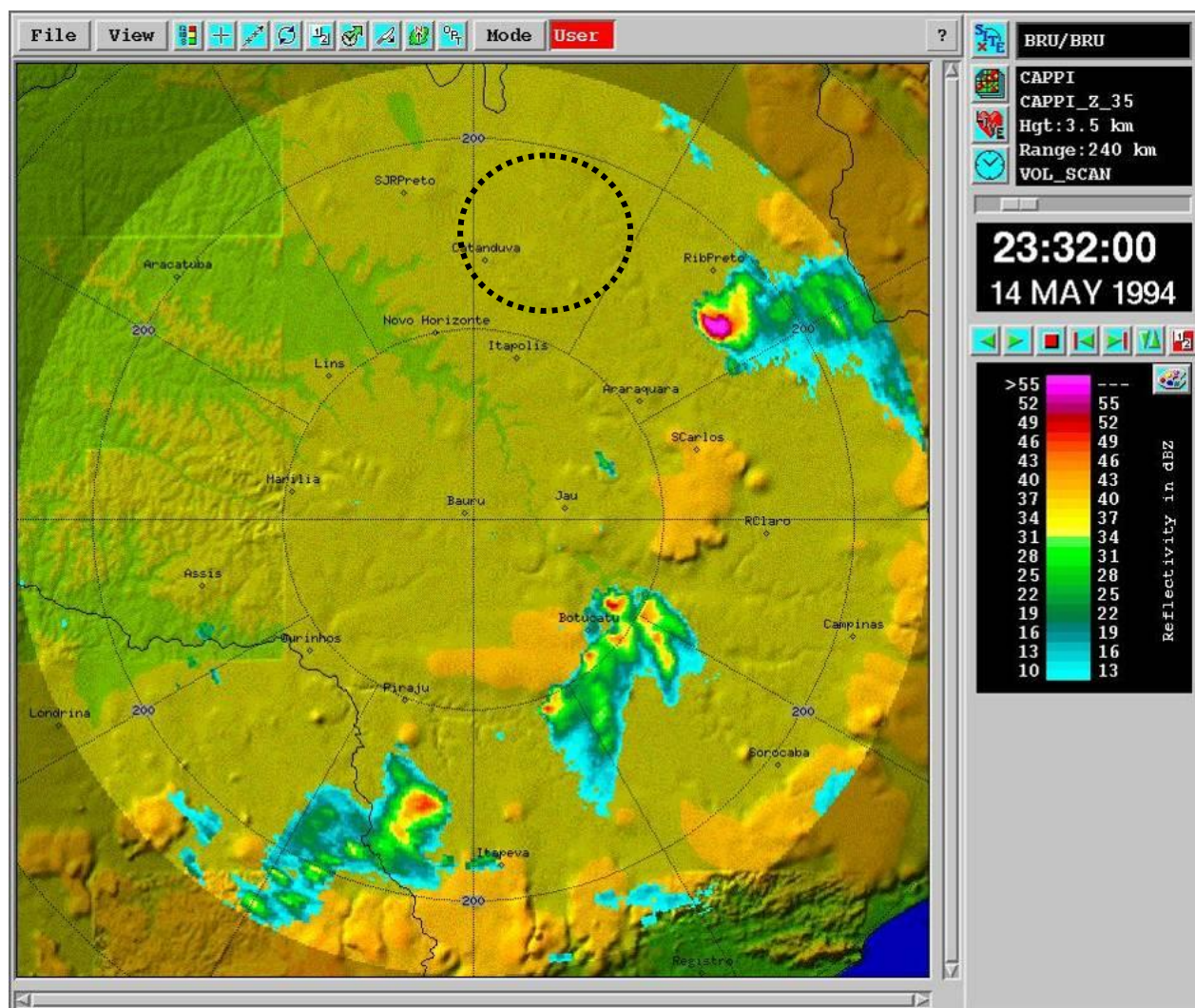


Figura 8.6: Radar do IPMET de Bauru de 14 de Maio de 1994 as 23h32, com destaque para o sistema que originou o tornado.

A Figura 8.7 exibe uma fatia do sistema; destaca-se o grande desenvolvimento vertical do sistema e sua inclinação, fatores que aliados aos enormes valores de reflectividade obtidos, mostram que se tratava de um sistema com elevado potencial de geração de tornados. Um ponto importante está no fato desse desenvolvimento vertical do sistema ter atingido vasta magnitude após cruzar o setor mais densamente urbanizado, ultrapassando a marca de 15 mil metros acima do nível médio do mar, revelando o papel preponderante das ilhas de calor urbanas na intensificação das células de tempestade. Uma célula convectiva de dimensões modestas pode se desenvolver a ponto de se tornar uma supercélula após absorver todo o excedente de energia acumulado pelos materiais que compõem as estruturas urbanas que, em conjunto com a carência de vegetação, levam ao acúmulo de energia na forma de calor latente, que é liberada pela mudança de estado físico da água, ocorrido durante a formação e intensificação dos sistemas de tempestades.

Quando confrontado com os dados presentes no modelo elaborado, nota-se que esta área realmente apresenta riscos elevados de ocorrência de tornados, sobretudo no setor por onde a célula deslocou, ressaltando que o modelo apresenta eficiente resposta quanto à possibilidade de ocorrências. A Figura 8.8 mostra a área por onde a supercélula se deslocou, sendo possível notar valores de risco anual de ocorrência de tornados superiores a 15% ao longo de sua trajetória.

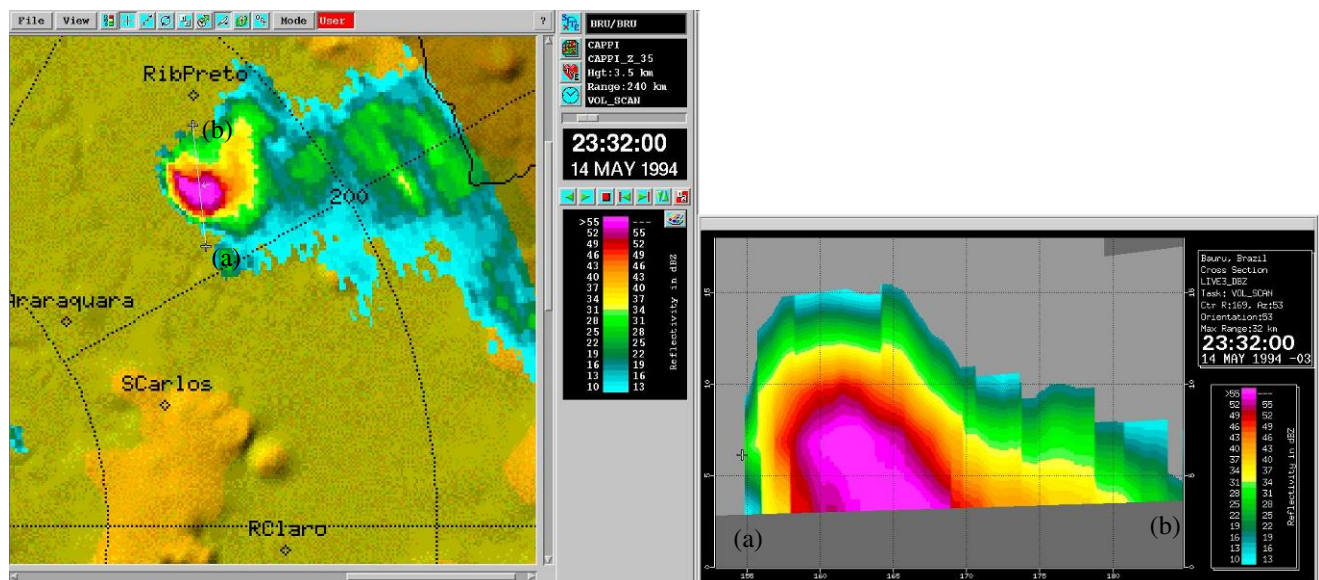


Figura 8.7: Corte da célula exibindo elevada reflectividade no interior da nuvem e inclinação do sistema. (Fonte: IPMet)

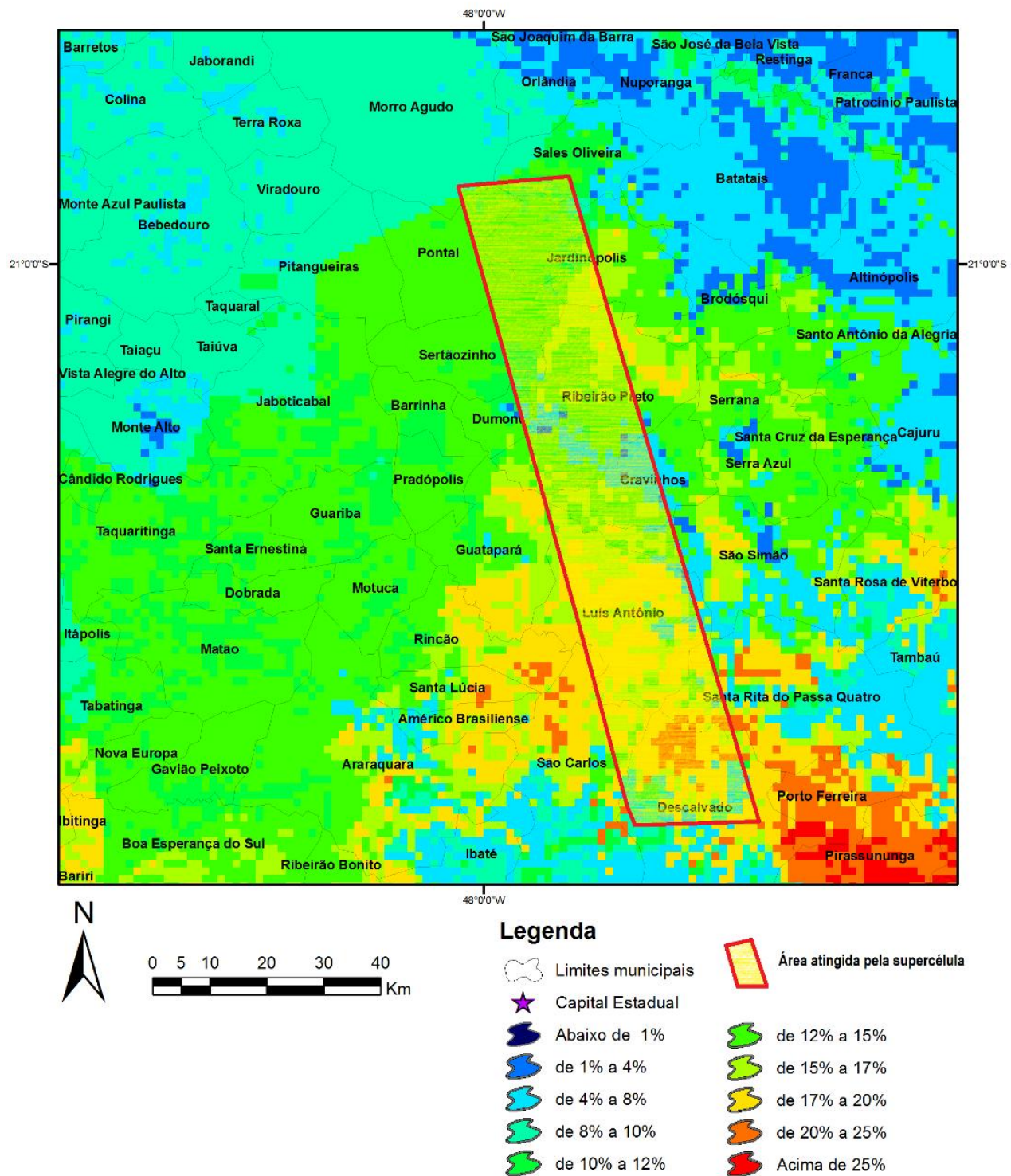


Figura 8.8: Riscos de ocorrência de tornado e área atingida pela supercélula (Elaborado pelo autor)
8.2 Ilha Solteira – 19 de outubro de 2009

Na segunda quinzena de outubro de 2009 a cidade paulista de Ilha Solteira foi afetada por intensa tempestade que deflagrou um tornado. Mesmo não tendo ocorrido em área urbana, um grupo de trabalhadores rurais testemunhou visualmente a formação e algumas pessoas que transitavam pelo local registraram o evento em vídeo (Figura 8.9). Por ter atuado exclusivamente em setor campestre, os danos causados por este tornado foram minimizados, embora o mesmo tenha potencial para se enquadrar na categoria EBRAV 5.



Figura 8.9: Imagem capturada à partir de registro do evento disponibilizado no site YouTube (Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=TkXWBwgizVI> – acesso em maio de 2012)

Imagens coletadas pelo satélite GOES 10 mostram a atuação de um intenso sistema convectivo de mesoescala associado à atuação de uma forte área de instabilidade acompanhando o avanço de um sistema frontal.

A imagem referente às 02h00 GMT do dia 19 de outubro de 2009 (Figura 8.10) mostra que 18 horas antes do avanço do sistema configuraram-se diversos núcleos de instabilidade que engendraram chuvas generalizadas nos setores norte e oeste do estado de São Paulo. Tal precipitação saturou o solo, e sua evaporação nas horas seguintes providenciou elevados percentuais de umidade relativa para o local em questão. Ressalta-se que temperaturas bastante

elevadas foram registradas nesse dia, superando a marca dos 33°C no oeste paulista, o que contribuiu com a elevação dos totais de umidade proveniente de evapotranspiração.

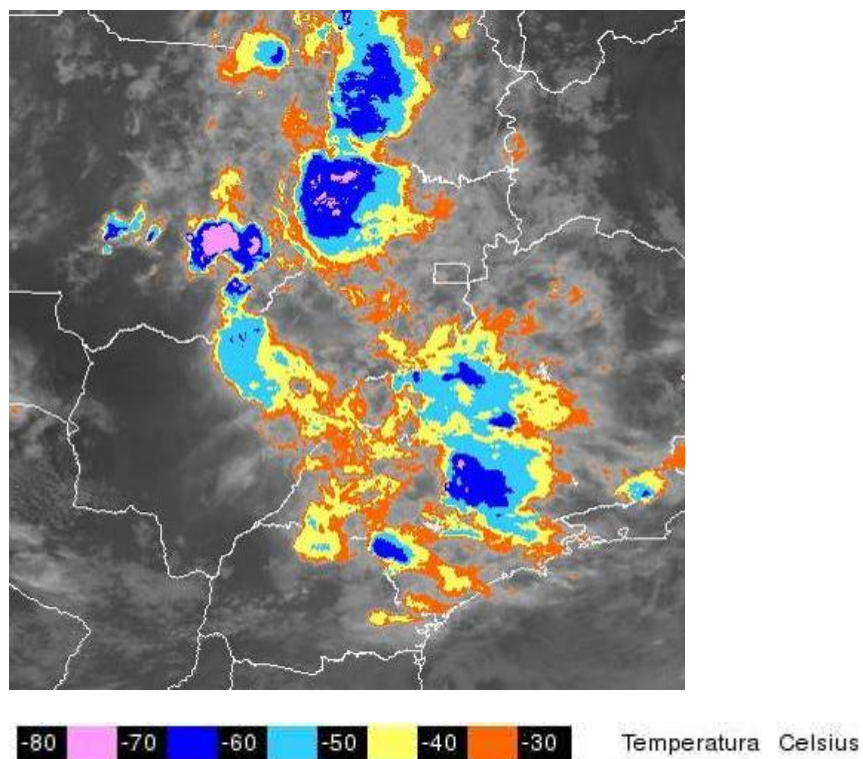
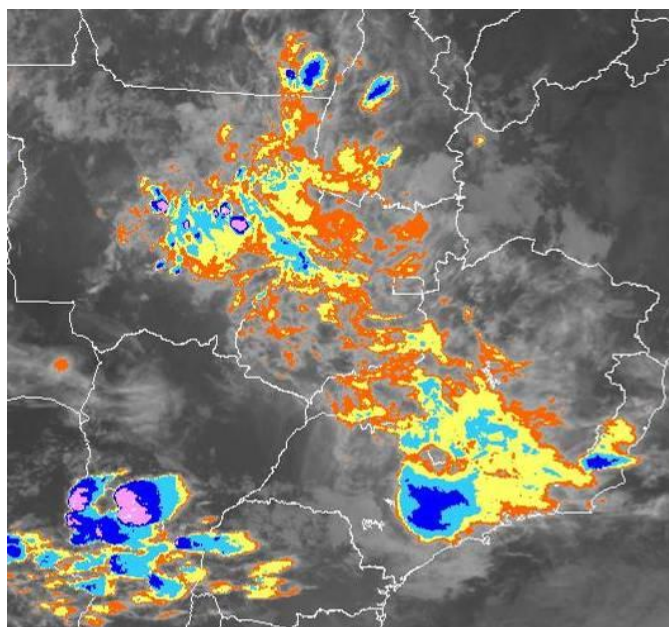


Figura 8.10: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 02h00 (GMT)



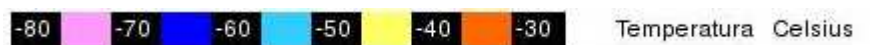


Figura 8.11: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 06h00 (GMT)

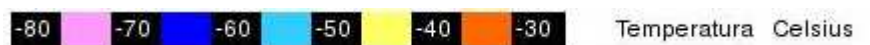
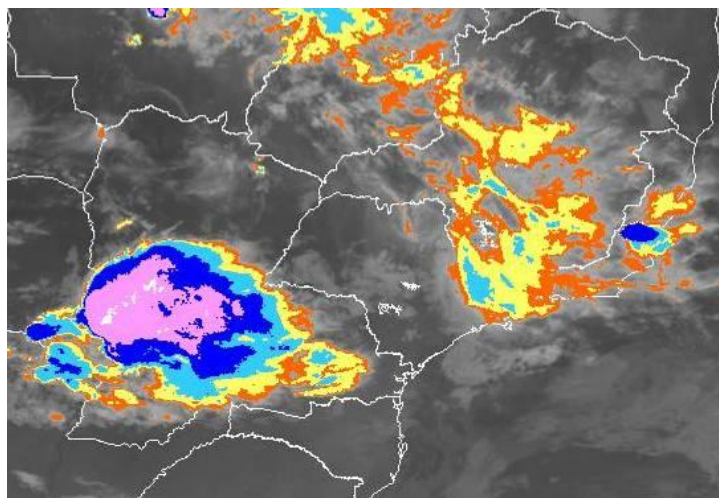


Figura 8.12: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 08h00 (GMT)

