UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

BRUNO GOMEZ LEGUIZAMON BERTONI

ESTUDOS DE CASO DE TORNADOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, TOPOGRAFIA E ANÁLISE METEOROLÓGICA DESTES EVENTOS ATMOSFÉRICOS NO SUL E SUDESTE DO BRASIL

SÃO PAULO
2013

BRUNO GOMEZ LEGUIZAMON BERTONI

ESTUDOS DE CASO DE TORNADOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, TOPOGRAFIA E ANÁLISE METEOROLÓGICA DESTES EVENTOS ATMOSFÉRICOS NO SUL E SUDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo

Versão Corrigida
(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Bertoni, Bruno Gomez Leguizamon.
Estudos de caso de tornados, uso e ocupação do solo, topografia e análise meteorológica deste eventos atmosféricos no sul e sudeste do Brasil./ Bruno Gomez Leguizamon; orientador : Joel Barbujiani Sígolo. – São Paulo, 2013.
125f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo

1. Topografia. 2. Uso do solo. 3.Tornados I. Título

CORRELAÇÃO ENTRE TORNADOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, TOPOGRAFIA E ANÁLISE METEOROLÓGICA DESTES EVENTOS ATMOSFÉRICOS NO SUL E SUDESTE DO BRASIL

Autor: Bruno Gomez Leguizamon Bertoni

Orientador: Joel Barbujiani Sígolo

São Paulo, _____/_____/_____

Comissão Julgadora

Nome: _____

Instituição: _____

Nome: _____

Instituição: _____

Nome: _____

Instituição: _____

DEDICATÓRIA

Mãe e pai com muito amor, por me dar a vida, por se sacrificarem por mim e por estarem sempre ao meu lado.

Flavia Mazzini Bertoni, por me amar e sempre estar ao meu lado, na saúde e na doença, na tristeza e na alegria.

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a Deus (o Grande Arquiteto do Universo) por dar a vida e produzir este Universo e tudo o que conhecemos.

Agradeço aos meus pais, pelo apoio e incentivo incondicional e pela paciência de todo o nervosismo gerado pela grande quantidade de trabalho exigido em uma dissertação de mestrado.

Minhas irmãs, pelo exemplo de perseverança e força de vontade.

Meu sogro Nilson e minha sogra Roseleine, pela paciência e bondade que me ajudaram muito para a realização deste trabalho.

Tia Bete e Tio Chico pela sabedoria, incentivo e companhia. Vocês são exemplos para nós.

Minha esposa, companheira e amiga. Sem você este trabalho não teria sentido, seu incentivo, seu apoio, seu companheirismo me tornam um homem mais feliz a cada dia.

Meus amigos Bil e Alex, por sua amizade e companheirismo.

Aos colegas e amigos da empresa Hidrostudio Engenharia pelo suporte e principalmente por acreditar no meu trabalho, em especial a sala 101 e 102.

Aos diretores da empresa Hidrostudio Engenharia, Ruy J. Kubota e Aluísio P. Canholi por acreditarem no meu trabalho e especialmente pelo apoio no crescimento de seus funcionários.

Ao meu orientador Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo que agradeço de forma especial por acreditar no projeto sem nenhum momento de hesitação, pelo suporte acadêmico e pela companhia agradável em todos os momentos do trabalho.

A Profa. Dra. Maria Assunção Faus Silva Dias, por transmitir todo seu conhecimento e acreditar no projeto. Suas contribuições foram fundamentais para a realização do mesmo.

Ao Professor Dr. Joseph Harari pelas sugestões ao longo da realização dos comitês de orientação.

Ao Professor Dr. Gerardo Kuntschik pela amizade e o acompanhamento durante o Programa de Aperfeiçoamento ao Ensino realizado no EACH-USP (Usp Leste).

A secretaria de Pós Graduação do Programa de Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, representados pelos Sr (as) Luciano e Julia.

Aos colegas de turma do Programa de Ciência Ambiental do ano de 2010.

A CAPES, o Programa PAE e ao Banco Santander pelo apoio financeiro durante o trabalho.

Ao CPTEC, IPmet, Laboratório MASTER-IAG e REDEMET pela disponibilização dos dados para a realização do trabalho.

A Pró-reitoria de Pós Graduação, pelo apoio no Programa de Mobilidade Internacional na Argentina.

Ao Banco Santander pelo apoio financeiro durante o período do Programa de Mobilidade Internacional.