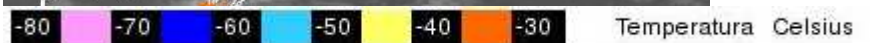
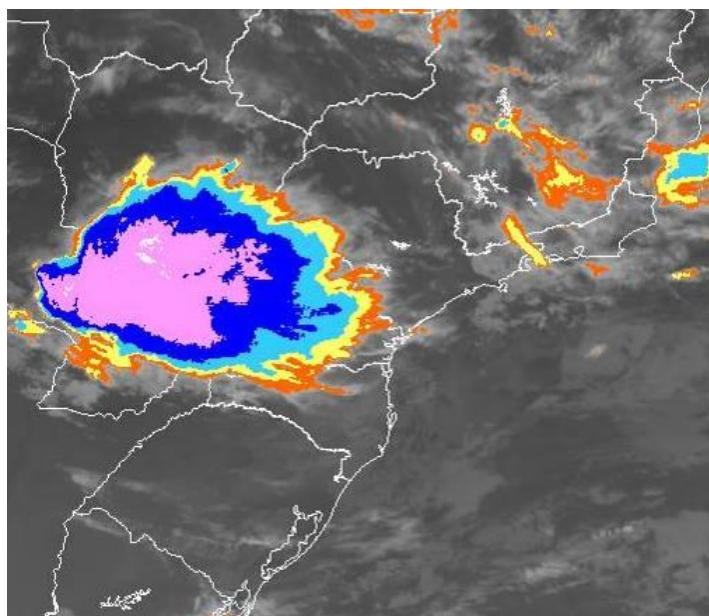


Figura 8.13: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 10h00 (GMT)

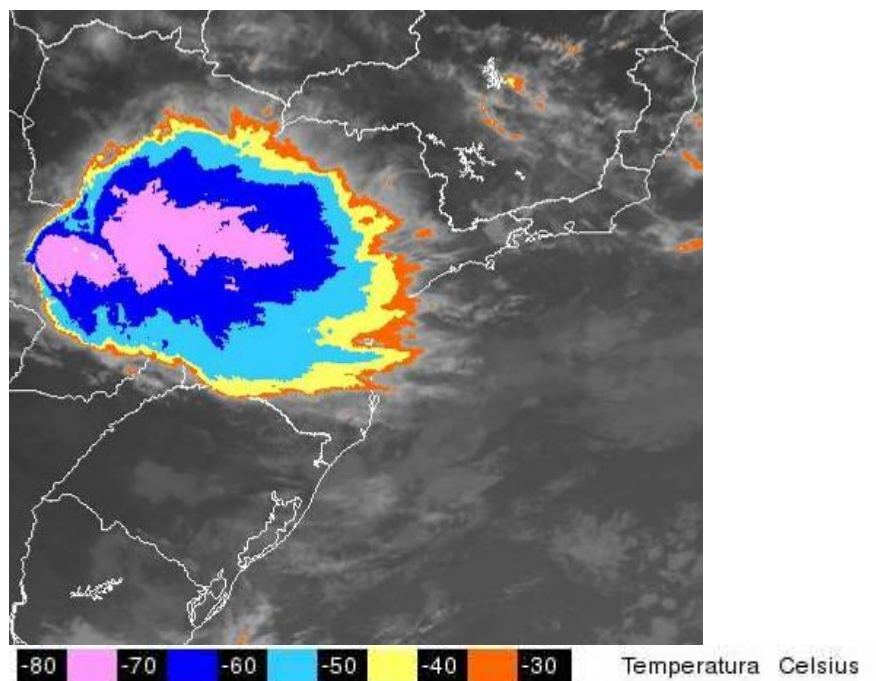


Figura 8.14: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos sobre o estado de São Paulo no dia 19 de outubro de 2009 as 12h00 (GMT)

A Figura 8.11 mostra que as 06h00 GMT houve a formação de uma série de núcleos convectivos Na divisa entre o estado de Mato Grosso do Sul e o Paraguai os topos das nuvens atingiram elevadas altitudes, o que fica evidenciado pelas temperaturas inferiores a -70°C . Tal situação persistiu nas horas seguintes, sendo que as 8h00 GMT (Figura 8.12) o sistema aglomerou-se em uma única formação e apresentou expansão e deslocamento em direção ao estado de São Paulo (Figuras 8.13 e 8.14). Tal formação se associou à presença de um sistema de baixa pressão, conforme visualizado na carta sinótica elaborada pela Marinha Brasileira (Figura 8.15). Essa imagem mostra que a pressão ao nível do mar correspondia a 1002 hPa nesta região, contrastando com a presença de um núcleo de alta pressão sobre o Oceano Atlântico, com centro na latitude de 30°S , o qual apresentava valores máximos superiores a 1026 hPa.

Tal contraste deu início a significativa movimentação atmosférica no sentido leste-oeste, trazendo significativos montantes de umidade oceânica, disponibilizando ainda mais água ao sistema, o que foi responsável por seu rápido desenvolvimento. Com isso, a imagem seguinte (08h00 GMT – Figura 8.12) já mostra o estabelecimento de amplos núcleos convectivos sobre o estado do Paraná, em uma configuração que já pode ser considerada como um CCM. As imagens referentes às 10h00 e 12h00 (Figuras 8.13 e 8.14) evidenciam o desenvolvimento do sistema e seu deslocamento em direção ao estado de São Paulo, onde sofreu intensificação em função da umidade ali presente.

As imagens obtidas pelo radar de Presidente Prudente (Figura 8.16) mostram as 13h31 o avanço de um intenso sistema de precipitação, precedido de uma grande linha de instabilidade que se estende no sentido leste-oeste (demarcada com um círculo) - é importante salientar que os horários indicados nas Figuras aqui citadas não foram corrigidos para o horário de verão, devendo então ser acrescidos em uma hora.

Na sequência das imagens exibidas na Figura 8.16, percebe-se a presença de um núcleo convectivo que surge no setor norte da imagem, sobre o estado do Mato Grosso do Sul. Este sistema mostra sinais de desenvolvimento, transformando-se em uma célula enquanto se desloca para o sul; concomitantemente, a linha de instabilidade que precede o sistema frontal avança para o norte. A próxima imagem revela que a célula se encontra com a linha de instabilidade que segue em direção oposta, provocando espriamento do sistema. Às 15h23, após a colisão entre os dois sistemas nota-se ocorrência de um ponto de intensificação (demarcado com uma seta), o que corresponderia ao núcleo da célula que avançava para o Sul. A imagem seguinte revela que às 15h31 a intensidade das chuvas do sistema sofreu novo incremento e a célula, já fundida com a linha de instabilidade, ganha novo sentido de deslocamento, apresentando intensa movimentação para a direção Leste, tendência que é mantida até a dissipação do sistema.

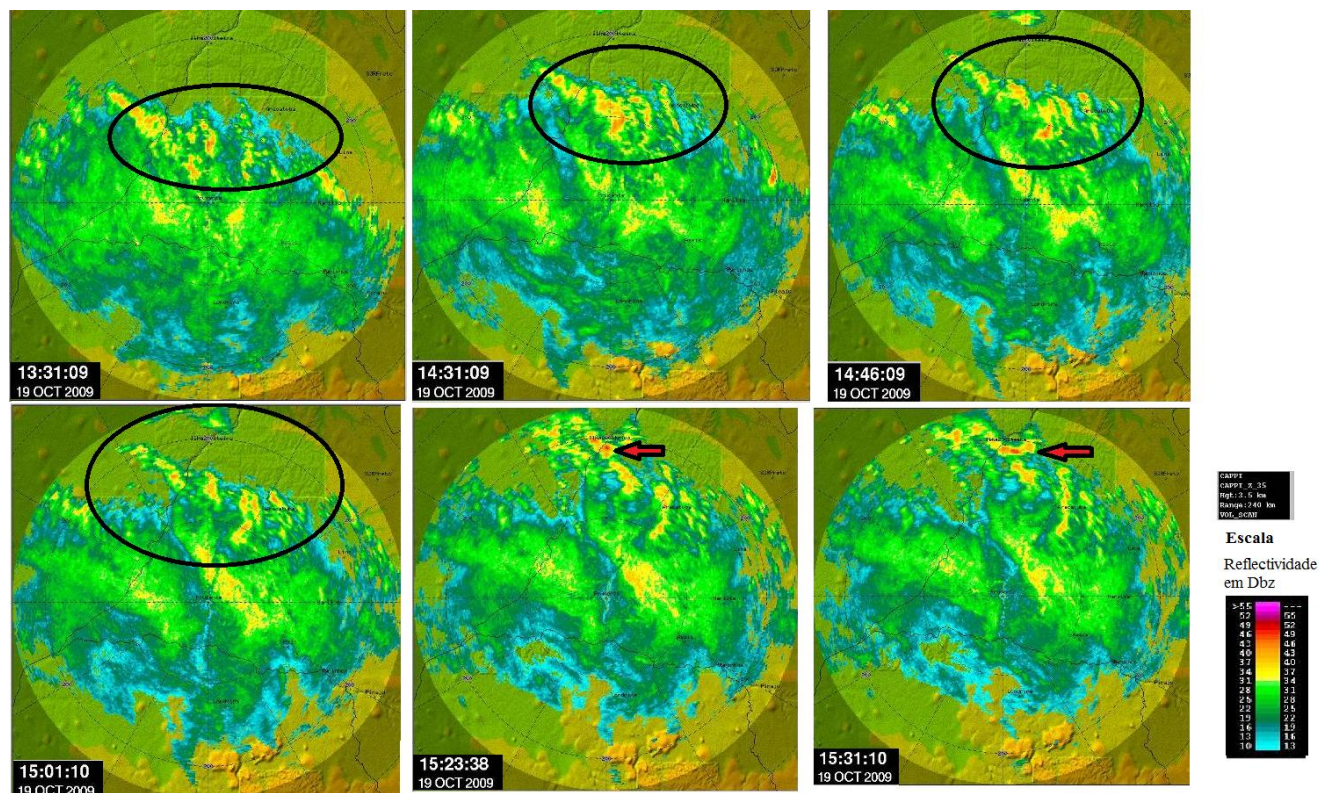


Figura 8.16: Imagens obtidas pelo Radar de Presidente Prudente, entre as 13h31 e 15h31 de 19 de outubro de 2009. (Fonte: IPMet)

A análise dos dados referentes à velocidade radial apresentada pelos ventos mostra que as 15h16, o vento divergia em diferentes setores no interior do sistema. A imagem 8.17 mostra a visão aproximada de um ponto que corresponde à ocorrência de ventos rotacionais. A elevada velocidade apresentada pelos ventos, que extrapolou o limite do sensor, correspondendo a velocidades superiores a 46 m/s (165 km/h) em sentidos opostos, conforme evidenciado na Figura 8.18. Tal configuração corresponde exatamente ao setor onde se registrou a porção superior do funil do tornado, fenômeno que também foi registrado em vídeo por um observador (Figura 8.9). Destaca-se, também, a Figura 8.19, que exibe o grande desenvolvimento vertical obtido pelo sistema, cujas altitudes do topo das nuvens superaram 15 quilômetros.

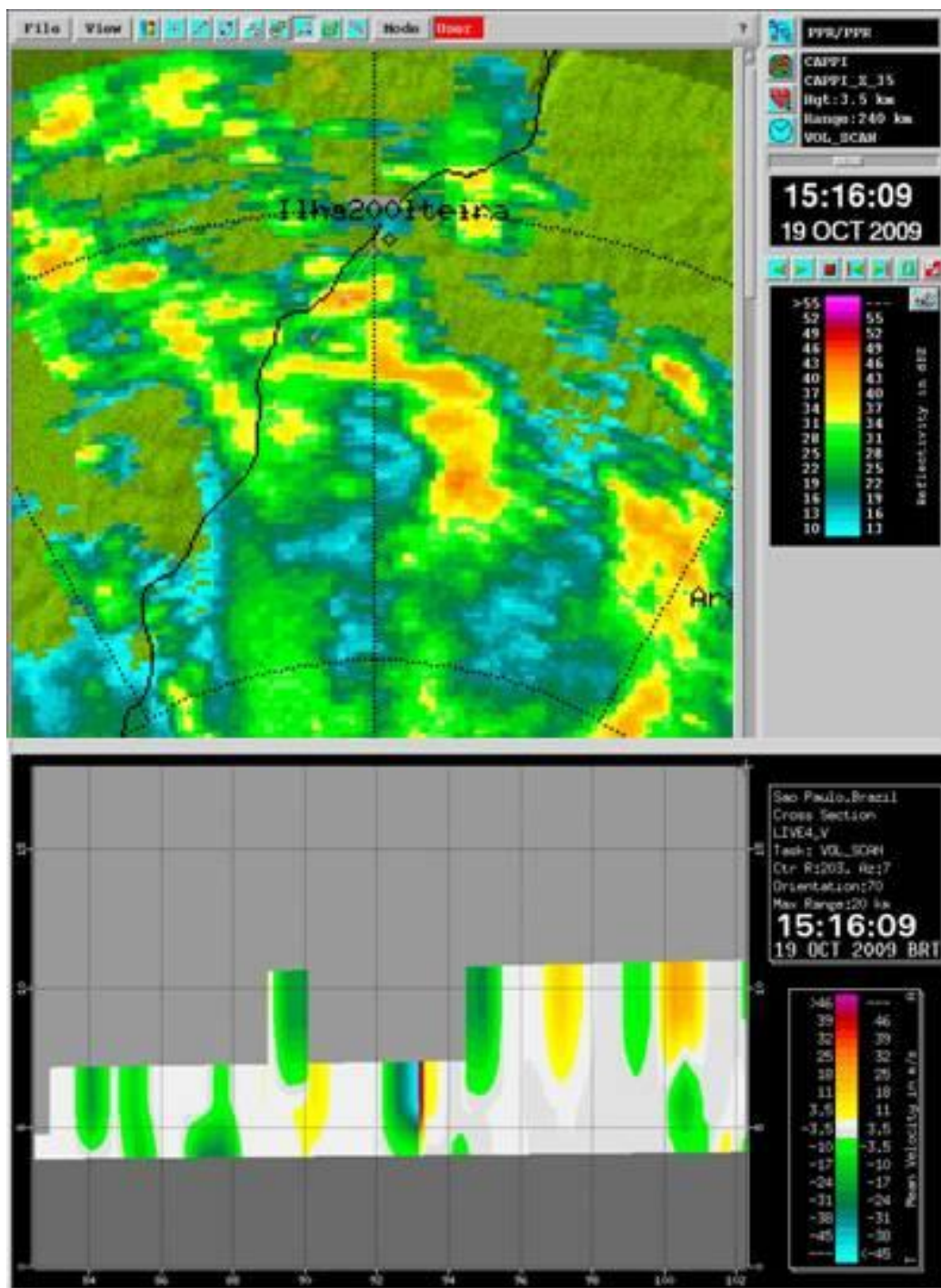


Figura 8.17: Ventos capturados pelo Radar de Presidente Prudente (Fonte: IPMET)

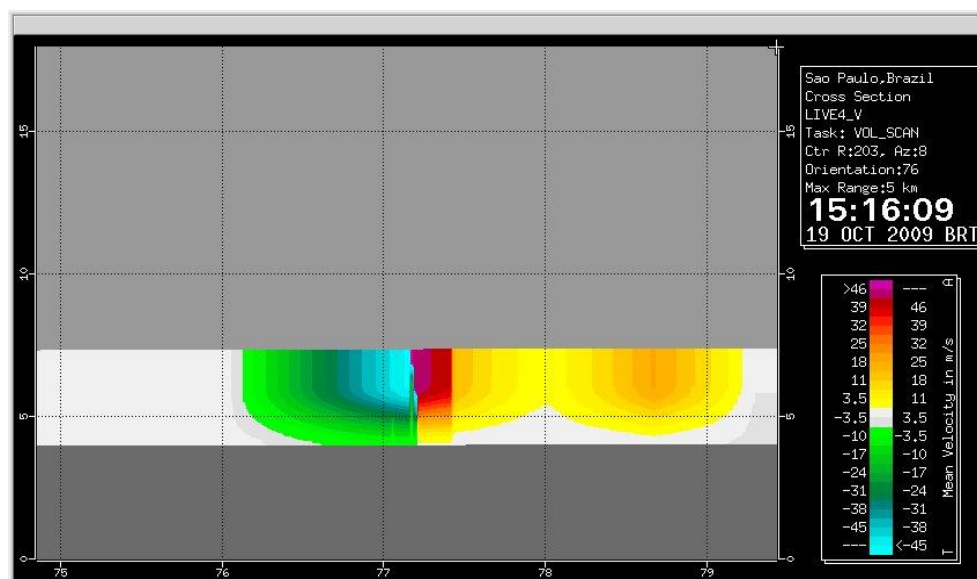


Figura 8.18: Ventos em direções divergentes, capturados pelo radar (Fonte: IPMET)

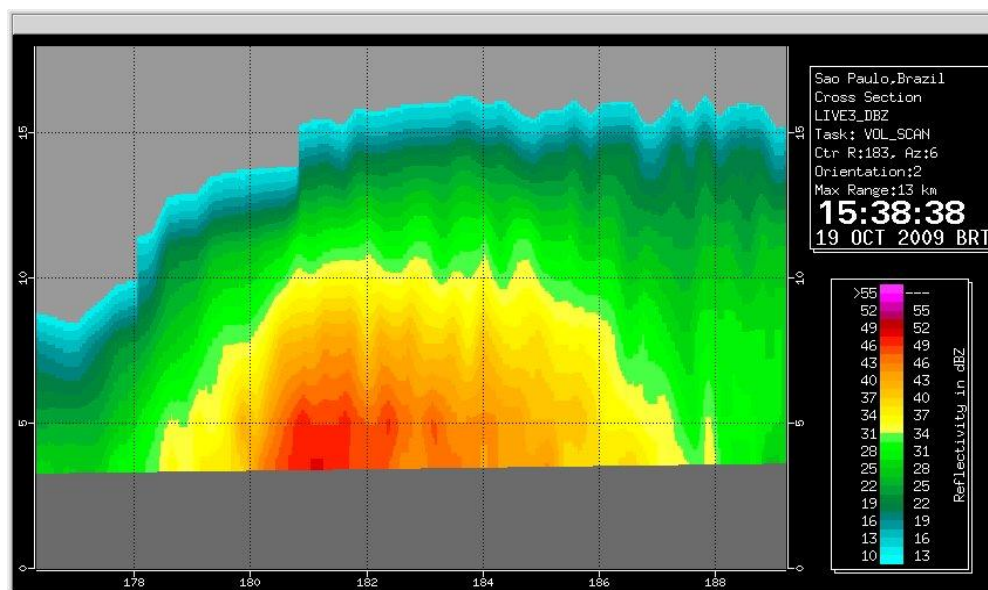


Figura 8.19: Perfil vertical do sistema ocorrido em Ilha Solteira, no dia 19 de outubro de 2009

A análise da evolução do sistema mostra ocorrência de intensificação significativa após o cruzamento da divisa entre Mato Grosso do sul e São Paulo. Tal fato certamente está relacionado à presença de grande oferta de água pela represa de Porto Primavera, justamente no ponto onde o Rio Paraná demarca a divisão entre esses dois estados, demonstrando o papel crucial da umidade advinda do represamento na intensificação do sistema. A Figura 8.20 mostra a diferenciação das altitudes alcançadas pelo topo do sistema ao longo de um corte no sentido NW-SE, deixando

claro que o sistema desenvolveu-se significativamente após sua passagem sobre a calha do Rio Paraná, ganhando intensidade e altura, proporcionando assim maiores condições de instabilidade que, certamente teve influência preponderante na formação do tornado.