Aos amigos e colegas da Universidad de Entre Ríos (Argentina), que me acolheram de forma surpreendente e emocionante durante estada na Argentina.

A Professora Dra. Gabriela V. Müller (Universidad de Entre Ríos) pela companhia, amizade e por ser uma pessoa tão acolhedora, nos recebendo de braços abertos em seu país.

A Professora. Dra. Maria Luísa pelo acolhimento, os dados dos tornados na Argentina e pelo presente (contribuição muito valiosa) para os avanços nos estudos de tornados no Brasil.

Aos amigos e colegas da Universidad Católica de Buenos Aires e Universidad de Entre Ríos (Colonia Del Uruguay) pelo acolhimento e pela simpatia.

RESUMO

BERTONI, Bruno Gomez Leguizamon. **Estudos de caso de tornados, uso e ocupação do solo, topografia e análise meteorológica destes eventos atmosféricos no Sul e Sudeste do Brasil.** 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

De acordo com a literatura os tornados são exemplificados como uma violenta coluna de ar giratória, que se forma a partir da base de uma nuvem de tempestade, visualizado como uma nuvem em forma de funil cuja circulação toca o solo. Estes eventos atmosféricos severos causam grandes conseqüências para a sociedade atual e ocorrem com freqüência nas regiões sul e sudeste do território nacional. Diante deste contexto, a presente dissertação tem como objetivo apresentar a análise da ocorrência de tornados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil entre o período de 1960 a 2008 e sua correlação entre topografia e uso e ocupação do solo utilizando imagens de satélites da Agência Européia Espacial (sigla em inglês *ESA – GlobalCover 2009*), além de dados de topografia da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e levantamentos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico). Para a análise dos tornados foram escolhidos quatro municípios (Indaiatuba-SP, Lins-SP, Guaraciaba-SC e São Gabriel-RS) selecionados pela grande recorrência de eventos ocorridos em seus territórios e exaustivamente estudados, caracterizando sua gênese, desenvolvimento e dissipação, indicando seus parâmetros meteorológicos, além da correlação entre seu traçado, intensidade (Escala E-Fujita) e topografia. Foram também analisadas relações de sazonalidade de ocorrência destes eventos e sua concentração espacial. Conclui-se que o uso e ocupação não é um fator substancial na ocorrência de tornados, a maior parte dos eventos ocorrem em regiões de planalto e com poucas variações topográficas e a topografia interfere na intensidade dos eventos aumentado sua escala de estragos em áreas de menor declividade.

Palavras Chave: Tornados, topografia, uso e ocupação do solo, Sul e Sudeste, Brasil

ABSTRACT

BERTONI, Bruno Gomez Leguizamon. **Case studies of tornadoes, land use and occupation, topography and meteorological analysis of these atmospheric events in the southern and southeastern regions of Brazil.** 2013. 125 f. Thesis Master's Dissertation – Graduate Program os Environmental Science, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

According to literature, tornadoes are defined as violently rotating columns of air that are in contact with both the surface of the earth and a cloud, typically in the form of a funnel whose narrow end touches the earth. These severe atmospheric events have drastic consequences for society today and they occur frequently in the southern and southeastern regions of Brazil. In this context, the purpose of this dissertation is to present an analysis of the occurrence of tornadoes in the southern and southeastern regions of Brazil during the period from 1960 to 2008, and how they are related to local topography and land use and occupation. For this analysis, we used satellite images supplied by the European Space Agency (ESA - Global Cover 2009), as well as topographical data from the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) mission and research by the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) and IGC (Geographical and Mapping Institute). Four municipalities were chosen for this analysis (Indaiatuba-SP, Lins-SP, Guaraciaba-SC and São Gabriel-RS), selected because of the significant incidence of tornado events within their territories, which have been exhaustively studied. Their origins, development and dispersion were characterized and their meteorological parameters were established, as was the correlation between their trajectories, intensity (EFujita Scale) and the local topography. Seasonal aspects of the occurrence of these events and their spatial concentrations were also analyzed. We conclude that land use and occupation is not a substantial factor in the occurrence of tornadoes, as most of these events occur in highland regions with small topographical variations, considering that topography interferes in the intensity of the events in the sense that the intensity of these events is increased in flatter areas.