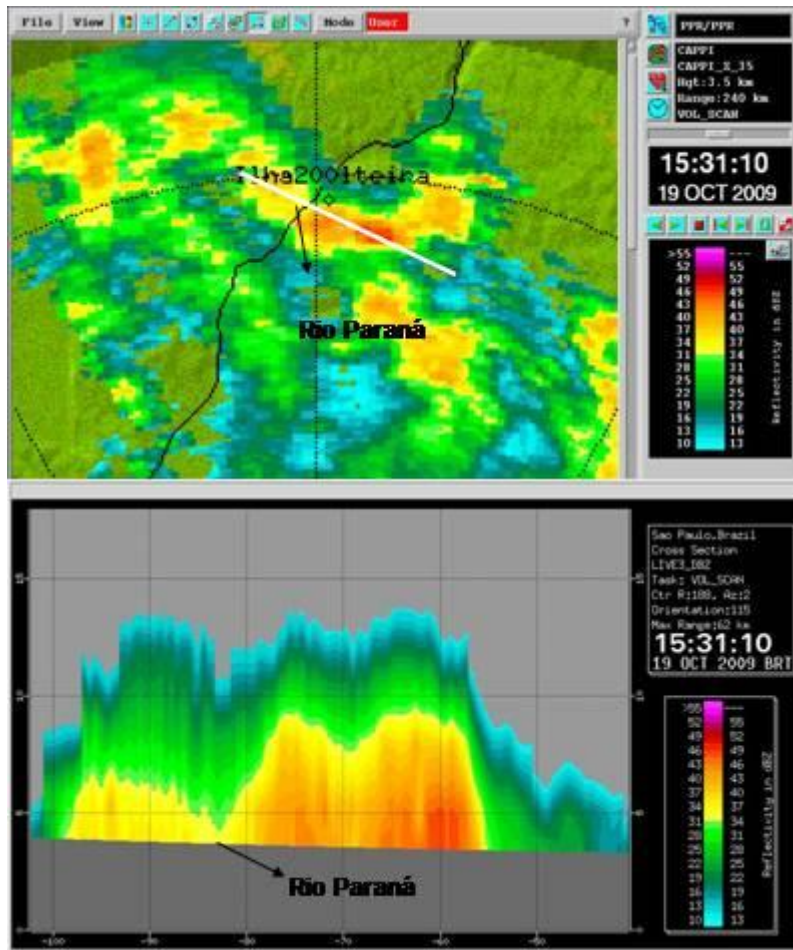


Figura 8.20: Perfil vertical do sistema ocorrido em Ilha Solteira, no dia 19 de outubro de 2009, exibindo intensificação induzida pela calha do rio Paraná.

8.3 São Carlos, SP – 20 de dezembro de 2009

No dia 20 de dezembro de 2009 uma célula isolada se formou de maneira repentina nas proximidades do município de São Carlos, no estado de São Paulo, dando origem a um tornado que foi registrado em vídeo e posteriormente disponibilizado na Internet. Pelas imagens, é possível considerar que o funil gerado oscilava entre as intensidades F0 e F1, na escala Fujita. Curiosamente, nesse mesmo dia e horário, foi também apontada a formação de um tornado de

intensidade F2 no município de Charqueadas, no estado do Rio Grande do Sul, a mais de 1000km de distância de São Carlos.

Embora não estejam diretamente relacionados, a Carta Sinótica da Marinha (Figura 8.21) mostra a configuração de um grande e alongado sistema de baixa pressão cobrindo uma grande porção do setor sul do território brasileiro, formando uma calha indutora para o deslocamento de velozes parcelas de ar. Com isso ocorreram condições de cisalhamento de ventos tanto na borda mais meridional deste corredor atmosférico, equivalente ao setor do Rio Grande do Sul onde está a cidade de Charqueadas; assim como na fronteira setentrional do sistema que, no horário do evento abrangia, dentre outros locais, as zonas próximas ao município de São Carlos.

A Imagem composta do Satélite GOES 12 (Figura 8.22) mostra que o território paulista estava quase sem registros de nuvens, ao contrário das condições observáveis no Rio Grande do Sul, que apresentava tempo encoberto. Todavia, a Figura 8.23, que exhibe a quantidade de vapor d'água na atmosfera, revela presença de algumas faixas com certo teor de umidade sobre alguns setores do estado de São Paulo. Embora não estivesse estruturada sobre vastas porções do território, essas pequenas faixas onde ocorria o transporte de umidade oceânica foram suficientes para condicionar o surgimento de algumas células de tempestade, uma das quais intensificou-se de forma o suficiente para dar origem ao tornado.

A sequência de imagens de radar aqui presentes (Figura 8.24) mostra que a supercélula originou-se nos setores próximos à cabeceira da bacia hidrográfica existente no local (afluentes do rio Mogi Guaçu) e deslocou-se seguindo o delineamento dos cursos d'água, evidenciando o papel preponderante da geomorfologia e hidrografia na determinação da trajetória dos sistemas de tempestade. O acompanhamento do deslocamento da célula torna claro que o sistema se desenvolve entre os dois corpos d'água citados e logo após ganhar intensidade, passa a se deslocar de forma mais veloz. Em seguida, a precipitação intensa faz com que o sistema se esgote, como pode ser percebido nas últimas imagens registradas.

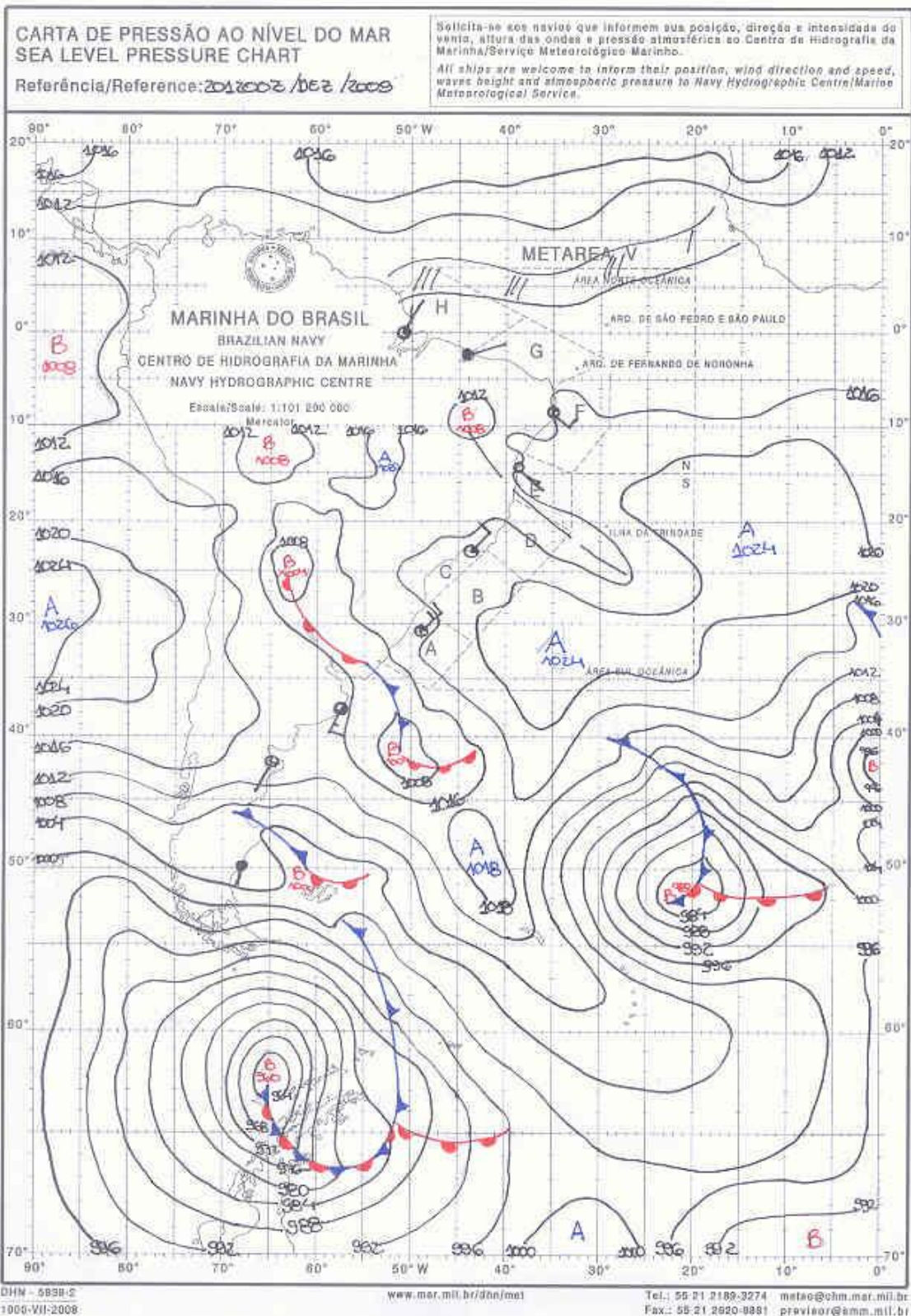


Figura 8.21: Carta sinótica do dia 20 de dezembro de 2009, 12h00 GMT (Fonte: Marinha do Brasil)

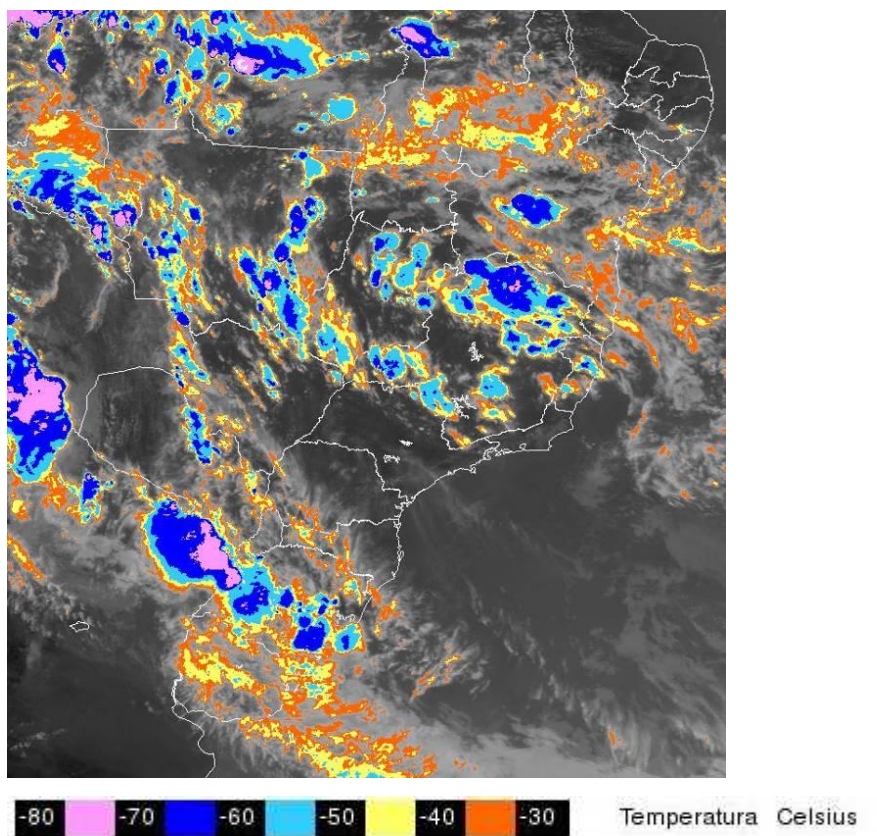


Figura 8.22: Imagem realçada do satélite GOES mostrando intensa presença de núcleos convectivos nas cercanias do estado de São Paulo no dia 20 de dezembro de 2009 as 19h30 (GMT)

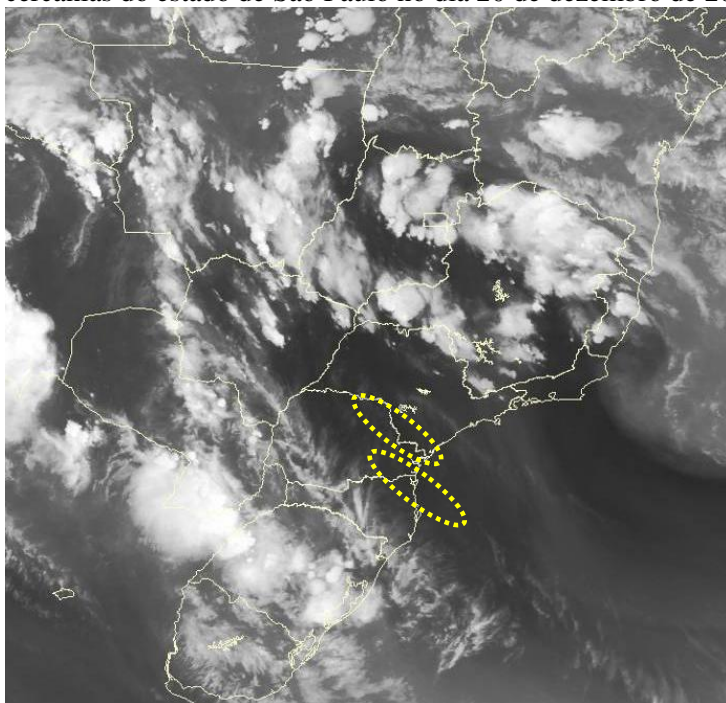


Figura 8.23: Imagem vapor d'água do satélite GOES referente ao dia 20 de dezembro de 2009, 19h30 (GMT). Em destaque, faixas de transporte de umidade.

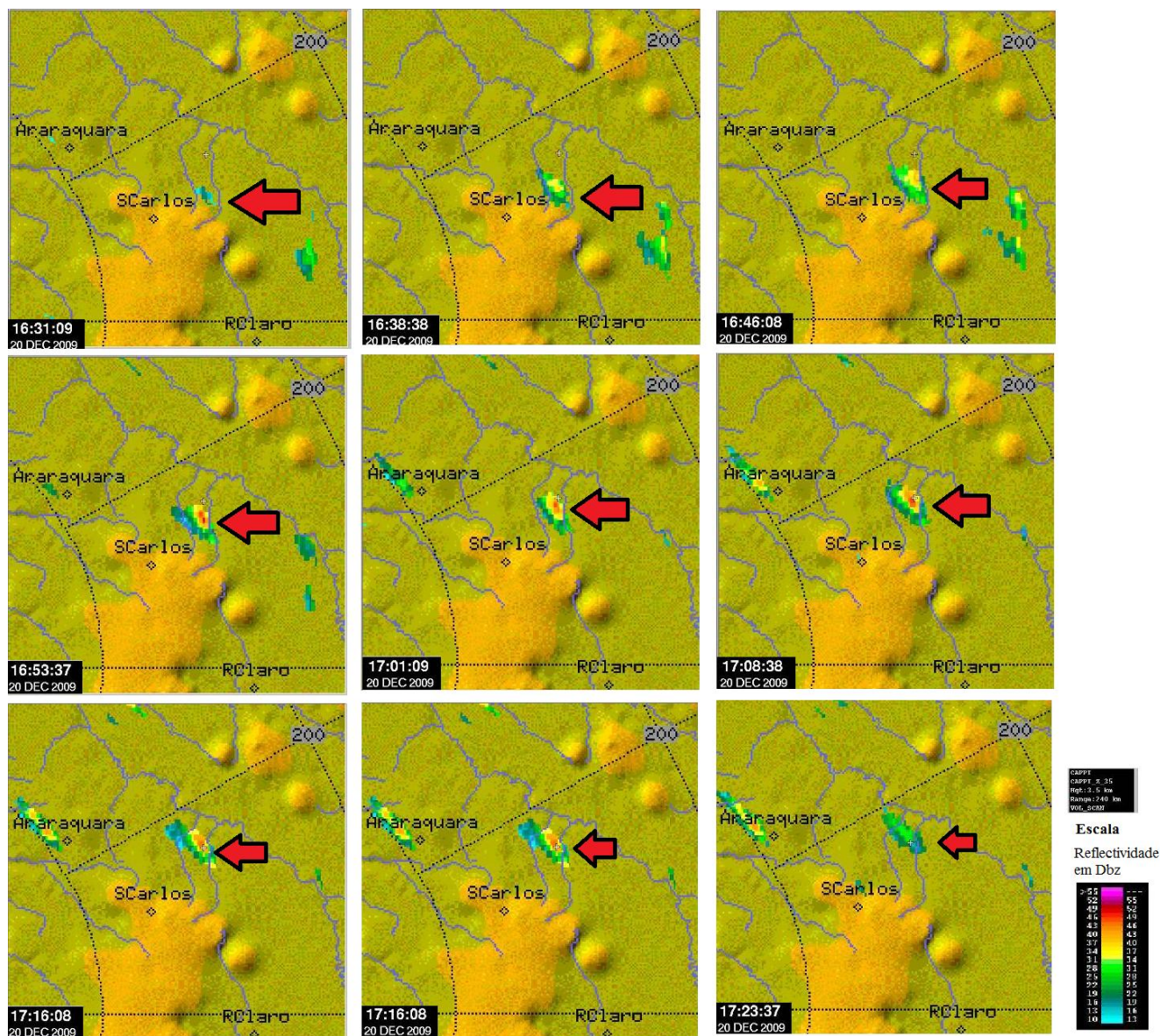


Figura 8.24: Deslocamento da célula de tempestade, conforme imagens obtidas pelo radar de Bauru, entre as 16h31 e 17h33 de 20 de dezembro de 2009. (Fonte: IPMet)

A Figura 8.25 mostra divergências nas direções e velocidades dos ventos no interior do sistema em cortes feitos em duas direções distintas da supercélula. Observa-se em certos pontos ventos de velocidades superiores a 40 m/s em sentidos opostos, o que indica a ocorrência de movimentos rotacionais no interior da nuvem. A Figura 8.26 mostra claramente o cisalhamento de ventos momentos antes do surgimento do tornado, cujo movimento rotacional foi capturado pelo radar, conforme é visível na Figura 8.27.