Keywords: Tornadoes, topography, land use and occupation, south and southeastern regions, Brazil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos tornados com base na escala Fujita.... 24

Tabela 2 - Escala *Enhanced* Fujita - Exemplos de danos..... 26

Tabela 3 - Taxas de Destruição segundo EF FUJITA, 2007..... 26

Tabela 4 - ENHANCED F-VENTOS ESCALA..... 27

Tabela 5 - Intensidades de tempestades relacionadas a captação via radar..... 35

Tabela 6 - Eventos abrangidos pela análise de imagens de satélite..... 36

Tabela 7 - Ocorrência de Tornados na regiões SUL e SUDESTE - entre 1960 e 2008..... 47

Tabela 8 - Escalas de tolerância do IBGE..... 57

Tabela 9 - Classes de Uso e Ocupação do Solo e ocorrência de tornados..... 77

Tabela 10 - Classes de Uso e Ocupação do Solo das regiões de ocorrência tornados no Estado de São Paulo..... 78

Tabela 11 - Classificação do Tornado Lins – 25/12/2013 segundo a Escala Enhanced Fujita (2007)..... 91

Tabela 12 - Histograma indicando perfil de cada trecho de passagem do tornado em Guaraciaba – SC..... 104

Tabela 13 - Ocorrência de tornados e correlação com eventos originados na Argentina..... 109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração sobre a dinâmica dos tornados.....21
Figura 2 - Desenvolvimento de um tornado. 22
Figura 3 - Ilustração da estrutura de nuvem do tipo Cumulonimbus.....23
Figura 4 - Demonstração da ocorrência de um tornado.....23
Figura 5 - Escala de ventos associados aos danos causados pelos tornados segundo EF Fujita (2007) 25
Figura 6 - A ocorrência de tornados com diferentes intensidades nos EUA de 06/1950 a 06/ 2003.....29
Figura 7 - A ocorrência de tornados nas regiões da América do Sul, segundo Vesilind (2004) 30
Figura 8 - Exemplo de regiões propícias à ocorrência de tornados em áreas de encostas mais suscetíveis à formação de atividade convectiva (Hipsometria dos municípios de Itapoá, São Francisco do Sul e Florianópolis) 33
Figura 9 - Imagem de Radar captando chuvas intensas na região de São Gabriel - RS.....35
Figura 10 - Imagens satélite GOES 12 - Ilustrando temperatura de topo de nuvens - 24/05/2005 - Tornado Indaiatuba.....37
Figura 11 - Imagens satélite GOES 12 - nos horários 15Z, 1530Z, 1730Z e 18Z - 24/05/2005 - Tornado Indaiatuba.....37
Figura 12 - ÔMEGA - 24/5/2005 - 12:00Z - Data de ocorrência do Tornado Indaiatuba.....39
Figura 13 - Regiões Sul e Sudeste do Brasil - regiões de abragência dos estudos.....41
Figura 14 - Relevo do Brasil.....43
Figura 15 - Climas do Brasil.....45
Figura 16 - Disposição geográfica dos eventos de tornados na regiões SUL e SUDESTE - entre 1960 e 2008.....51
Figura 17 - Análise da sazonalidade da ocorrência de tornados no sul e sudeste do Brasil.....52
Figura 18 - Mapa gerado pelo programa GlobCover – 2009.....53

Figura 19 - Planta correlacionando o uso e ocupação da região atingida pelo tornado e o limite municipal.....53
Figura 20 - Topografia gerada a partir da missão SRTM.....55
Figura 21 - Carta Topográfica 1:10.000 disponibilizada pelo IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico).....57
Figura 22 - Registro de casos de tornados entre 1960 a 2008.....58
Figura 23 - Sazonalidade registrada entre tornados ocorridos no Sul e Sudeste.....59
Figura 24 - Casos de Tornados no Estado de São Paulo.....59
Figura 25 - Casos de Tornados nos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro.....60
Figura 26 - Casos de Tornados no Estado do Paraná.....60
Figura 27 - Casos de Tornados no Estado do Rio Grande do Sul.....61
Figura 28 - Casos de Tornados no Estado de Santa Catarina.....61
Figura 29 - Perfil longitudinal de elevação do relevo associado a geologia do local entre o oeste de Santa Catarina e paranaense.....65
Figura 30 - Localização dos Municípios da Região Administrativa de Campinas atingidos pela forte tempestade em 24 de maio de 2005.....79
Figura 31 - Passagem do tornado em Indaiatuba (SP) em 24/05/2005.....80
Figura 32 - Mosaicos das imagens meteorológicas do canal 4 (infravermelho) dos satélites GOES e METEOSAT nos horários 09Z e 18Z.....80
Figura 33 - Imagens meteorológicas do satélite GOES-12 para a América do Sul nos horários 15Z, 1530Z, 1730Z e 18Z.....81
Figura 34 - Imagens GOES 12 24/05/2005 no período de 16:30Z até o dia 25 no período de 00:00Z.....82
Figura 35 - Mosaico de imagens GOES 12 24/05/2005 ilustrando intensa convecção nas regiões Metropolitana de Campinas.....83
Figura 36 - Traçado do tornado de Indaiatuba de acordo com seu grau de intensidade 86
Figura 37 - Estragos na ocorrência do tornado em Lins.....87
Figura 38 - Imagem realçada – Topos de Nuvens - GOES 10 25/12/2008 - 8:00.....88
Figura 39 - Imagem realçada – Topos de Nuvens - GOES 10 25/12/2008 - 19:45.....88
Figura 40 - Animação Imagem Doppler – Bauru-SP – 25/12/2008 região de Lins-SP.89
Figura 41 - Localização do traçado do tornado em Lins-SP.....90
Figura 42 - Modelo Digital de Terreno - Tornado Lins – 25/12/2013.....91
Figura 43 - Imagem de Radar – REDEMET – Chuvas Intensas – São Gabriel – RS