Nessa imagem é possível ver que os ventos divergentes continuam nuvem adentro até altitude aproximada de 4 mil metros, onde um ponto de cisalhamento de ventos marca sua origem. Ventos com elevadas velocidades continuam a ser registrados nas porções ligeiramente acima deste ponto, até altitude de cerca de 6 mil metros. Tal elevação nas velocidades dos ventos nesse local, corresponde à estruturação do núcleo de baixa pressão, responsável pela deflagração do processo que deu origem ao tornado.

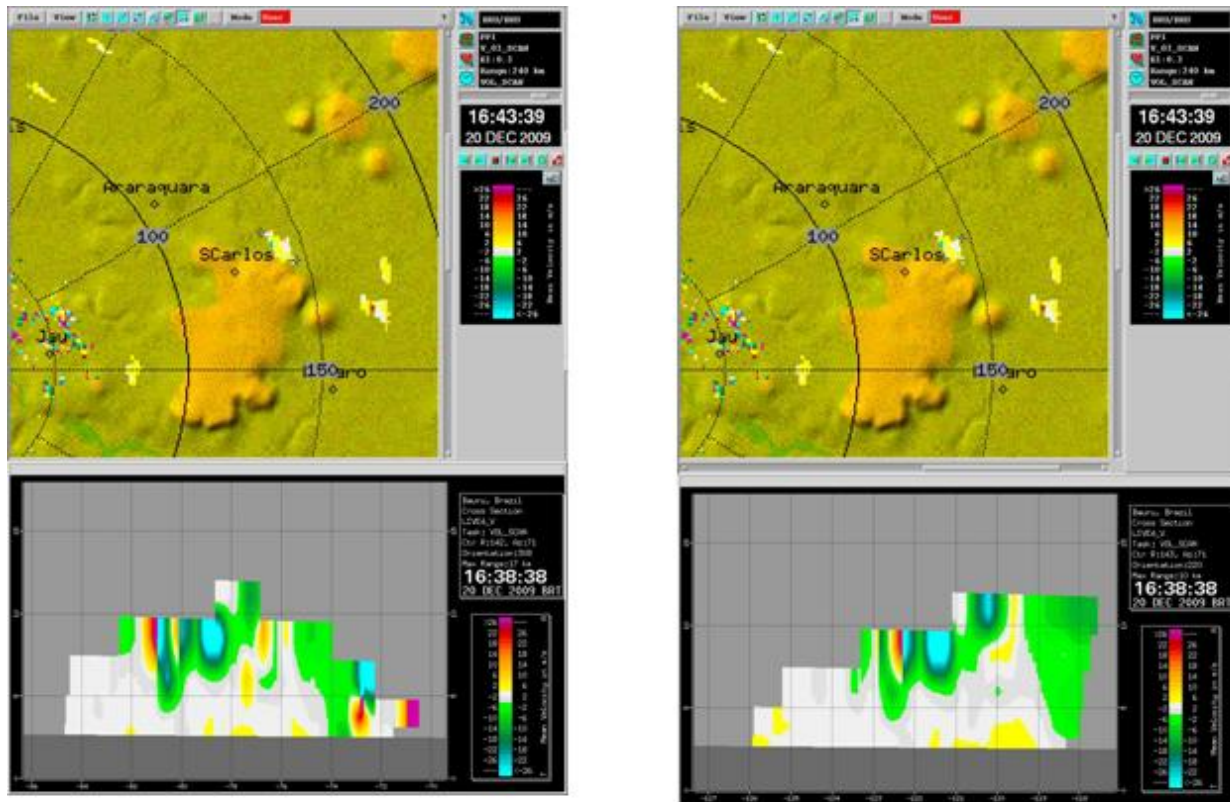


Figura 8.25: Divergências nas direções dos ventos existentes no interior das nuvens.

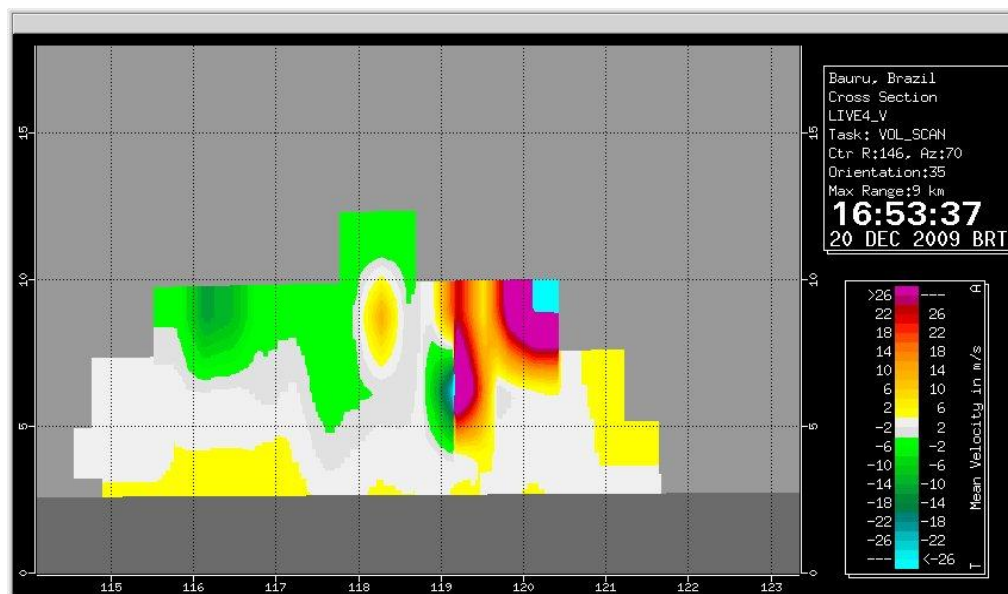


Figura 8.26: Divergências nas direções dos ventos existentes no interior das nuvens.

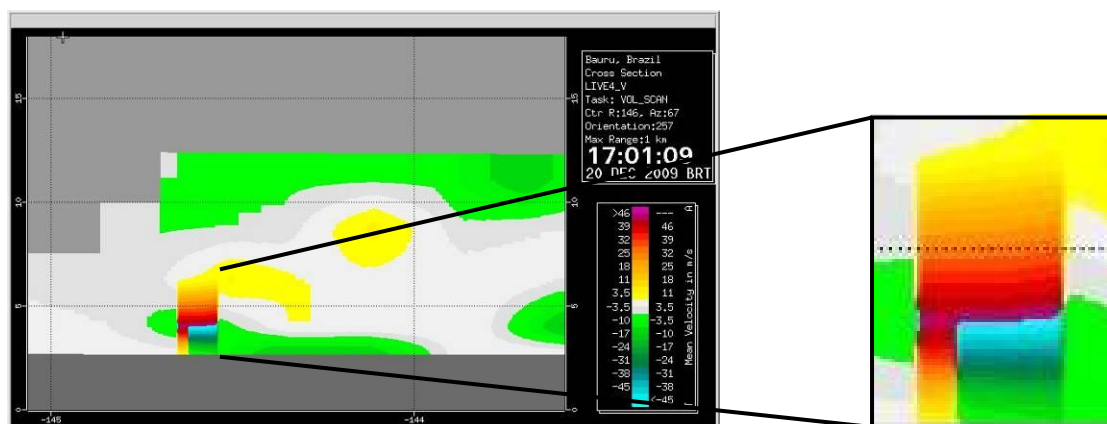


Figura 8.27: Divergências na direção e velocidades dos ventos no interior do sistema. Em destaque, forte cisalhamento capturado pelo radar. (Fonte: IPMET)

9 - Considerações Finais

A presença de tempestades severas foi fator preponderante no desenvolvimento da mitologia de diversos povos da antiguidade, dentre os quais destacamos os ameríndios que habitavam as terras atualmente pertencentes ao Brasil. Assim, é perfeitamente plausível a afirmação de que tais eventos sempre ocorreram em nosso território. Entretanto, por estarem relacionados à atuação de sistemas dotados de elevados teores de umidade, estas tempestades apresentam pouca visibilidade durante sua ocorrência, de modo que muitos episódios podem ocorrer sem serem efetivamente identificados.

Diferentemente do que se pensava no passado, tornados são fenômenos relativamente comuns em território brasileiro. Embora eles ocorram em praticamente todos os estados, há algumas áreas com riscos mais intensos. Tal setor foi denominado como Polígono dos Tornados da América do Sul e engloba, entre outros locais o centro-sul do Brasil, onde há atuação de sistemas atmosféricos contrastantes. Levantamentos mostram tendência de aumento no número de episódios registrados, sendo que grande parte desses eventos estão concentrados nas últimas duas últimas décadas. Tal elevação no número de registros está relacionada a dois aspectos: alterações climáticas em nível local e global, que são capazes de disponibilizar maior aporte de energia no ambiente, além do avanço tecnológico, que disponibiliza mais equipamentos capazes de capturar as ocorrências.

Conforme discutido, estudos prévios já buscaram a determinação da distribuição espacial dos tornados bem como modelar os riscos de ocorrência. O diferencial da técnica de modelagem aqui desenvolvida consiste na inclusão de fatores extra-atmosféricos tais como altimetria, declividade e hidrografia. O modelo produzido mostra claramente a presença de zonas preferenciais à ocorrência do fenômeno, que se relacionam à canalização dos ventos propiciada por fatores topográficos naturais ou estruturas de origem antrópica (caso dos grandes reservatórios).

Um fator a ser considerado é o elevado risco de ocorrência de tornados no estado de São Paulo que, ao contrário do exposto por estudos anteriores, coloca-se na primeira posição dentre todas as Unidades da Federação analisadas, estando à frente de estados conhecidos pela frequente ocorrência de tempestades, como Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Tal panorama provavelmente está ligado aos fatores geomorfológicos e climáticos, com destaque para a

presença de relevo relativamente plano, existência de massivos corpos d'água e localização transicional do ponto de vista climático. Também não se pode descartar que este é o estado mais populoso do país, o que faz com que o espraiamento urbano e a ocorrência de ilhas de calor sejam mais comuns nessa área, em detrimento das demais.

Enfatiza-se que a altitude exerce influência direta na ocorrência do fenômeno. Como a superfície das áreas mais elevadas apresentam menores temperaturas, há redução da intensidade dos movimentos convectivos, o que inibe a formação das supercélulas. Assim, apenas 2% dos tornados registrados ocorreram em locais com altimetria superior a 1.000 metros. As menores temperaturas do solo nas áreas mais elevadas inibem a convecção, de modo que é menos provável o surgimento de uma supercélula em tais locais.

A declividade é outro fator limitante ao advento desse fenômeno, visto que esse elemento proporciona perturbação no movimento do ar junto ao solo, alterando a dinâmica atmosférica em tais locais. É conveniente destacar que apenas uma décima parte dos eventos registrados no Brasil foram registrados em áreas com declividades médias superiores a 10%. Tal aspecto pode estar vinculado ao fato de que áreas mais íngremes proporcionam maior resistência à movimentação do ar. Também deve ser considerado que a movimentação induzida pela rugosidade do terreno pode levar a uma ascensão precoce da parcela de ar que se desloca sobre este local, diminuindo assim a possibilidade de formação de sistemas convectivos mais intensos.

Quanto à distribuição espacial dos riscos de ocorrência, nota-se clara distinção entre os padrões visualizados nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul. No primeiro caso, nota-se forte influência de fatores geomorfológicos e hidrográficos, com destaque para altimetria, declividade e proximidade de cursos d'água. Já no segundo estado é perceptível relação entre latitude e risco de formação de tornados mostrando que, nesse setor, a entrada de sistemas frontais está mais vinculada a tais ocorrências do que a geomorfologia.

Salienta-se que nas áreas de maior recorrência do fenômeno estão inclusas cidades de extrema importância econômica para o país, com destaque para Campinas, Porto Alegre e São José dos Campos, sedes de regiões metropolitanas intensamente industrializadas, nas quais os riscos de ocorrência superam 20% ao ano. Tal aspecto pode estar relacionado à intensificação das células convectivas, em virtude do surgimento de ilhas de calor.

O modelo também exibe tendência de incremento dos riscos de formação de tornados na faixa mais próxima ao litoral. Tal aspecto se relaciona ao relevo plano da faixa litorânea, conjugado com a proximidade com o oceano, o que facilita o surgimento de trombas d'água. Assim, embora mais frequentes, os tornados ocorridos no litoral tendem a ser menos energéticos em relação aos originados no interior do país.

O conhecimento da distribuição espacial do fenômeno permite a adoção de uma série de medidas preventivas. Uma vez que se conheça o risco de ocorrência do fenômeno é possível pensar na construção de estruturas capazes de suportar ventos de tais intensidades. Por isso procurou-se abordar a elaboração de uma escala de medição de ventos baseada na realidade brasileira. Tal escala pode ser utilizada em conjunto com análises de danos relacionados à ocorrências de ventos intensos.

Em seguida, apresenta-se a síntese dos principais potenciais de uso do modelo aqui proposto:

- Aprimoramento de sistemas de modelagem atmosférica e previsão do tempo;
- Possibilidade de realização de estudos científicos na área das ciências atmosféricas, indicando quais seriam os locais mais adequados à instalação de instrumentos de coletas de dados, tais como anemômetros, anemógrafos e radares meteorológicos;
- Melhoria dos sistemas de prevenção à ocorrência de desastres naturais relacionados a esse tipo de fenômeno;
- entendimento de como as tempestades podem ser intensificadas ao se aproximarem de corpos d'água, de modo que ventos severos podem ser adicionados à lista dos impactos ambientais relacionados à instalação de grandes represas;
- planejamento urbano mais adequado, uma vez que o estudo pode auxiliar na elaboração de diretrizes para adaptação da arquitetura nacional, indicando em quais pontos as estruturas devem apresentar melhor resistência à atuação de ventos severos;
- adaptação de culturas agrícolas agricultando, nas áreas de elevado risco, culturas de menor vulnerabilidade à ação de tais tempestades;
- calibração dos valores de seguros contra danos financeiros provocados por estes eventos – as seguradoras necessitam de uma avaliação detalhada da possibilidade da ocorrência de determinados eventos deletérios, visto que o conhecimento dos riscos possibilita

melhor adaptação do preço das apólices de seguros contra eventuais danos relacionados a tais eventos.

Além disso, destaca-se que o conhecimento da existência da possibilidade de atuação de um evento faz com que o poder público fique ciente dos riscos existentes, possibilitando instrução dos habitantes locais sobre o modo de ação perante a ocorrência de tornados, trombas-d'água e ventos intensos, visando futura instalação de sistemas de avisos e alertas sobre a ocorrência destes fenômenos.

É imperativo frisar que o modelo aqui proposto pode ser aplicado a qualquer outra área do planeta onde exista concentração desses eventos. Para isso, basta que sejam feitas adaptações, mediante coleta de informações referentes às ocorrências e determinação das faixas de declividade e altimetria dentro das quais as ocorrências sejam mais comuns.

Igualmente, é importante reforçar que a mesma metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo de risco de ocorrência de tornados pode ser aplicada para outros eventos atmosféricos que também apresentem respostas similares aos fatores morfoclimáticos aqui considerados, tais como queda de granizo, *downbursts*, vendavais e tempestades severas em geral. Por estarem diretamente ligados à fatores físico-geográficos, tais como latitude, altimetria, hidrografia e continentalidade, o modelo aqui proposto também pode ser utilizado para determinação do percentual anual do risco de ocorrência de geadas rigorosas e nevascas em latitudes mais elevadas, bastando para isso algumas adaptações relacionadas à distribuição espacial do fenômeno em questão.

10 - Referências Bibliográficas

ALLABY, M. **Tornadoes**. Facts on File: New York, 2004.

ANTONIO, M. de A. Ocorrência de tornado na região tropical do Brasil. **Boletim Climatológico**, n. 2/3, 1996, p. 136-141.

ATKINSON, B.W.; GADD, A. **Weather – A Modern Guide to Forecasting**. [S.l]:Mitchell Beazley Publishers, 1986.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo : DIFEL, 1996.

BECK, A. T. VERZENHASSI C. C. Risk optimization of a steel frame communications tower subject to tornado winds. **Latin American Journal of Solids and Structures** v.5, pp.187-203, 2008.

BERTONI, B. G. ANDRÉ, I. R. N. AZEVEDO, T. S. Análise da ocorrência do Tornado no Município de Indaiatuba (2005) e a correlação entre o relevo e a topografia da região . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Belém, 2010, **Proceedings...** Belém: SBMET, 2010. p. 1921-1929.

BROOKS, H.E. DOSWELL III, C.A. Normalized Damage from Major Tornadoes in the United States: 1890–1999 **Weather and forecasting**, V.16, 2000

BRYANT, E.A. **Natural hazards**. Cambridge University Press: Cambridge, 1991.

BRYANT, E.A.. **Climate process and change**. Cambridge University Press: Cambridge, 1997.

BURROUGHS, W.J. **Does the weather really matters? the social implications of climate change**. Cambridge University Press.: Cambridge 1997, 230p.

CANDIDO, D.H. **Relação entre precipitação e altimetria na área entre o vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira** . Monografia de conclusão de curso, Instituto de Geociências - Unicamp, Campinas, 2003.

CANDIDO, D. H. CANDIDO R. F. Condicionantes atmosféricos da tempestade ocorrida em 21 de abril de 2008, na cidade de Maringá (PR) e suas conseqüências 1º Simpósio sobre pequenas cidades e desenvolvimento local e XVII Semana de Geografia/UEM **Anais...** 2008 <disponível online em http://www.dge.uem.br/semana/eixo6/trabalho_50.pdf >

CANDIDO, D. H. NUNES, L. H. HELD, G. . Impact of two severe storm systems over the São Paulo State, Brazil. In: 5th European Conference on Severe Storms, 2009, Landshut, Bavaria, Alemanha. 5th European Conference on Severe Storms **Preprints...**, 2009.

CANDIDO, D. H. ; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o vale do rio tietê e a serra da mantiqueira. **Ge USP Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 24, pp. 08 - 27, 2008

CARDOSO, L. F. N. COSTA, R. M. A. MENEZES, W. F. Trombas d'água no Rio de Janeiro: condições atmosféricas favoráveis. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém. **Anais...**, Belém, 2010

CEPAGRI. **O que fazer durante os temporais** CEPAGRI - UNICAMP <disponível online em <http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/temporais.html>> (acessado em dezembro de 2010)

CPTEC **Tempestade em Cachoeira Paulista (SP)**. CPTEC-INPE <disponível em http://www.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/Cachoeira_061108.pdf> 2008a (acessado em maio de 2012).

CPTEC **Temporais no Rio Grande do Sul**. CPTEC-INPE <http://www7.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/Temporais_RS.pdf> 2008b (acessado em maio de 2012).

DAY, J.A. **The Book of Clouds**. Sterling Publisher Co. New York, 2006

DOTZEK, N. Tornadoes in Germany. **Atmospheric Research** 56, pp 233–251, 2001

ETKIN, D. e BRUN, S. E. A note on Canada's hail climatology: 1977–1993. **International Journal of Climatology**, 19: pp 1357–1373 1999 <disponível online em [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199910\)19:12%3C1357::AID-JOC422%3E3.0.CO;2-B/pdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0088(199910)19:12%3C1357::AID-JOC422%3E3.0.CO;2-B/pdf)>

FARIA, H. H. **Estudo das características dos relâmpagos nuvem-solo durante dias de grande atividade no estado de Minas Gerais nos anos de 1992 a 1994** (dissertação de mestrado) INPE - São José dos Campos, 2003.

FUJITA, T.T. Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity. Satellite and Mesometeorology **Research Paper 91**, Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, Chicago, Il. 1971.

FUJITA, T. T. Tornadoes around the World. **Weatherwise**. Volume 26, Issue 2. 1973.

FUJITA T. T.; PEARSON, A. D. Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. In: 8th Conference on Severe Local Storms, 8., 1973, Denver: **Preprints...** Boston: American Meteorological Society, 1973. p. 142–145

FUJITA, T. T. Tornadoes and downbursts in the context of generalize planetary scales. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 8, p. 1511-1524, 1981.

GAN, M. A., e RAO, V. B., 1996: **Comments on Climatology of cyclongenesis for the Southern Hemisphere**. Mon. Wea. Rev., 124, 2614-2614.

GENTRY, R. C. (1983): "**Genesis of tornadoes associated with hurricanes**." Monthly Weather Review, 111, pp.1793-1805

GOMES, W. R. **Estudos das características da atividade dos raios na Região Metropolitana de São Paulo**, (tese de doutorado) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2010

GOMES, A. M.; HELD, G.; LIMA, M. A.; CALHEIROS, R. V. Estudo da evolução de tempestades severas na área central do estado de São Paulo por radar Doppler. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 1921-1929.

GRAZULIS, T.P. **The tornado: nature's ultimate windstorm** University of Oklahoma Press: Oklahoma, 2001.

HAYES, W.C. Most Ancient Egypt. **Journal of Near Eastern Studies**, v. 23, n.2, 1964

HELD, G.; GOMES, J.L.; PINTO Jr., O.; ANTONIO, C.A.A.; da SILVA, A.B.P. The Palmital tornado: lightning and radar observations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING (GROUND'2004) and EARTHING and INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PHYSICS AND EFFECTS (1st. LPE), Belo Horizonte, **Proceedings...** Belo Horizonte, 2004, p. 23-28

HELD, G.; GOMES, A.M.; NACCARATO, K.P.; PINTO Jr., O.; NASCIMENTO, E. de L.; CORREIA, A.A.; MARCELINO, I.P.V.O. Analysis of tornado characteristics in the State of São Paulo for the improvement of an automatic alert system. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 32. 2005a, Albuquerque, USA: **Preprints...**, Albuquerque: American Meteorological Society. 2005.

HELD, G.; GOMES, A. M.; NASCIMENTO, E.; PINTO, Jr. O.; NACCARATO, K. P., ANTONIO C. A. e PORTO DA SILVA, A. B. Tornado Signatures for Nowcasting Using Radar and Lightning Observations in Brazil. **Geophysical Research** v.7, 2005b, 6p.

HELD G, GOMES A.M, NACCARATO K P., PINTO Jr. O, NASCIMENTO, E. The Structure of Three Tornado-Generating Storms Based on Doppler Radar and Lightning Observations in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8, 2006, Foz do Iguaçu. **Proceedings...**, Foz do Iguaçu, 2006, 2006(a) p. 1787-1797.

HELD, G.; GOMES, J.L.; NASCIMENTO, E. de L. Forecasting a severe weather occurrence in the state of São Paulo, Brazil on 24 May 2005: the Indaiatuba tornado. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8, 2006 (b), **Proceedings...** Foz do Iguaçu. **Proceedings...**, Foz do Iguaçu, 2006, 2006(b) p. 1799-1807.

HELD, G. GOMES, A.M. NACCARATO, K. P. Estrutura e comportamento de tempestades supercélulas no Estado de São Paulo, Brasil In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém. **Anais...**, Belém, 2010

HOSSAIN, Q. MENSING R. SAVY, J. KIMBALL, J. A probabilistic tornado wind hazard model for the continental United States. United States-Japan Joint Panel Meeting on Seismic & Wind Engineering. **Preprints...** Tsukuba, Japan, 1999

JOE, P. SANDY, D. LAKSHMANAN, V. HEIZENREDER, D. JAMES, P. LANG, P. HENGSTEBECK, T. FENG, Y. LI, P.W. YEUNG, H. Y. SUZUKI, O. DOI, K. DAI, J. **Automated Processing of Doppler Radar Data for Severe Weather Warnings, Doppler**

Radar Observations - Weather Radar, Wind Profiler, Ionospheric Radar, and Other Advanced Applications, Joan Bech and Jorge Luis Chau (Ed.), InTech, 2012 <disponível online em <http://www.intechopen.com/books/doppler-radar-observations-weather-radar-wind-profiler-ionospheric-radar-and-other-advanced-applications/automated-processing-of-doppler-radar-data-for-severe-weather-forecasting>>

JORDAN, M. **Dictionary of Gods and Goddesses**. Facts on file inc: New York, 2004

KLING, G.W., HAYHOE, K., JOHNSON, L.B., MAGNUSON, J.J., POLAKY, S., ROBINSON, S.K., SHUTER, B.J., WANDER, M.M., WUEBBLES, D.J., ZAK, D.R., LINDROTH, R.L., MOSER, S.C., WILSON, M.L. Confronting climate change in the Great Lakes Region: impacts on our communities and ecosystems. Union of Concerned Scientists and Ecological Society of America, Cambridge, 2003 <disponível online em http://www.esa.org/science_resources/DocumentFiles/ucsgreatlakesFINAL4-7.pdf>

KOGA-VICENTE, A. **Eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Campinas**, (tese de doutorado) Universidade de Campinas - Instituto de Geociências. 2005

LINDOP, L. **Chasing tornadoes**. Twenty-First Century Books: Brookfield, 2003.

LATIF, M.B. Ventilação no trópico. In: Xavier A. (org) **Arquitetura moderna brasileira: depoimento de uma geração**. São Paulo: ABEAS, 1987.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. São Paulo: Hucitec 1985.

LURKER, M **The Routledge Dictionary of Gods and Goddesses, Devils and Demons** Routledge: London, 2004

LUTGENS, F.K.; TARBUCK, E.J. **The Atmosphere**. New Jersey, Prentice Hall, 1998

MARCELINO, I.P.V.O. **Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2003.

MARCELINO, I. P. V. O. FERREIRA, N. J. CONFORTE, J. C. Análise do episódio de tornado ocorrido no dia 07/02/98 no município de Abdon Batista – SC in: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**, Belo Horizonte, Brasil, 05 -10 abril 2003, p. 479-486.

MARCELINO, I. P. V. O.; FERREIRA, N.J.; ANDRÉ, I.N. Análise geográfica do tornado ocorrido no município de Joinville-SC em 31/01/1999. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. (CD-ROM).

MARCELINO, I. P. V. O. NASCIMENTO, E. L. FERREIRA, N. J. **Tornadoes in Santa Catarina State (Southern Brazil): event documentation, meteorological analysis and vulnerability assessment**. INPE, 2005.

MARCELINO, I. P. V de O.; MARCELINO, E. de O.; NUNES, L.H. Classificação e análise dos danos do tornado ocorrido em agosto de 2005 no município de Muitos Capões (RS). In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 7 **Anais...** Rondonópolis: UFMT, Campus Rondonópolis, 2006.

MARCELINO, I.P.V. de O., NUNES, L.H. Utilização de SIG na análise de episódios de tornados: ferramenta metodológica aplicável no Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia** v.2, p. 87-102, 2006.

MARCELINO, I.P.V. de O.; NASCIMENTO, E.L.; FERREIRA, N.J. Tornados em Santa Catarina: análise meteorológica e de vulnerabilidade com o auxílio de geotecnologias. In: ALMEIDA, C. M.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (org.). **Geoinformação em Estudos Urbanos e Regionais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. v.1. 530 p.

MASSAMBANI, O.; CARVALHO, L.M.V.; VÁZQUES, M. Tornado ou microexplosão? Um diagnóstico via radar do evento de Itú-São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, São Paulo, **Anais...**, São Paulo, 1992. p. 763-768.

MEISTER, C. **Tornadoes**. ABDO Publishing: Edina, MN, 1999

MENEZES, W.F., SILVA DIAS, M.A.F. Simulação numérica das tempestades ocorridas no Estado de São Paulo em 14 de maio de 1994: o caso Ribeirão Preto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10 e SEMINÁRIO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA DE MESOESCALA, 1, Brasília, **Anais...**, Brasília, 1998. (CD-ROM).

MONTEIRO, M. A. MORAES, M. R. CALEARO, D. S. Ocorrência de um caso de nuvem tipo vírgua invertida no dia 11 de janeiro de 2004 no litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC 2004 p. 602-613 (CD-ROM)

NASCIMENTO, E.L.: Identifying severe thunderstorm environments in southern Brazil: analysis of severe weather parameters. In: CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS, 22, Hyannis/EUA, **Anais...**, Hyannis/EUA: American Meteorological Society, 2004. Disponível em: (<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81745.pdf>)

NASCIMENTO, E. L.; MARCELINO, I. P. V. O. Análise preliminar dos tornados de 3 de janeiro de 2005 em Criciúma/SC. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 28-29, n.1, 2005, p. 33– 44.

NECHET, D. Ocorrência de tornados no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, 2002, p. 29-39.

NICOL, K. Radiocarbon Chronologies for Prehistoric Human Occupation and Hydroclimatic Change in Egypt and Northern Sudan **Geoarchaeology** Vol 16, No 1, 47-64, 2001 <http://www.geog.ox.ac.uk/~knicoll/ww/geoarch_nicoll_c14_esahara.pdf>

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro : IBGE/SUPREN, 1979.

NUNES, L.H. A influência do clima na história. **Revista Geopantanal** v.5, p, 15-23, 1999

NUNES, L. H. SANTOS, F. R. N. ; ARAKI, R. CANDIDO, D. H. ; KOGA-VICENTE, A. . The Perception of an Extreme Atmospheric Event in two Brazilian Cities. In: Weather, local knowledge and everyday life, 2008, Rio de Janeiro. **Weather, local knowledge and everyday life**, 2008. v. 1. p. 43-43.

NUNES, L. H. CANDIDO, D. H. ARAKI, R. SANTOS, F. R. N. COLLAÇO, M. M. ; CASTELLANO, M. S. ; BARBIN, N. B. C. B. Condicionantes físicos e impactos dos tornados do final de março de 2006 em setores do interior paulista. **Geousp** USP : São Paulo, v. 23, p. 99-124, 2009(a)

NUNES, L. H.; KOGA-VICENTE, A. ; CANDIDO, D. H. . Clima da Região Sudeste do Brasil. In: Iracema F. A. Cavalcanti; Nelson J. Ferreira; Maria Assunção F. Dias; Maria Gertrudes A. Justi. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009(b), v. , p. 243-258.

OLIVEIRA, E. C. **As representações do medo e das catástrofes em Goiás** (tese de doutorado) Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Sociais. 2006

OLIVEIRA, I. P. V. **Distribuição Espaço-Temporal e Análise de Tornados em Santa Catarina no período de 1975 a 2000**. Florianópolis: UFSC, 2000

PASSE-SMITH, M.S. Effect of Topography on Weak and Moderate Tornadoes In 2008 ESRI International User Conference **Proceedings of...** San Diego, California, USA – 2008 <disponível em http://www.scdhec.gov/gis/presentations/ESRI_Conference_08/papers/papers/pap_1396.pdf >

PRETOR-PINNEY, G. **Guia do observador de nuvens**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2008.

RAKOV, V. A. UMAN, M. A. **Lightning: Physics and Effects**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

RAKOV, V. A. KODALI, V. CRAWFORD, D. E. Close electric field signatures of dart leader//return stroke sequences in rocket-triggered lightning showing residual fields **Journal of Geophysical Research**. v.110, p.1 -11, 2005.

RENNÓ, N. O.; BLUESTEIN, H. B. A simple theory for waterspouts. **Journal of Atmospheric Sciences**. v.58, p.927-932, 2001.

SCHAEFER, V. J. **The formation of ice crystals in the laboratory and in the atmosphere**. General meeting of the American Chemical Society. Chicago, 1948. Pp 186 -210 <disponível online em <http://iahs.info/redbooks/a030/03028.pdf>>

SCHUBERT, R., SCHELLNHUBER, H.J., BUCHMANN, N, EPINEY, A., RIEßHAMMER, R., KULESSA, M., MESSNER, D., RAHMSTORF, S., SCHMID, J. **German Advisory Council on Climate Change. Climate Change as a Security Risk**, London: Earthscan, 2007.

SKAGGS, R.H. On the association between tornadoes and 500-mb. Indicators of jet streams. In: **Monthly weather review** Vol. 95 n.3 Department of Geography, University of Kansas - Laurence, Kansas, 1967

SNOW, J.T. and WYATT, A.L. The tornado, Nature's most violent wind: Part 1- World wide occurrence and categorization, **Weather**, 52(10), 298-304. 1997.

SNOW, J.T. and WYATT, A.L. The tornado, Nature's most violent wind: Part 2- Formation and current research, **Weather**, 53(3), 66-72. 1998.

SILVA DIAS, M. A. F., GRAMMELSBACHER, E. A. A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 6, n.2, 1991, p. 513-522.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas convectivos de mesoescala sobre o sul do Brasil. In: **Climanálise - Edição comemorativa de 10 anos**. CPTEC/INPE: São José dos Campos, 1996

SILVA, D; BARROS FILHO, J; LACERDA NETO, J. C. N. Aspectos da física do raio: buscando elucidar um fenômeno pouco compreendido. **Ciência & Ensino**, n. 7, dezembro, 1999. 8p.

SILVEIRA, S. W. G. **Um estudo sobre os dispositivos de localização de descargas atmosféricas**. Monografia. (Especialização em Física Básica e Aplicada) - Universidade Federal de Mato Grosso. 2003. 36p.

SIOUTAS, M.V. Tornadoes and waterspouts in Greece. **Atmospheric research** V.67-68, Julho de 2003, pp645-656

SMITH, K. **Environmental hazards. Reducing risk and reducing disaster**. London: Routledge. 2006. 250p.

TALBOT, M.R. Environmental Responses to climatic change in the Western African Sahel over the past 20,000 years. In: WILLIAMS, M. A. J. FAURE, H. (org) **The Sahara and the Nile**, Balkema: Rotterdam, 1980.

TURNER, P; COULTER, C.R. **Dictionary of Ancient Deities**. Oxford: New York, 2000

VAN MOLLE, M. Natural hazards. In: NATH, B., HENS, L., COMPTAN, P., DEVUYST, D. (Eds.) **Environmental Management v.1-The compartmental approach**. Brussels: VUB University Press, p, 305-340, 1993

WAINWRIGHT, G. A. The Origin of Storm Gods in Egypt. **Journal of Egyptian Archaeology**, Dezembro, 1963

WAKIMOTO, R. M., JAMES W. W. Non-supercell Tornadoes. **Monthly Weather Review**. 117, 1113-1140, 1989. <disponível online em [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<1113:NST>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<1113:NST>2.0.CO;2)>

WEBSTER P. J.; HOLLAND, G. J.; CURRY, J. A.; CHANG, H. R. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. **Science**, v. 309, 2005, p. 1844-1846.

WHITNEY, L. F. Relationship of the subtropical Jet stream to severe local storms. **Monthly Weather Review** v.105 April, 1977. Pp 398-412

WILLIS, R.G. **World Mythology**. New York: H. Holt. 2003

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D.. "A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning."Trans. **Int. Congr. Soil Sci.**,7th, p. 418-425. 1960

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. **Agr. Handbook**. 282, U.S. Dept. Agr., Washington, DC. 1965.