06/11/2008.....94
Figura 44 - Imagem de Radar – 06-11-2008 – Município de São Gabriel - RS.....95
Figura 45 - Imagem GOES 10 – Visível – Formação de Nuvens na região.....95
Figura 46 - Imagem realçada de topo de nuvem indicando trechos de instabilidades na data e local do evento – São Gabriel – RS – 07/09/2009.....96
Figura 47 - Trajetória elaborada por site especializado na data do ocorrido – MetSul..97
Figura 48 - Perfil Transversal do relevo em relação a passagem do tornado de São Gabriel – RS.....98
Figura 49 - Modelo Digital de Terreno e trajetória do tornado.....98
Figura 50 - Comunidades atingidas e classificação das destruições causadas segundo relatos – Guaraciaba – SC.....100
Figura 51 - Destruição em escola estadual em Guaraciaba - SC, 2009.....101
Figura 52 - Árvores destruídas pelo evento ocorrido em Guaraciaba - SC, 2009.....101
Figura 53 - Árvores totalmente destruídas pelo evento ocorrido em Guaraciaba - SC, 2009.....102
Figura 54 - Imagem realçada GOES 10 – 7/9/2009 – Guaraciaba - SC.....103
Figura 55 - Topografia associado ao traçado do tornado.....104
Figura 56 - Passagem de chuva de grande intensidade (com granizo) na Argentina e no dia seguinte a ocorrência do tornado em Xanxerê - SC.....109
Figura 57 - Passagem de chuva de grande intensidade em Mar Chiquita na Argentina e no mesmo dia a ocorrência de um tornado em Paraíso – SC.....110

LISTA DE PLANTAS

Planta de Regionalização..... 64
Planta de Geomorfologia e Tornados..... 67
Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado de São Paulo..... 69
Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado do Paraná..... 71
Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado do Rio Grande do Sul..... 73
Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado de Santa Catarina..... 75
Planta de Uso e Ocupação do Solo e Tornados..... 77
Planta de Modelo Digital de Terreno..... 88
Planta de Análise do Evento de Lins, SP – Topografia..... 96
Planta de Análise do Evento de São Gabriel, RS – Topografia..... 102
Planta de Análise do Evento de Guaraciaba, SC – Topografia..... 111
Planta de Regionalização de Eventos na região da Lagoa dos Patos – RS 118

LISTA DE SIGLAS

CBERS	Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
dBz	Decibels
DCBD	Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Rural do Estado de Santa Catarina
ESA	European Space Agency
ESRL	Earth System Research Laboratory
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FAO/UNEP	Food Agriculture Organization/United Nations Environment Programme
GLCN	Global Land Cover Network
GOES/TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
GrADS	Grid Analysis and Display System
hPa/s	Pascal por segundo
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IpMet	Instituto Paulista de Meteorologia
MASTER IAG	Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais
MetSul	Meteorologia blog
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NGA	National Geospatial Intelligence Agency
NO	NOROESTE
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

NSSL	National Severe Storms Laboratory
ONU	Organização das Nações Unidas
REDEMET	Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 21
2.1 Estudos sobre ocorrência de tornados no Brasil..... 30
2.2 Relações do trajeto do tornado com a configuração do relevo..... 32
3. METODOLOGIA..... 34
3.1 Caracterização das tempestades severas locais que originaram os tornados..... 34
3.1.1 Boletins Climanálise e identificação de padrões atmosféricos (escala sinótica) associados aos tornados..... 34
3.1.2 Imagens de Radar..... 35
3.1.3 Imagens de Satélite..... 36
3.1.4 Dados de reanálise..... 38
3.2 Análise da gênese, do desenvolvimento e da dissipação dos tornados ocorridos nas regiões Sul e Sudeste nos últimos 30 anos utilizando programas de informática, imagens de satélites, dados atmosféricos registrados em estações meteorológicas e relatos vinculados a mídia..... 40
3.3 Caracterização da área de estudo..... 42
3.3.1 Geomorfologia..... 42
3.3.2 Clima..... 44
3.3.3 Geologia..... 46
3.4 Levantamento de Tornados no Sul e Sudeste do Brasil..... 47
3.5 Análise da sazonalidade de ocorrência dos tornados no Brasil..... 52
3.6 Caracterização dos tipos de relevo e uso/cobertura do solo mais propícios às ocorrências de tornados..... 53
3.7 Topografia..... 54
3.7.1 Método de Elaboração dos Mosaicos..... 57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 59
4.1 Sazonalidade dos eventos de tornados no sul e sudeste brasileiro..... 59
4.2 Regionalização da ocorrência de tornados no Brasil..... 63
4.3 Relação entre tornados e características geomorfológicas..... 66
4.4 Tornados e topografia..... 68

4.4.1 Tornados e topografia – Estado de São Paulo..... 68
4.4.2 Tornados e topografia – Estado do Paraná..... 70
4.4.3 Tornados e topografia – Estado do Rio Grande do Sul..... 72
4.4.4 Tornados e topografia – Estado de Santa Catarina..... 74
4.5 Uso e ocupação do solo e formação de tornados..... 76
4.5.1 Uso e ocupação do e formação de tornados no estado de São Paulo..... 78
4.6 Análises das Dinâmicas Atmosféricas, Caracterização dos Eventos e Relação entre Topografia e os tornados..... 79
4.6.1 Indaiatuba-SP - data de ocorrência 24/05/2005 por volta das 17h:35min – Distrito Industrial trecho sudeste na passagem próxima a linha férrea e a Rodovia Eng. Ermênio de Oliveira Penteado..... 79
4.6.1.1 Análise da trajetória do Tornado Indaiatuba..... 87

4.7 Lins – SP - data de ocorrência 25/12/2008 por volta das 19:51 – Fazenda Santa Luiza próxima a estrada Vicinal Lins-Guaimbê..... 90
4.7.1 Análise da trajetória do Tornado Indaiatuba..... 93
4.8 São Gabriel – RS - data de ocorrência 06/11/2008..... 97
4.8.1 Análise da trajetória do Tornado em São Gabriel – RS..... 99
4.9 Guaraciaba – SC - data de ocorrência 07/09/2009..... 103
4.9.1 Análise da trajetória do Tornado em Guaraciaba-SC..... 108
4.10 Análise dos dados de caracterização meteorológica e padrões sinóticos associados a ocorrência de tornados..... 112
4.11 Análise de eventos ocorridos na Argentina e possível relação de tornados ocorrências no território brasileiro..... 113
5. CONSIDERAÇÕES NÃO CONCLUSIVAS..... 117
6. CONCLUSÕES..... 119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 120
ANEXOS.....126

1. INTRODUÇÃO

A interação entre a superfície terrestre e a atmosfera é constante (ROCHA, 2004). A influência dos diferentes tipos de eventos atmosféricos na atividade humana define o comportamento e podem alterar de maneira expressiva as atividades cotidianas da população em geral. Nas últimas décadas, houve um aumento na freqüência e na intensidade dos desastres naturais em todo o mundo (MARCELINO et al., 2006).

A configuração climática tem grande relevância para a organização do espaço, principalmente à medida que a sociedade depende diretamente das variáveis ligadas ao clima e seus impactos decorrentes.

Os estudos de ocorrência de eventos severos climáticos no Brasil ganham cada vez mais importância, devido à gravidade dos impactos que tais eventos podem gerar, sejam ambientais, sócio-econômicos e de vidas humanas.