ANEXO I

Divindades relacionadas às condições climáticas e meteorológicas

Cultura	Divindade	Atribuição	Intempéries relacionadas	Outras informações relevantes
Albanesa	Perende	Deus da tempestade	Tempestades	
Andina Central	Pariacaca	Deus do tempo	Nevoeiro, garoa, chuva e trovoadas	Pode assumir aparência humana ou a forma de um falcão.
Árabe	Et Betel	Deus da tempestade	Tempestades	
	Qos Ou Qos-Allah	Controlador do tempo	Chuvas e arco-íris	Em alguns casos este deus é considerado como sendo o próprio Allah.
	Quzah	Deus da montanha e do tempo	Tempestades	
Armênia	Barshamin	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	Provavelmente derivado da divindade Síria Baal-Shamin
Asteca	Chalchiuhtlicue	Deusa da água	Chuvas e redemoinhos	Teria sido a responsável por um grande dilúvio que atingiu a Terra
	Tlaloc	Deus da chuva	Chuvas	
	Yauhqueme	Deus da fertilidade e das chuvas	Chuvas	

Bakonga	Lubangala	Deus do arco-íris	Trovões e arco-íris	Era o inimigo do deus das tempestades e durante as lutas usava o som dos trovões como arma e podia aparecer no céu na forma de um arco-íris
Bambara	Teliko	Espírito do ar; responsável por ventos quentes	Vento, calor	Trata-se de uma divindade que se manifesta na forma de um espírito que suga a alma das pessoas
Bijago	Oraga	Deus da chuva e ventos	Chuva, vento	
Budista	Hemantadevi	Deusa do inverno	Frio, neve	
Bunyororo	Munume	Deus do tempo	Secas e cheias	Era invocado em épocas de cheias ou secas, para normalizar a situação
Celta	Áine	Deusa do sol	Início do verão	
	Cailleach Bheur	Deusa do inverno	Neves e Nevascas	
	Taranis	Deus do trovão	Trovões	
Chinesa	Ba	Deusa da seca	Secas	
	Chi Sung Tzu	Deus da chuva	Chuva	
	Tien Um	Deusa dos raios	Raios	
Dinka	Deng	Deus do céu	Tempestade, raios e trovões	Era tido como uma das mais importantes divindades dessa cultura, pois consideravam-no como a junção dos espíritos de seus ancestrais.
Eslava	Perun	Deus do trovão	Raios e trovões	
	Stribog	Deus dos ventos	Ventos	

Etrusca	Summamus	Deus da tempestade	Raios e trovões	Na antiga cidade de Roma havia um santuário dedicado exclusivamente a esse deus
Ewe	So	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	
	Xewioso	Deus do trovão	Raios, trovões, tempestades e chuvas	
Fenícia	Hadad	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	Os trovões eram considerados seus gritos ecoando através das nuvens
Finlandesa	Ilmarinen	Deus do céu	Ocorrências meteorológicas em geral	Também considerado o responsável pela colocação das estrelas no céu
	Pajonn	Deus do trovão	Trovões	
	Ukko	Deus do trovão	Raios e trovões	
Fon	Sogbo	Deus da tempestade	Tempestades	
Germânica	Donar	Deus das tempestades	Trovões e tempestades	Derivado da divindade nórdica Thor
Grega	Poseidon	Deus supremo do mar	Tormentas e tempestades	Pelos romanos era conhecido como Netuno
	Aeolos	Deus das tempestades e ventos	Tempestades e ventos severos	Era um dos filhos de Poseidon
	Okeanos	Deus dos oceanos	Ondas, marés e tormentas	
	Zibelthiurdos	Deus da tempestade	Raios e trovões	

	Eos	Deusa do céu	Ventos e orvalho	Teve seis filhos cada um dos quais representava um determinado vento. Ela também foi mãe de Mennon, que morreu em Tróia, e por isso chora todas as noites. Suas lágrimas formam o orvalho que se assenta sobre a relva durante as manhãs
Hindu	Agnikumara	Divindade	Chuvas e trovões	
	Hi'lina	Deus tribal	Nuvens e trovões	Era representado por uma ave gigante, cujo bater de asas gerava o som dos trovões. O brilho de seu olhar formava os raios e as nuvens saíam de sua cloaca
	Indra	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	
	Maruts	Deuses das tempestades	Tempestades	
	Parjanya	Deus da chuva	Chuvas	
	Pavana	Deus do vento	Ventos	
Huichol	Tamats Palike Tamoyeke	Deus do ar e do vento	Ventos	
	Tate Hautse Kupuri	Deusa das águas e da chuva	Chuva	Responsável pela chuva vinda do ocidente
	Tate Naaliwahi	Deusa das águas e da chuva	Chuva	Responsável pela chuva vinda do oriente

Inca	Apocatequil	Deus dos raios	Raios e trovões	
	Waconera	Entidade maligna	Secas	
	Ilyapa	Deus do tempo	Chuvas, raios e trovões	
Inuit	Ignerssuak	Deus dos mares	Tormentas	Por vezes não é considerado um único deus, mas sim um grupo de deuses, normalmente benevolentes, que habitam os mares
Kaffir	Bagisht	Deus das águas, inundações e prosperidade	Chuvas e inundações	Como trazia as chuvas, esse deus era considerado, por essa cultura afegã, como um dos responsáveis pela prosperidade
	Inder	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	
	Nong	Deus do inverno e do tempo frio	Frio, geadas e neve	
	Sudrem	Deus do tempo	Chuvas	
Letã	Bangputys	Deus do Mar	Ondas e tormentas	
	Perkons	Deus do trovão	Raios e trovões	
Lovedu	Mujaji	Deusa da chuva	Chuvas e tempestades	Em períodos de tempestades costumava-se sacrificar animais e, até mesmo, jovens garotas para acalmar a ira dessa deusa
Maia	Ah Kin	Deus do sol	Secas	
	Ah Patnar Unicob	Auxiliares dos deuses das águas	Chuvas (fim da estação seca)	Consistiam em quatro divindades que derramavam jarros de água sobre a Terra

	Ah Peku	Deus do trovão	Trovões	
	Chaac	Deus da chuva	Chuvas, raios e trovões	
	Chaob	Deus dos ventos	Ventos	Seu sopro era relacionado como causa dos ventos. A lenda diz que ele era capaz de soprar com força suficiente para derrubar os macacos das árvores
	Chiccan	Deus da chuva	Formação das nuvens e chuva	Possuía a forma de um réptil gigante e era cercado por cobras
	Menzabac	Deus do tempo	Nuvens escuras e chuva	Ele espalha tinta preta nas nuvens, o que causa a chuva
	Tzultacah	Deus do trovão	Trovões e chuvas	
Mesopotâmia	Na	Deusa do céu	Chuvas	Considerada a criadora do universo
	Im	Deus da tempestade	Tempestades	
	Ishkur	Deus das tempestades	Tempestades, raios e trovões	
	Wer	Deus da tempestade	Tempestades	
Navaho	Dsahadoldza	Deus da terra e da água	Chuvas	
	Hastseyalti	Chefe dos deuses	Chuva	
	Klehanoai	Deus da Lua	Raios	

	Tienoltsodi	Deus da água doce	Chuvas	Responsável pela distribuição da água doce que cai sobre a Terra
	Tonenili	Deus da chuva	Chuvas e tempestades	
Nórdica	Aegir	Deus do mar	Ondas e tormentas oceânicas	
	Heimdall	Guardião dos deuses	Arco-íris	
	Hel	Deusa dos subterrâneos	Elevação do nível do mar	
	Horagalles	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	Versão sueca do deus Thor, contudo, carregando dois martelos
	Snær	Divindade da Neve	Gelo e neve	
	Thor	Deus da guerra, do céu e das tempestades	Tempestades, raios e trovões	Um dos mais importantes deuses da mitologia nórdica. Ele cruza o céu com uma carruagem puxada por duas cabras, cujas rodas causam o som dos trovões. Ao bater com seu martelo em uma rocha, produz faíscas que atingem a terra na forma de raios

Nupe	Soko	Deus do céu	Nuvens escuras, chuva	
Persa	Vata	Deus do vento	Vento	
Pokot	Ilat	Deus da chuva	Chuva	
Polinésia	Tawhirimatea	Deus do vento	Vento	
Romana	Aeolus	Deus das tempestades	Tempestades e ventos severos	Derivado do deus grego Aeolos
	Aquilo	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	Também considerado como deus do vento de oeste
	Corus	Deus do vento	Ventos	Responsável pelo vento noroeste
	Juno	Rainha dos deuses	Tempestades	Na verdade Juno não era capaz de provocar tempestades sozinha, mas tinha o poder de convocar os deuses competentes para tal, quando julgasse necessário
	Júpiter	Líder do Panteão	Raios e trovões	
	Netuno	Deus dos Mares	Tempestades e tormentas	Para os gregos, era conhecido como Poseidon
	Notus	Deus do vento sudeste	Ventos	
	Zephyrus	Deus do vento sul	Ventos, chegada da primavera	Responsável pelo fim do inverno
	Eacus	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	
Sioux	Lia	Espírito do mal	Furacões	Seu sopro gerava os furacões

	Tate	Deus criador	Ventos e mudanças de estações	O som dos ventos eram considerados como a voz dessa divindade
Síria	Baal-Shamin	Deus do céu	Chuvas e trovões	Líder do panteão sírio
	Dolichenus	Deus do tempo	Ocorrências meteorológicas em geral	
Songhai	Dongo	Deus das tempestades	Raios e trovões	
	Sajara	Deus do arco-íris	Chuvas e arco-íris	Os membros da tribo de Songhai (onde atualmente se situa o Mali) faziam um ritual de dança da chuva para celebrar essa divindade
Suméria	Enki	Deus da água doce	Nuvens e chuvas	Tido como o responsável pela criação dos rios Tigre e Eufrates
Taoista	Lei Kung	Deus do Trovão	Tempestades, trovões, ventos e chuvas	Representado pela figura de um jovem forte segurando um cinzel e um martelo
	Yu Shih	Deus da Chuva	Chuvas	Considerado o "mestre das chuvas" pela cultura taoísta
Totonac	Tajin	Deus das chuvas	Nuvens, chuvas e trovões	
Tupi-	Iara	Deusa das águas	Nevoeiro e cheias	

Guarani	Tupã	Divindade das chuvas	Raios e trovões	Tupã não era exatamente um deus, mas sim uma manifestação de Nhandervuçu na forma de um trovão
	Nhandervuçu	Deus supremo	Ocorrências meteorológicas em geral	
Wagadou	Ataa Naa Nyongmo	O criador	Sol e chuva	Responsabilizado pela ocorrência de terremotos e epidemias, caso seus rituais não fossem realizados
Xintoísta	Aji-Shiki-Taka-Hiko-Ne	Deus da chuva	Chuvas	
	Fujin	Deus dos ventos	Ventos	Acredita-se que ele carregava um saco sobre os ombros, dentro do qual estão os quatro ventos
	Haya-Ji	Deus dos ventos	Ventos, redemoinhos e tufões	
	Iku-Ikasuchi-No-Kami	Deus do trovão	Trovões	Era um dos oito deuses mais significativos para essa cultura
	Inazuma	Deus dos raios	Raios	
	Izanami-No-Kami	O criador	Trovões	
	Kamo-Wake-Ikazuchi	Deus da chuva	Chuvas	
	Karai-Shin	Deus dos raios	Raios	
	Kura-Okami-No-Kami	Deus da chuva	Chuva, Neve	

	Raijin	Deus do tempo	Raios, trovões, tempestades e chuvas	Nome genérico dado a vários deuses do tempo
	Ryujin	Deus do tempo	Raios, trovões, tempestades e chuvas	Tinha a forma de um dragão
	Shina-Tsu-Niko	Deus dos ventos	Ventos, dispersão do nevoeiro matinal	A essa divindade é atribuída uma façanha ocorrida no século XIII, quando o exército de Gengis Khan foi impedido de avançar devido aos fortes ventos que sopravam
	Taka-Okami-No-Kami	Deus das chuvas	Chuvas	Era considerado o causador das chuvas nas montanhas
	Take-Mika-Dzuchi-No-Kami	Deus das tempestades	Tempestades, trovões e chuvas	
Yakut	Yina'mna'ut	Espirito do nevoeiro e da neblina	Frio, bruma e neblina.	Seu nome, na linguagem local, significa Homem da Neblina. Apresenta uma versão feminina chamada de Yina'mtian
	Yina'mtian	Espirito do nevoeiro e da neblina	Frio, bruma e neblina	Seu nome significa Mulher da Neblina. Apresenta uma versão Masculina chamada de Yina'mna'ut
Yoruba	Sango	Deus do trovão	Trovões	Representado por um carneiro, cujo berro era o som

				dos trovões
	Shango	Deus da tempestade	Tempestades, raios e trovões	
Zapoteca	Cocijo	Deus da chuva	Chuva	
Zulu	Inkanyamba	Divindade das tempestades	Tempestades e tornados	Os tornados eram considerados pelo povo Zulu como grandes serpentes que desciam dos céus para a Terra, sob ordem dessa divindade

ANEXO II:

Tornados, trombas-d'água, gustnados e nuvens funis considerados nesse estudo, com as respectivas fontes da informação¹⁷¹⁸ (dados agrupados pelo autor)

Municípios atingidos	UF	Dia	Mês	Ano	Fenômeno	Fontes e informações adicionais
São José dos Campos	SP	7	03	1877	Tornado	Relato de ventos rotacionais que derrubou um vagão para fora dos trilhos Fonte: Gazeta de Campinas - 11 de Março de 1877
Botucatu, Piracicaba, Limeira, Mogi-Mirim e Penha do Rio do Peixe (atual Itapira)	SP	27	06	1889	Tornado	Em alguns trechos deixou um visível rastro de destruição com largura de 60 metros. Danos em prédios e vegetação. Fonte: Boletim da Comissão Geographica e Geológica do Estado de São Paulo, 1890
Lençóis e Araras	SP	25	09	1898	Tornado	Danos a residências. Relato de homem ferido ao ser atirado a metros do cavalo que montava. Fonte: Boletim da Comissão Geographica e Geológica do Estado de São Paulo, 1899

¹⁷ Datas incertas estão demarcadas com uma interrogação.

¹⁸ Todos os websites citados nas fontes foram checados em maio de 2012 e encontravam-se funcionais.

Ourinhos, Chavantes	SP	14	9	1923	Tornado	Matou 10 pessoas, 100 feridos e inúmeras fazendas destruídas Fonte: http://www.temposeveronobrasil.com/his/c.pdf
Santos	SP	23	2	1957	Tromba-d'água	Ocorrência próxima à ilha de Urubuquiçaba. Não causou danos. Fonte: (NECHET, 2002)
Belém	PA	?	?	1967	Tromba-d'água	Baía do Guajará. Não atingiu a cidade, não causando danos. A data exata da ocorrência é desconhecida. Fonte: (NECHET, 2002)
Lajeado	RS	1	9	1967	Tornado	Matou seis pessoas e deixou quarenta feridos. Grande destruição no centro da cidade. Fonte: (MARCELINO, 2003)

Ilha de Fernando de Noronha	PE	?	?	1968	Tromba-d'água	Presenciada por observador meteorológico. Não chegou a adentrar a faixa litorânea da ilha, portanto, não causou danos. A data exata da ocorrência é desconhecida Fonte: (NECHET, 2002)
Jacareacanga	PA	?	?	1975	Tornado	Eixo de rotação observado por um meteorologista próximo ao aeroporto. A data exata da ocorrência é desconhecida Fonte: (NECHET, 2002)
Santa Maria	RS	5	12	1975	Nuvem Funil	Fotografado por funcionários da Estação Meteorológica local. Não tocou o solo. Fonte: (NECHET, 2002)
Alvorada	RS	?	?	1976	Tornado	Destruiu terminal de empresa de ônibus e residências próximas. Fonte: (MARCELINO, 2003)

Guarujá do Sul	SC	8	8	1976	Tornado	Ventos muito fortes. Destruição espacialmente localizada, mas severa. Fonte: (MARCELINO, 2003)/
Porto do Moz	PA	?	?	1977	Tornado	Pequenas árvores derrubadas, galhos retorcidos e vegetação arrancada do solo. A data exata da ocorrência é desconhecida. Fonte: (NECHET, 2002)
Santarém	PA	?	?	1977	Tornado	Árvores retorcidas e arrancadas. Testemunhas afirmam ter ouvido um barulho ensurdecedor. A data exata da ocorrência é desconhecida. Fonte: (NECHET, 2002)
Bom Jardim da Serra	SC	28	1	1977	Tornado	Danos diversos às habitações. Fonte: (MARCELINO, 2003)/

Guaíba	RS	?	?	1978	Tornado	Destruição de casas, pavilhões industriais. Arrancou árvores e postes. A data exata da ocorrência é desconhecida. Fonte: (MARCELINO, 2003)
Belém	PA	8	7	1984	Tornado	Passou próximo ao aeroporto, destelhando parcialmente o setor de cargas, além de destruir um conjunto de antenas. Fonte: (NECHET, 2002)
Maravilha	SC	8	10	1984	Tornado	10 mortes e centenas de feridos. Muitos danos materiais Fonte: (MARCELINO, 2003)
São Paulo	SP	17	2	1985	Tromba-d'água	Evento registrado sobre a Represa de Guarapiranga. O Jornal Folha de São Paulo de 18 de Fevereiro de 1985 relata danos relacionados ao sistema de tempestade em diversos outros pontos da cidade.
São Joaquim	SC	13	5	1987	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)

Planalto	PR	15	5	1987	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Piedade	SP	31	5	1987	Tornado	Telhados danificados Fonte: (MARCELINO, 2003)
Xanxerê	SC	7	7	1987	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Indaial	SC	15	10	1987	Tornado	Danos à vegetação e em residências. Fonte: (MARCELINO, 2003)
Belém	PA	?	?	1988	Tornado	A data exata da ocorrência é desconhecida. Fonte: (NECHET, 2002)
Ivinhema	MS	31	8	1989	Tornado	Matou 16 pessoas, destruiu a instalação de um clube onde estavam 400 pessoas, deixando vários feridos. Atingiu o centro da cidade Fonte: (MARCELINO, 2003)
São Carlos, Xanxerê	SC	11	11	1989	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Correia Pinto, Garuva	SC	24	11	1989	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)

São Bernardo do Campo	SP	26	4	1991	Tornado	Virou uma fileira de 20 caminhões com peso médio de 25 toneladas cada. Atingiu o centro da cidade Fontes: (NECHET, 2002) e Jornal Folha de São Paulo (Edição de 28 de abril de 1991)
Itu, Salto, Tietê, Porto Feliz, Cabreúva, Indaiatuba	SP	30	9	1991	Tornado	Atingiu a periferia da cidade de Itu, onde causou a morte de quinze pessoas. Também deixou saldo de 176 feridos, 280 casas destruídas, além de 5 indústrias, 3 escolas, 2 postos de gasolina, um hotel e 20 torres de alta tensão derrubadas. Um veículo, cujos ocupantes faleceram, foi encontrado a 700 metros de distância da estrada por onde circulava. .. Fontes: (NECHET, 2002) e Jornal Folha de São Paulo (Edição de 02 de outubro de 1991)
Bauru	SP	30	11	1991	Tornado	Deixou uma trilha de 18 Km de comprimento, por 500 metros de largura. Fonte: (NECHET, 2002)

Palmeira, Curitiba, Almirante Tamandaré	PR	17	5	1992	Tornado	Morreram 6 pessoas, 33 feridas e 500 casas destruídas. Fontes: (NECHET, 2002)
Cachoeira Paulista	SP	10	3	1993	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Ribeirão Preto	SP	13	5	1994	Tornado	3 mortes, muitos prejuízos. Acompanhado de granizo Fonte: (NECHET, 2002)
Bauru	SP	14	5	1994	Tornado	Fonte: (HELD et al, 2010)
Ribeirão Preto	SP	14	5	1994	Tornado	Registros audiovisuais mostram danos condizentes com a passagem de um tornado. População relatou ter presenciado a formação de funil. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=FJ3akAztJRk
Benedito Novo	SC	9	1	1995	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
?	PA	20	9	1995	Tromba-d'água	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Paraíso	SC	24	9	1995	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)

Campinas	SP	28	11	1995	Tornado	Danos significativos à árvores e postes no distrito de Barão Geraldo Fonte: http://culturaespacial.com/2007/11/02/tornado-em-barao-geraldo/
Rio dos Cedros	SC	28	11	1995	Tornado	Destelhamento de residências e queda de muros. Fonte: (MARCELINO, 2003)
Ilha de São Francisco do Sul	SC	27	1	1996	Tromba-d'água	Ocorrência na Praia Grande às 14:30h. Não causou danos. Fonte: (NECHET, 2002)
Meleiro	SC	27	2	1996	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Ilha de São Francisco do Sul	SC	27	7	1996	Tromba-d'água	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Itapoá	SC	2	2	1997	Tromba-d'água	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Piçarras	SC	7	2	1997	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)