Os fenômenos atmosféricos de grande intensidade estão associados à dinâmica atmosférica própria, gerada naturalmente. Marcelino (2003) afirma que os fenômenos têm relação com sua origem, agrupando-os nas formas meteóricas hídricas (chuva, neve e nevoeiro), mecânicas (tornados) e elétricas (raios e relâmpagos). Esses eventos podem ser considerados desastres naturais quando, na sua ocorrência, geram danos socioeconômicos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Diante desse cenário os eventos atmosféricos passam a ter grande destaque quanto a sua prevenção ou antecipação de ocorrência. Entre os eventos de tempo severo encontram-se os tornados, cujo potencial de destruição é de grande relevância. De acordo com os estudos realizados, estes eventos têm ocorrido com maior freqüência nas regiões sudeste e sul do Brasil. Há dificuldade em registrar a ocorrência de tornados na América do Sul, devido ao fato de que sua atuação é extremamente rápida e os equipamentos para tais registros são inadequados (ANDRÉ, 2006).

Contudo, alguns episódios de tornados no Brasil foram analisados por diversos pesquisadores (DYER, 1988, 1994; SILVA DIAS; GRAMMELSBACHER, 1991; MASSAMBANI et al., 1992; ANTÔNIO, 1997; NECHET, 2002; MARCELINO et al., 2002). Ainda não há um levantamento estatístico razoável sobre o fenômeno, que ocorre com mais freqüência nos Estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MENEZES, 1998; MARCELINO, 2003).

Marcelino (2003) ressalta que entre o período de 1976 e 2000 foram identificados 23 episódios desse fenômeno em Santa Catarina, sendo 18 casos de tornados e 5 de trombas d'água (tornado que ocorre sobre a água). Estes fenômenos causaram muitos danos, principalmente em habitações, estabelecimentos comerciais, indústrias e plantações, deixando muitos desabrigados e várias vítimas fatais.

No dia 24 de maio de 2005 ocorreu, na Região Administrativa de Campinas (SP), uma grande tempestade com chuvas fortes, vendaval e tornados. Neste mesmo dia, o Município de Indaiatuba-SP foi atingido por tornado com ventos em torno de 251 km/h a 330 km/h, considerado F3 na escala Fujita.

De acordo com cálculos da Prefeitura Municipal de Indaiatuba, os danos causados pelo tornado chegaram ao patamar de R$ 97,2 milhões, em grande parte atingindo empresas e alguns prédios públicos. Vários danos foram registrados na rede elétrica, de água e telefonia, também cerca de 400 residências foram atingidas por esse tornado.

Existe a necessidade de estudos sistematizados para a caracterização e a detecção de tais eventos severos, abordando os aspectos sinóticos de sua formação e seu desenvolvimento como forma de minimizar ou prevenir seu impacto no ambiente. Com esta caracterização tem-se a possibilidade de minimizar os danos causados e assim estabelecer padrões de procedimentos para se evitar maiores conseqüências. A análise dos tipos de tempos que desencadeiam os tornados poderá dar suporte aos órgãos que trabalham com a assistência aos vitimados e contribuir com a previsão meteorológica e os sistemas de alerta de eventos climáticos severos (MARCELINO, 2003).

Desta forma, torna-se de grande relevância a interpretação e análise de dados quantitativos e qualitativos com a finalidade de indicar perdas e prejuízos ocasionados por eventos climáticos severos relacionando-os aos contextos ambiental e sócio-econômico.

Os objetivos gerais foram:

- Identificar os episódios atmosféricos severos, focando principalmente na formação de tornados ocorridos nas regiões sul e sudeste no período entre 1960 e 2008, apontando as condições atmosféricas que os originaram e avaliando as influências das configurações do uso e ocupação do solo da localidade, além de avaliar os impactos ambientais e sócio-econômicos decorrentes destes eventos.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar as tempestades severas locais que originaram os tornados;
- Determinar padrões sazonais na ocorrência dos tornados no Sul e Sudeste do Brasil;

- Determinar as regiões que mais ocorrem estes tipos de eventos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil;
- Caracterizar os tipos de relevo e uso/cobertura do solo mais propício às ocorrências de tornados no Sul e Sudeste do Brasil;
- Aplicar técnicas de geoprocessamento (SIGs) para o cruzamento de dados atmosféricos com a superfície terrestre (topografia e uso e ocupação do solo);
- Elaboração de Modelos Digitais de Terreno das localidades que ocorrem tornados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo estudos apontados por Marcelino (2002) a ocorrência de tempestades intensas pode desencadear diferentes tipos de fenômenos atmosféricos extremos potencialmente danosos. Um dos principais agentes para a sua formação certamente são as condições atmosféricas, principalmente em escala sinótica.

Os tornados são fenômenos atmosféricos severos que, como chuvas fortes, chuvas de granizo, estiagens e etc, têm grandes impactos sócio-econômicos, sendo associados às causas de desastres naturais o que ressalta a relevância de seu estudo. O evento tornado é considerado uma das mais violentas perturbações atmosféricas, pois, de acordo Orr (1966), está associado à intensidade dos ventos e baixa pressão localizada no interior da coluna. Tal concentração gera uma energia catastrófica.

Na definição do Glossário de Meteorologia (HUSHCKE, 1959), o tornado é exemplificado como uma violenta coluna de ar giratória, pendente de uma nuvem cumulonimbus, visualizado como uma nuvem em forma de funil (Figura 1), ou seja, uma coluna de ar giratória na forma de funil cuja circulação toca o solo e que se forma a partir da base de uma nuvem de tempestade.

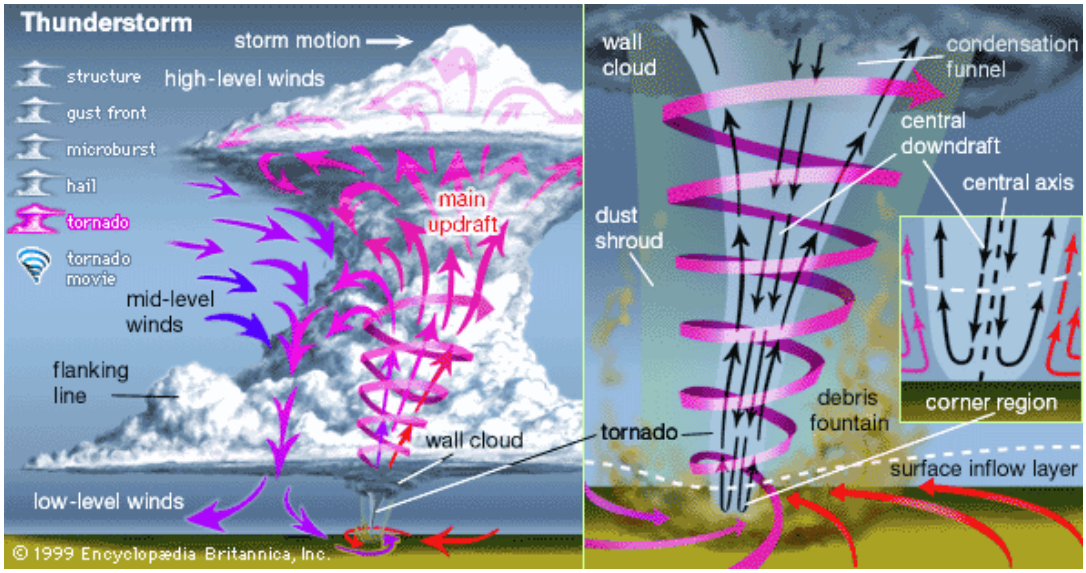
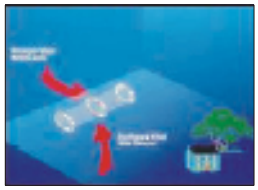
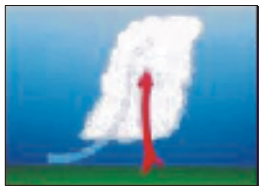


Figura 1 - Ilustração sobre a dinâmica dos tornados
Fonte: (ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2007).



Antes do desenvolvimento da tempestade, há uma mudança na direção do vento e um aumento da velocidade com a altura, o que cria uma tendência de rotação horizontal na baixa atmosfera. Essa mudança na direção e velocidade do vento é chamada de cisalhamento de vento.



O ar ascendente da baixa atmosfera inclina-se e passa da posição horizontal para a posição vertical.

Há formação de uma área de rotação com comprimento de 4 a 6 Km, que corresponde a quase toda extensão da tempestade. As tempestades fortes e violentas são formadas nestas áreas de extensão.

Nesta foto pode-se ver a base da nuvem e sua área de rotação conhecida como *wall cloud*. Nesta área geralmente não há chuva.

Figura 2 - Desenvolvimento de um tornado
Fonte: (ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2007).