Nova Laranjeira	PR	13	6	1997	Tornado	72 feridos, quatro mortos. Um dos corpos foi atirado pelo vento contra um muro a 50 metros de distancia Fonte: http://www.deolhono-tempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondonia-ignora.html
Ananindeua	PA	9	8	1997	Tornado	140 casas atingidas, sendo que 40 casas foram completamente destruídas. Fonte: (NECHET, 2002)
Abdon Batista	SC	7	2	1998	Tornado	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Jundiaí	SP	29	3	1998	Tornado	Ocasionou a morte de uma pessoa Fontes: Jornal O Estado de SP (edição de 30 de março de 1998) e http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/24134.gif
Francisco Beltrão	PR	4	10	1998	Tornado	Torres de transmissão derrubadas. Metal retorcido. Fonte: (NECHET, 2002)

Portel	PA	?	?	1999	Tromba-d'água	Atingiu somente a água,, sem causar danos. A data exata da ocorrência é desconhecida. Fonte: (NECHET, 2002)
Joinville	SC	31	1	1999	Tornado	Deixou rastro de destruição ao longo de sua trilha de deslocamento. Fontes: (MARCELINO, 2003)
Osório	RS	13	2	1999	Tornado	Posto de combustíveis destruído, árvores arrancadas e retorcidas. Imóveis destruídos Fonte: http://www.deolhono tempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondnia-ignora.html
Ponta Porã	MS	26	10	1999	Tornado	Resultou em um morto e 13 feridos. Atingiu área rural e arrastou um ônibus escolar. Fonte: (NECHET, 2002)
Santarém	PA	1	11	1999	Tornado	Destruição de imóveis e da rede elétrica por uma extensão de 500 metros. Fonte: (NECHET, 2002)

Forquilha	SC	24	11	1999	Tornado	Cinco casas completamente destruídas. Oito pessoas feridas. Fontes: (MARCELINO, 2003)
Florianópolis	SC	23	2	2000	Tromba-d'água	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Itapoá	SC	1	3	2000	Tromba-d'água	Trinta casas danificadas. Queda de árvores e torres de energia. Fonte: (MARCELINO, 2003)
Viamão	RS	11	10	2000	Tornado	Uma morte e destruição compatível com um tornado F3. Muitas outras tempestades formaram-se na região, dando origem a tornados em, pelo menos, 5 cidades do RS. Fonte: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?reg=4&p_secao=12
Bacia de Campos	RJ	3	5	2001	Tromba-d'água	Observado de uma plataforma de petróleo. Fonte: (MARCELINO, 2003)

Santa Bárbara d'Oeste - Sumaré - Americana e Campinas	SP	4	5	2001	Tornados	Multiplos tornados atingiram a região metropolitana de Campinas Fontes: Jornal TodoDia (edição de 5 de maio de 2001) e http://www.deolhono tempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondonia-ignora.html
Rio de Janeiro	RJ	24	5	2001	Tromba-d'água	Fonte: (MARCELINO, 2003)
Viamão	RS	20	7	2001	Tornado	Tornado atuou de forma muito localizada. Fonte: (MARCELINO, 2003)
São Sebastião	SP	16	2	2002	Tromba-d'água	Fonte: (MARCELINO, 2003)

Colina - Barretos - Orlândia – São Joaquim da Barra - Franca	SP	23	9	2002	Tornado	Esse tornado tocou o solo na cidade de Colina e passou pelos municípios de Barretos, Orlândia e São Joaquim da Barra, seguindo posteriormente para a região sul de MG, onde se dissipou. Queda de árvores, postes e torres de energia causaram queda de energia em 11 cidades. Os ventos superaram 140 km/h Fonte: Revista Época (edição 227)
São Sebastião de Uatumã	AM	10	11	2002	Tromba- d'água	Fonte: http://www.sbmet.org.br/publicacoes/bol-etim/pdf_html/Boletim272.pdf
São Francisco de Paula	RS	8	7	2003	Tornado	Um morto e 50 feridos. Casas destelhadas e destruídas. Ventos superiores a 300 km/h Fonte: http://www.deolhono-tempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondonia-ignora.html

Antônio Prado	RS	11	12	2003	Tornado	Danos compatíveis com intensidade F3. Destruição de 1 Km de extensão, por 200 metros de largura. Morte de 5 pessoas. Fonte: http://www.esteditora.com.br/correio/4881/4881.htm
Palmares do Sul	RS	11	1	2004	Tornado	Derrubou postes e destelhou casas. Fonte: (MONTEIRO et al., 2004)
Santos	SP	29	3	2004	Tromba-d'água	Fonte: http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u92096.shtml
São Paulo	SP	19	04	2004	Tornado	Danos lineares limitados à proximidade do Yatch Club de SP, na Represa de Guarapiranga. Embarcações danificadas e árvores derrubadas. Fonte: http://www.popa.com.br/diversos/ycsa.htm
Saquarema	RJ	15	5	2004	Tornado	Fonte: http://adapt.cptec.inpe.br/modelagem.shtml

Ribeirão Preto	SP	22	5	2004	Tornado	Ocorrido de madrugada. Danos intensos. Fonte: (HELD et al, 2010)
Lençóis Paulista	SP	25	5	2004	Tornado	Destruição de propriedades e plantações. Fonte: http://martedpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sb/sr/2004/11.19.13.31.09/doc/2819.pdf
Palmital	SP	25	5	2004	Tornado	Destruição de propriedades e plantações, tombou um ônibus, deixando 4 mortos e 25 feridos. Fonte: http://www.deolhonotempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondonia-ignora.html
Passo Fundo	RS	19	12	2004	Gustnado	Destelhamento de casas e quebra de galhos de árvores. Fonte: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=28&cod_texto=37

Criciúma	SC	3	1	2005	Tornados	Destruição de casas, afetando o centro da cidade. Queda de muros e árvores arrancadas. Dois tornados foram vistos simultaneamente Fonte: http://www.deolhono tempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondonia-ignora.html
Campinas	SP	5	1	2005	Tornado	Fonte: http://www.tempodofim.com/un/2005-01-06-noticia1.htm
Xanxerê	SC	17	1	2005	Nuvem Funil	Atingiu o solo rapidamente, causando poucos danos. Fonte: http://alturl.com/7at9y
Rio de Janeiro	RJ	21	2	2005	Tromba-d'água	Fonte: (CARDOSO et al. 2010)
Piracicaba	SP	17	3	2005	Tornado	Atingiu apenas áreas agrícolas. Capturado em fotografia. Fonte: http://www.geografica.fflch.usp.br/publicacoes/geousp/Geousp23/Artigo_Luci_Hidalgo.pdf

Rio de Janeiro (em Magé)	RJ	18	4	2005	Tromba- d'água	Fonte: http://ultimosegundo.ig.com.br/educacao/tornado+pode+ter+atingido+cidades+em+santa+catarina/n1237621996229.html
Ubatuba	SP	10	5	2005	Tromba- d'água	É provável que tenha atingido o litoral. Fonte: http://gaea-metro.blogspot.com/2009_09_01_archive.html
Engenho Velho	RS	17	5	2005	Tornado	Casas destelhadas e árvores derrubadas. Fonte: http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u112528.shtml
Santa Bárbara do Sul	RS	20	5	2005	Tornado	Casas destelhadas e árvores derrubadas. Fonte: http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u112528.shtml
Capivari	SP	24	5	2005	Tornado	Danos à residências. Fonte: (HELD et al, 2010)

Indaiatuba	SP	24	5	2005	Tornado	Possivelmente o tornado mais intenso registrado no Brasil, gerou vórtices múltiplos. Fonte: http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u109547.shtml (BERTONI et al., 2010) e http://www.youtube.com/watch?v=cLkLm8wStv0
Macaé	RJ	20	6	2005	Tornado	Atingiu o aeroporto, danificando 6 helicópteros. 20 casas destelhadas e 6 pessoas feridas. Fonte: http://gaea-metro.blogspot.com/2009_09_01_archive.html
Crissiumal	RS	22	6	2005	Tornado	Ventos fortes e muito granizo. Ocorrência registrada as 4h15 da manhã. Fonte: http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1433

Bacia de Campos	RJ	8	8	2005	Tromba-d'água	Fonte: http://gaea-metro.blogspot.com/2009_09_01_archive.html
Muitos Capões	RS	30	8	2005	Tornado	Casas destelhadas e destruídas, árvores derrubadas, além de 16 pessoas feridas. Fonte: http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u112528.shtml
Foz do Iguaçu	PR	10	10	2005	Tornado	Fonte: http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u13851.shtml
Manaus	AM	26	10	2005	Tromba-d'água/Tornado	Iniciou-se como uma tromba-d'água sobre o Rio Amazonas, mas posteriormente deixou a água e atingiu terras emersas. Não causou danos significativos. Fonte: http://wwwdeolhono tempo.blogspot.com

São Joaquim	SC	29	12	2005	Tornado	Atingiu distrito de Boava. Danos limitados à pomares de instalações rurais. Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/ (MARCELINO et al., 2005)
Erebango e Getúlio Vargas	RS	1	1	2006	Tornado	Árvores derrubadas. Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Florianópolis	SC	2	1	2006	Tornado	Fonte: http://www.deolhono tempo.blogspot.com/2007/09/centro-de-pesquisas-de-rondonia-ignora.html
Tibagi (interior do Cãnion Guartelá)	PR	6	1	2006	Tornado	Atingiu área desabitada no interior do Cãnion Guartelá Fonte: http://www.gazetadopovo.com.br/parana/conteudo.phtml?id=526616
Taubaté	SP	8	1	2006	Tornado	Não causou danos significativos. Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/

Martinópolis	SP	12	1	2006	Tornado	Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Ponte Alta	DF	24	1	2006	Tornado	Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
São José dos Campos	SP	24	1	2006	Tornado	Atingiu galpões de indústrias. Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Criciúma	SC	25	1	2006	Tornado	Fonte: http://www.meteored.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Joinville	SC	22	2	2006	Tornado	Pequeno tornado, classificado como F0 Fonte: http://gaea-metro.blogspot.com/2009_09_01_archive.html

Porto Alegre, Mostardas, São Simão	RS	24	2	2006	Tornado	Outbreak de tornados causado pela atuação de um grande sistema convectivo. Fonte: http://www.meteore d.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Macapá	AP	27	2	2006	Tornado	Fonte: http://www.meteore d.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Mundaú	CE	2	3	2006	Tromba-d'água	Fonte: http://www.meteore d.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Porto Alegre	RS	2	3	2006	Tornado	Fonte: http://www.meteore d.com/ram/2543/tornados-en-amrica-del-sur/
Marília	SP	7	3	2006	Tornado	Mais de cem casas afetadas. Fonte: http://www.diariode marilia.com.br/Noticias/36441/Chuva-provoca-cem-ocorrncias-de-danos
Ribeirão Preto	SP	8	3	2006	Nuvem Funil	Não tocou o solo Fonte: http://www.ecopress .org.br/eco+watch/to rnado+baila+no+ar+em+ribeirao+preto

Ubatuba	SP	10	3	2006	Nuvem Funil	Fonte: <a href="http://www.meteore
d.com/ram/2543/tor
nados-en-amrica-
del-sur/">http://www.meteore d.com/ram/2543/tor nados-en-amrica- del-sur/
Sepetiba	RJ	12	3	2006	Tornado	Fonte: <a href="http://www.meteore
d.com/ram/2543/tor
nados-en-amrica-
del-sur/">http://www.meteore d.com/ram/2543/tor nados-en-amrica- del-sur/
Florianópolis	SC	23	3	2006	Tornado	Fonte: <a href="http://gaea-
metro.blogspot.com/
2009_09_01_archive
.html">http://gaea- metro.blogspot.com/ 2009_09_01_archive .html
Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste	SP	29	3	2006	Tornado	Destruição de casas, árvores arrancadas e retorcidas. Atingiu a área urbana das três cidades, derrubando postes e destelhando casas. Múltiplos tornados - Fonte: <a href="http://www.deolhono
tempo.blogspot.com/
2007/09/centro-de-
pesquisas-de-
rondnia-ignora.html">http://www.deolhono tempo.blogspot.com/ 2007/09/centro-de- pesquisas-de- rondnia-ignora.html
Rio de Janeiro	RJ	3	4	2006	Tromba- d'água	Ocorrido na Barra da Tijuca. Foi fotografado por um salva vidas que trabalhava no posto 4 Fonte: (CARDOSO et al. 2010)

Carlos Barbosa	RS	18	12	2006	Tornado	Fonte: http://www.metsul.com/blog/?cod_blog=2&cod_publicacao=74
Capão da Canoa	RS	20	12	2006	Tornado	Fonte: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=39&cod_texto=441
Promissão	SP	19	1	2007	Tornado	150 pessoas desabrigadas - ocorrido de madrugada. Fonte: http://gaea-metro.blogspot.com/2009_09_01_archive.html
Joinville	SC	27	1	2007	Nuvem Funil	Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=df-5mQ7Md1c
Franca	SP	3	2	2007	Tornado	Registrado em vídeo. Tocou o solo por poucos segundos. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=k0ENPZ9g8Jg

Paracatu	MG	14	2	2007	Chuva de animais	Pequenos peixes vivos precipitaram de uma nuvem. Moradores do município presenciaram o fenômeno. Possivelmente tratou-se de um tornado que passou sobre um rio ou lago, de onde retirou os peixes. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=pBaQQiRuDH8
Cascavel	PR	28	2	2007	Tornado	Atingiu o aeroporto da cidade, danificando aeronaves. Relatos dizem que foi a segunda vez que o fenômeno ocorreu no mesmo local. Fonte: http://www.londrix.com.br/noticias.php?id=33402

Peruíbe	SP	9	3	2007	Tornado	80 casas destelhadas e 35 postes derrubados. Moradores relataram terem visto um redemoinho. Aconteceu por volta das 15:30. O ginásio da cidade, de estrutura de ferro, foi parcialmente danificado. Fonte: http://oglobo.globo.com/sp/mat/2007/03/10/294881338.asp
Tubarão	SC	24	3	2007	Tornado	Múltiplos estragos e inúmeros prejuízos em quase todo o perímetro urbano da cidade Fonte: http://www.cenacid.ufpr.br/tubarao.htm
Ji-Paraná	RO	24	9	2007	Tornado	Ventos de aproximadamente 150 km/h deixaram um rastro de destruição com extensão de 2 km. Fonte: http://portalamazonia.globo.com/pscript/noticias/noticias.php?pag=old&idN=58443

Araguari	MG	29	9	2007	Tornado	Evento filmado por moradores. Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tornado_em_Araguari_MG_29_set_2007_18_h.JPG e http://www.youtube.com/watch?v=Fzt9gXt1whs - e http://videolog.uol.com.br/video.php?id=268292
Ronda Alta	RS	20	10	2007	Tornado	Telhados arrancados. Árvores retorcidas. Relato de meteorologista indica situação de cisalhamento provocada pela presença da Corrente do Jato. Fonte: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=28&cod_texto=955
Umuarama, Campo Mourão, Terra boa e Piquirivaí	PR	21	10	2007	Tornado	Casas destelhadas, com telhas atiradas a distancias superiores a 100m. Muitas árvores derrubadas. Fonte: http://www.deolhonotempo.blogspot.com/2007/10/brasil-vendaval-derrubarvores-e.html

Ribeirão Preto	SP	28	10	2007	Tornado	Galhos derrubados de árvores. Moradores testemunharam a presença do redemoinho. 100 ocorrências registradas pela Cia. Energética. Foi acompanhado de granizo. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=hXBW-gFEQmI
Vacaria	RS	28	10	2007	Tornado	Árvores retorcidas em área rural. Mais de 200mm de chuva. Fonte: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=39&cod_texto=959
Campinas	SP	29	10	2007	Tornado	Fonte: http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,MUL164240-5605,00.html
Campinas	SP	1	11	2007	Tornado	Uma morte registrada (árvore tombou sobre veículo no distrito de Barão Geraldo). Fonte: http://culturaespacial.com/2007/11/03/tornado/

Três de Maio	RS	1	11	2007	Tornado	Velocidade do vento estimada em cerca de 200 km/h. Danos severos a residências. Árvores e postes derrubados. Lápides e túmulos do cemitério da cidade foram destruídos. Fonte: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=28&cod_texto=966
Guzolândia	SP	2	11	2007	Tornado	Evento rápido, porém intenso - ocorreu durante a noite. Fonte: http://www.deolhonotempo.blogspot.com/2007/11/brasil-tornado-pode-ter-atingido.html
Campos Novos e Chapecó	SC	13	11	2007	Tornado	Acompanhado de muita chuva e granizo. Destelhou residências. Fontes: http://www.paulotempo.blogspot.com/2007/11/ventania-no-oeste-catarinense-foi-um.html e http://www.ecoeacao.com.br/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=5373

Boa Vista do Buricá	RS	14	11	2007	Tornado	Derrubou varias árvores e um galpão que era utilizado por uma igreja evangélica. Também atingiu varios municipios do Noroeste Gaucho. Fonte: http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=28&cod_texto=970
Maquiné	RS	5	1	2008	Tornado	Foi filmado. Tocou o solo por poucos segundos. Fonte: http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL249612-5598,00.html
Ilha Comprida	SP	17	1	2008	Tromba-d'água/Tornado	Duas formações simultaneas foram fotografadas no litoral. Um deles chegou a atingir a terra. Fonte: http://blog.cronicanet.com.br/tornados-no-litoral-de-sao-paulo/
Morro de São Paulo	BA	26	1	2008	Tromba-d'água	Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=IdecFlO0rx0

Papanduva	SC	1	2	2008	Tornado	Vários prédios destelhados. Prejuízos estimados em 2 milhões de dólares. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/diariocatarinense/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&section=Geral&newsID=a1778712.xml
Salvador	BA	12	2	2008	Tromba-d'água	Formação de pequena tromba-d'água na praia da Paciência, localizada no bairro do Rio Vermelho. Fonte: http://www.apolo11.com/tornados.php?titulo=Tornado_pode_ter_atingido_cidades_em_Santa_Catarina&posic=dat_20090908-144510.inc
Taubaté	SP	14	2	2008	Nuvem Funil	Não tocou o solo. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=pIjpltsvMmI

Tubarão	SC	16	2	2008	Tornado	Foi filmado por moradores locais. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/diariocatarinense/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&section=Geral&newsID=a1769689.xml - http://www.metsul.com/blog/?cod_blog=3
Florianópolis	SC	2	3	2008	Tromba-d'água/Tornado	Iniciou-se como tromba-d'água no litoral do município de Governador Celso Ramos. Ao atingir a praia de canasvieiras em Florianópolis, migrou para a terra. Causou poucos danos Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=c1Hy04Bi_wA

Florianópolis	SC	2	3	2008	Tromba-d'água	Tromba-d'água, com intensidade desconhecida, se formou próximo ao município de Governador Celso Ramos e foi até a praia de Canasvieiras em Florianópolis. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/diariocatarinense/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&section=Geral&newsID=a1782792.xml. e http://www.youtube.com/watch?v=c1Hy04Bi_wA
Governador Celso Ramos	SC	2	3	2008	Tornado	Foi registrado em vídeo. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=tZ2Zv93hlW8
Campinas	SP	9	3	2008	Tornado	Foi filmado e fotografado. Não chegou a causar danos. Fonte: http://rotaimpopular.com/2008/03/10/tornado-em-campinas/ e http://www.youtube.com/watch?v=zBoQwXlQIgY

Maringá	PR	21	4	2008	Tornado	Tornados acompanharam forte queda de granizo em diversas áreas da região. Fonte: (CANDIDO et al., 2008)
Cesário Lange	SP	22	4	2008	Tornado	Fonte: http://gaea-metro.blogspot.com/2009_09_01_archive.html
Fortaleza	CE	5	5	2008	Tornado	Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=8cO6mdONh9U
Santarém	PA	10	6	2008	Tromba-d'água/Tornado	Foi filmado. Iniciou se como uma tromba-d'água sobre o Rio Amazonas. Em seguida rumou para terras emersas, onde causou poucos danos. Fonte: http://portalnoticiasbrasil.blogspot.com/2008/06/santarm-pa-tornado-assustam- moradores.html
São Luis	MA	26	6	2008	Tornado	Atingiu zona rural derrubando arvores. Durou somente 5 minutos. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=uIA5G59ds4s

Pareci novo	RS	10	9	2008	Tornado	Mais de metade das casas do bairro de Hortêncio foram destelhadas. Fonte: http://www.fatonovo.com.br/ler.php?id=2165&ed_id=&PHPS ESSID=5bc4aceb14dde475dd0c2ecd516f9af4
Tabaí	RS	10	9	2008	Tornado	Virou diversos carros ao cruzar a rodovia BR-386 Fonte: http://geografiaeduc.blogspot.com/2008/09/tornado-causa-estrago-em-vrias-cidades.html
Sete cidades do RS	RS	11	9	2008	Tornado	Outbreak de tornados atingindo ao menos 7 municípios. Fonte: http://www.metsul.com/blog-24hs/?cod_publicacao=397 e (CPTEC, 2008b)
Bambuí	MG	26	9	2008	Tornado	Árvores com troncos retorcidos. Animais mortos e feridos. Casas destelhadas e granizo. Fonte: http://aleosp2008.wordpress.com/2008/09/27/vendavais-atingem-bambui-e-sao-joao-del-rei-mg/

São João del Rei	MG	26	9	2008	Tornado	Árvores com troncos retorcidos. Casas destelhadas e granizo. Fonte: http://aleosp2008.wordpress.com/2008/09/27/vendavais-atingem-bambui-e-sao-joao-del-rei-mg/
Abelardo Luz	SC	24	10	2008	Tornado	Na verdade foram dois tornados isolados. O primeiro ocorreu por volta das 17 horas (com registro em vídeo), e o segundo, mais destrutivo, às 20 horas. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/blog/jsp/default.jsp?source=DYNAMIC,blog.BlogDataServer,getBlog&uf=&local=&template=3948.dwt&section=Blogs&post=116510&blog=245&coldir=1&topo=3994.dwt

Canoinhas	SC	26	10	2008	Tornado	Atingiu uma área do município conhecida como "Pedreirinha", quebrando várias árvores ao meio, deixando um rastro linear. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/diariocatarinense/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&section=Geral&newsID=a2268263.xml
Cachoeira Paulista	SP	6	11	2008	Tornado	Embora inicialmente tenha sido classificado como downburst, os danos registrados e a trajetória errante, limitada a faixas de pequena extensão, com presença de galhos retorcidos indicam que setores situados à margem direita do rio Paraíba foram atingidos por um tornado. As demais áreas foram atingidas por downbursts relacionados ao Sistema convectivo de mesoescala formado nesta ocasião. Fonte: (CPTEC, 2008a) e http://g1.globo.com/VCnoG1/0,,MUL865173-8491,00.html

Rio Pardinho	RS	8	11	2008	Tornado	Tornado originado de supercelula formada sobre a região no final da tarde. Causou danos a 30 casas. Comprometeu severamente plantações de fumo. Fonte: http://www.mi.gov.br/comunicacao/clipping/corpo.asp?id=49969 http://www.gazetado-sul.com.br/arquivos/pdf/218961.pdf
Itupeva	SP	15	11	2008	Tornado	Destruiu uma creche, mas não houve vítimas, pois o prédio estava vazio no momento da ocorrência. Fonte: http://www.jornaldeitupeva.com.br/noticia_reg.php?id=081115201706 e http://www.itupevaonline.com.br/noticia.php?canal=4&id=1190
Coração de Maria	BA	30	11	2008	Tornado	Deixou 4 feridos e 300 desabrigados. Fonte: http://ibahia.globo.com/plantao/noticia/default.asp?id_noticia=193140&id_secao=31

Sidrolândia	MS	10	12	2008	Tornado	Foi registrado em filme. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=_H5RnMfb4Qs
Porto Alegre	RS	24	12	2008	Nuvem Funil	Fotografada a partir do Aeroporto Salgado Filho Fonte: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/metroclima/default.php?reg=18&p_secao=8#
Lins	SP	25	12	2008	Tornado	Foi filmado por moradores. Fonte: http://sptv.globo.com/Sptv/0,19125,LP00-6147-20081226-332511,00.html
Santa Vitória do Palmar	RS	25	12	2008	Tornado	Foi fotografado. Fonte: http://www.metsul.com/blog/?cod_blog=1&cod_publicacao=118
Urupema	SC	31	12	2008	Tornado	Fonte: http://www.clicrbs.com.br/diariocatarinense/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&section=Geral&newsID=a2434714.xml

Rodovia Castelo Branco	SP	20	1	2009	Tornado	Foi registrado em filme. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=kVEVwxiNEgk
Dourados	MS	27	1	2009	Nuvem Funil	Fonte: http://www.deolhono tempo.blogspot.com/2009/01/nuvem-funil-e-registrada-em-dourados-ms.html
Sombrio	SC	31	1	2009	Tornado	Destelhamentos, queda de postes e árvores. duração de um a dois minutos e atingiu apenas um setor da cidade. Fonte: http://www.blumenopolis.com.br/archives/3751
Euzébio	CE	11	2	2009	Tornado	Danificou a estrutura de dois galpões de empresas locais. Foi Filmado. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=hrHJI I8Rbnc
São José do Rio Preto	SP	14	2	2009	Tornado	Foi registrado em filme. Sem danos significativos. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=ATI9g6hgqto

Blumenau	SC	22	2	2009	Tornado	Foi registrado em filme. Destelhou algumas casas. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=8ZqadrVUkcs
Buri	SP	1	3	2009	Tornado	Tornado classificado como F1. Não provocou danos relevantes. Registrado em filme. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=kIj6GtVLBzo&feature=related
Ponta Alta e Turvo	SC	8	3	2009	Tornado	Cerca de 500 residências afetadas. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/blog/jsp/default.jsp?source=DYNAMIC,blog.BlogDataServer,getBlog&uf=2&local=18&template=3948.dwt&section=Blogs&post=157723&blog=245&colDir=1&topo=3994.dwt
Sobradinho	DF	15	3	2009	Nuvem funil	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=1kX2wA1k_WY

São Paulo	SP	23	3	2009	Tornado	Tornado atingiu o bairro de Moema. Não houve registro de danos. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=9lJhoiLEmvg&feature=related
Rio Grande	RS	27	3	2009	Tornado	Sem danos registrados. Apesar de ter sido um evento de média proporção (F2) não atingiu nenhuma estrutura urbana ou rural. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=9bxQ7wZDCGM e http://www.youtube.com/watch?v=aAHI2arc-w8
Lago dos Patos	RS	28	3	2009	Tromba-d'água	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=5GhDkqaDJaM
Itatira	CE	7	4	2009	Tornado	Foi filmado Fonte: http://wbelem.blogspot.com/2009/04/tornado-causa-medo-em-moradores-de.html

Rio de Janeiro	RJ	21	4	2009	Tromba- d'água	Visto da praia de Ipanema e Barra da Tijuca Fonte: http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1092814-5606,00-TROMBA+DAGUA+ASSUSTA+MOTORISTAS+NA+AUTOESTRADA+LAGOA+BARRA.html
Rio de Janeiro	RJ	6	6	2009	Tromba- d'água	Registrado em vídeo. Fonte: http://rjtv.globo.com/Jornalismo/RJTV/0,,MUL1185707-9099,00-TROMBA+DAGUA+IMPRESSIONA+MORADORES+E+PEDESTRES+NA+PRAIA+DA+BARRA+DA+TIJUCA.html
Ampére	PR	29	6	2009	Tornado	Registrado em vídeo. Danos intensos na área atingida. Fonte: http://aleosp2008.wordpress.com/2009/07/02/tornado-em-ampere-pr-causa-destruicao-e-panico-2906/ e http://www.youtube.com/watch?v=cqmWJUA79T4

Leme	SP	1	7	2009	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=Jfz_Sx0w0Yk
São João da Urtiga	RS	1	8	2009	Tornado	Chuva durou cerca de oito minutos, mas destruiu casas, arrancou postes e deixou a cidade sem luz. Quinze postes em sequência caíram sobre a estrada, deixando parte da cidade sem luz. Outros 15 postes caíram em vários pontos da cidade. No centro cerca de 20 casas e fábricas tiveram destelhamentos parciais. Fonte: http://zerohora.clicrb.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&section=Geral&newsID=a2603360.xml
Guaraciaba	SC	7	9	2009	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.canoinhas.net/noticias/15709.html?task=view
Salto Veloso	SC	7	9	2009	Tornado	Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=YmSj74N_w4Q

**Diversas cidades das
Regiões Sul e Sudeste do
Brasil, Norte da
Argentina, Sul do
Paraguai e Uruguai**

8 9 2009 Tornados

Outbreak com
tornados no Norte
do Uruguai, Rio
Grande do Sul,
Santa Catarina,
Paraná e Misiones
(Argentina).

Topos de nuvem tão
frios que
estrapolaram a
gradação das
imagens de satélites.
Segundo o Serviço
meteorológico
Nacional da
Argentina, houve a
formação de um
tornado F4.

Deixou 10 mortos
em San Pedro
(Argentina),
próximo de
Guaraciaba no oeste
catarinense, onde
também registrou-se
4 mortes.

Fonte:

<http://oglobo.globo.com/cidades/mat/2009/09/08/ventos-passam-de-100-km-e-deixam-4-mortos-mais-de-60-feridos-no-sul-do-pais-767516658.asp>

Tupanci do Sul	RS	22	9	2009	Tornado	Análise de danos indicam evento tornádico Fonte: http://www.clicrbs.com.br/blog/jsp/default.jsp?source=DYNAMIC,blog.BlogDataServer,getBlog&uf=1&local=1&template=3948.dwt&section=Blogs&post=23154&blog=768&coldir=1&topo=3994.dwt
Araranguá	SC	28	9	2009	Tornado	Imagens de radar indicam atividade tornádica. Fonte: http://img97.imageshack.us/img97/5493/445p.jpg e http://www.engeplus.com.br/conteudo.php?int=noticia&codigo_not=17009
Ampére	PR	14	10	2009	Tornado	Houve muito prejuízo e uma morte na região. Fonte: http://www.rpctv.com.br/paranaense/video.phtml?Video_ID=61867&Programa=paranatv1edicao

Matelândia	PR	14	10	2009	Tornado	500 casas destelhadas, dois silos destruídos, dois centros comunitários com paredes derrubadas e telhados arrancados, postes derrubados, queda de centenas de árvores, vidros estourados e ventos entre 150 e 200 km/h. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=YkGdrkTD5K4
Medianeira	PR	14	10	2009	Tornado	Evento de grande porte. Registrado em vídeo. Fonte: http://www.rpctv.com.br/paranaense/video.phtml?Video_ID=62428&Programa=paranatv1edicao E http://www.youtube.com/watch?v=-AJDTHzWvMw
Passo Fundo	RS	14	10	2009	Nuvem Funil	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=k-2Wm6rVYWc

Pontão e Espumoso	RS	14	10	2009	Tornado	Duração de dois minutos. Causou intensos. O prefeito do município de Pontão relatou que o vento atingiu 300 a 400 m de largura deixando um rastro de destruição pela cidade. Fonte: http://www.metsul.com/blog/?cod_blog=1&cod_publicacao=129 (post de 16/10/2009)
Ilha Solteira	SP	19	10	2009	Tornado	Atingiu área rural. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=TkXWBwgizVI
Glória de Dourados	MS	22	10	2009	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=Ehta9koAGvs
Charqueadas	RS	25	10	2009	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=i_obh8vjOEU
Pirassununga	SP	10	11	2009	Nuvem Funil	Fotografada à partir do campus da USP de Pirassununga. Fonte: http://www.temposeveronobrasil.com/nws/1/nw2009n.htm

Litoral e interior gaúcho	RS	11	11	2009	Tornado	Forte sistema gerador de tempestades que deixaram mais de 50 cidades em estado de emergência. Outbreak de tornados ocorreu em conjunto com o sistema, causando mortes e devastação. Fonte: http://www.climatempo.com.br
Vacaria e Bom Jesus	RS	13	11	2009	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&section=Geral&newsID=a2718181.xml
Palmares	PE	13	11	2009	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=KxGd1e6vD7I
Charqueadas	RS	19	11	2009	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=374rHjZV2OQ

Três de Maio	RS	24	11	2009	Tornado	Ventos fortes e danos característicos. É reforçado pelo sistema de alta instabilidade que se instalou sobre o Norte da Argentina no dia. Fonte: http://www.clicrbs.com.br/blog/jsp/default.jsp?source=DYNAMIC,blog.BlogDataServer,getBlog&uf=1&local=1&template=3948.dwt&section=Blogs&post=251000&blog=245&coldir=1&topo=3951.dwt
Londrina	PR	27	11	2009	Tornado	Relato na tv local sobre o evento, que foi confirmado como um tornado. Registrado por gravação de celular. Fonte: http://www.casttv.com/video/2chcwc/tornado-em-londrina-video e http://www.youtube.com/watch?v=Cdy5gEZjnGk

Presidente Epitácio	SP	4	12	2009	Tornado	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=qjKkaQmf930
Venâncio Aires	RS	2 e 3	12	2009	Tornados	Centro de baixa pressão provocam tornado em Villa Urquiza, Entre Rios (argentina) e resultam e temporais na região do Rio Grande do Sul. Em Venâncio Aires moradores relatam ter visto um tornado. Também não é descartada a possibilidade de ter ocorrido atividade tornádica na Serra Gaúcha durante a tarde. Fonte: http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/?Noticia=65458
Campo Grande	MS	15	12	2009	Nuvem Funil	Fotografado, foi relatada como tornado nos jornais locais. Fonte: http://www.deolhono tempo.blogspot.com/2009/12/nuvem-funil-e-avistada-em-campo-grande.html

Ponta Grossa	PR	18	12	2009	Nuvem Funil	Filmada por uma motorista, divulgado dia 18 de dezembro. Fonte: http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL1420602-5598,00-NUVEM+FUNIL+E+FLAGRADA+NO+PARANA.html
Charqueadas	RS	20	12	2009	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=cWqNbys6QMg
São Carlos	SP	20	12	2009	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=Oi7zVeUhg8k
Curitiba	PR	21	12	2009	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=DSRFn8ZgHZQ
Dourados	MS	16	1	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=G5O0jUsyL_g http://www.youtube.com/watch?v=CBX2lwo6E1A
São José dos Campos	SP	16	1	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=UxjDwZ7d2fk

Ubatuba	SP	23	1	2010	Tromba- d'água	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=IzinvdTHhEs
Araras	SP	31	1	2010	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=faD9YalDC2Y
Cidade Ocidental	GO	9	3	2010	Tornado	Funis gêmeos registrados em video Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=mOBPSMkM3NM
Ponta Grossa	PR	23	3	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=kTQIwrjnUgY
Dourados	MS	26	4	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=cLvu2l5d1MQ
Paranapanema	SP	18	5	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=k6Q64Wx_F0M
Gramado	RS	22	7	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/?Noticia=171479

Três Lagoas	MS	3	9	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=dPIAnqvWLf4 http://www.youtube.com/watch?v=xYqp6ykkhk
Manaus	AM	14	10	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=0j2rz4f7-KU http://www.youtube.com/watch?v=seEjKJ7HI3A http://www.youtube.com/watch?v=WIYAPni7BIA
Rolândia	PR	26	10	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.apukaonline.com.br/apukaonline1/index.php?option=com_content&view=article&catid=1%3Ageral&id=7016%3Aassista-video-dos-estragos-do-venda-rolandia-qtornadoq&Itemid=64

Uberlândia	MG	5	12	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=qKPRDXQjSHs e http://megaminas.globo.com/2010/12/06/tornado-em-uberlandia-pode-ter-sido-o-primeiro-a-ser-registrado-em-mg-diz-especialista
São José dos Campos	SP	7	12	2010	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=ybktmxCTvhM
Brasília	DF	6	12	2010	Nuvem Funil	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=dIB9aWInjHs
Campinas	SP	13	12	2010	Gustnado	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=ehht5qhacbl
Cascavel	PR	8	1	2011	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=rLia4BpXEtI&feature=related
Londrina	PR	13	1	2011	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=iUEAr103G_c

Nova Iguaçu	RJ	19	1	2011	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=5BXVA_RgdhU
Barra de Camaratuba	PB	24	1	2011	Tromba- d'água	Foi filmada Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=ZPsDuinUX3o
Uirauna	PB	9	3	2011	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=VmdUqLsqDJA e http://www.portaluirauna.com/?p=3907
Pará de Minas	MG	24	3	2011	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=agrHgQgN7cA
Paramoti	CE	14	4	2011	Tornado	Foi filmado Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=30xvZlQgECk&feature=rrelated

ANEXO III

CD ROM CONTENDO MAPA EXIBINDO A SAÍDA DO MODELO, EM ALTA RESOLUÇÃO.