Fujita (1981) explica que o tornado esta associado a um sistema de nuvens, este sistema pode apresentar um diâmetro entre 2 e 10 km, com alta velocidade dentro de uma tempestade e rápida rotação, normalmente observado como uma nuvem funil ligada a uma nuvem mãe ou alimentadora. (Figuras 3 e 4).

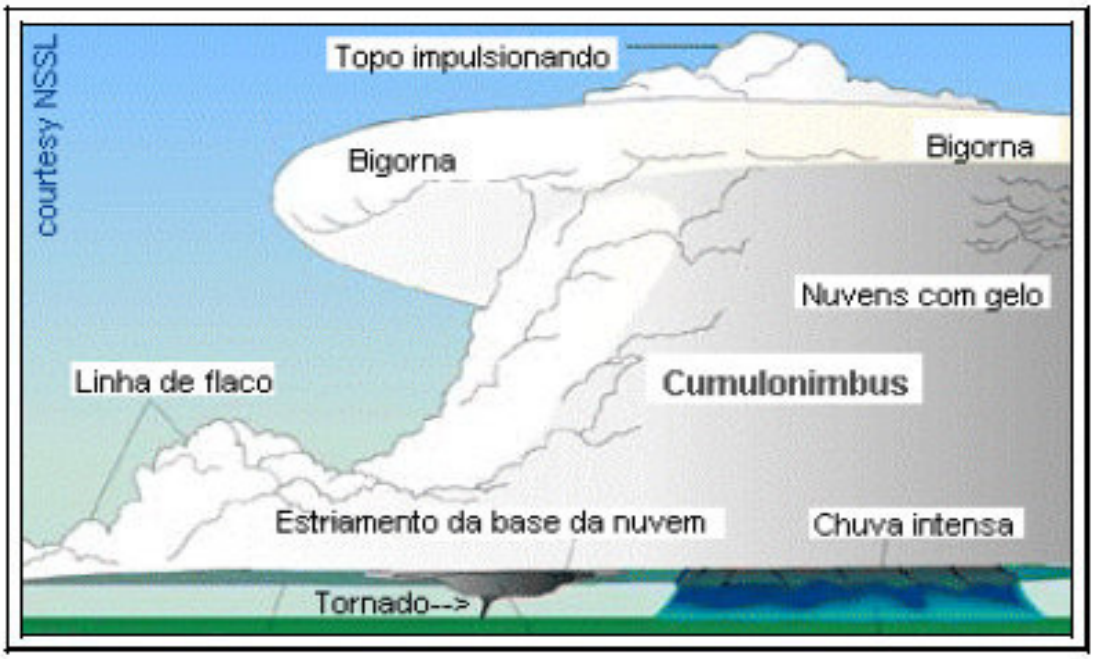


Figura 3 - Ilustração da estrutura de nuvem do tipo Cumulonimbus
Fonte: (NSSL, 2003)
Adaptado por Isabela Marcelino, 2003

Figura 4 - Demonstração da ocorrência de um tornado
Fonte: (http://www.cazatormentas.net).
Adaptado por Bruno Gomez L. Bertoni, 2011

Entretanto, Doswell (2001) esclarece que a fonte alimentadora de um tornado é o ar em movimento (vento) e não a nuvem que o constitui. As correntes ascendentes da nuvem e descendentes são capazes de gerar e suportar (em suspensão) granizo gigante e gerar rajadas de ventos destrutivas próximas ao solo (DAVIES-JONES et al., 2001). Embora relativamente raros em comparação com outros sistemas meteorológicos, os tornados são considerados um

dos principais agentes responsáveis pela ocorrência de desastres naturais em alguns lugares do mundo (MARCELINO, 2003). Representam ameaça potencial para atividades importantes como, por exemplo, aviação, agricultura, transmissão e distribuição de energia elétrica (NASCIMENTO, 2005).

Dentre as diversas classificações existentes para determinação da intensidade dos tornados, a escala Fujita é a mais utilizada internacionalmente. Esta escala mede a intensidade dos tornados não pelo seu tamanho físico, mas pela valoração dos estragos por ele causados (FUJITA, 1981). Assim, o fenômeno é classificado de acordo com seis níveis de intensidade, conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação indireta dos tornados com base na escala Fujita

Classificação	Velocidade dos ventos (Km/h)	Danos Provocados
F0	até 117	Leves
F1	117-180	Moderados
F2	182-252	Fortes
F3	253-333	Severos
F4	334-419	Devastadores
F5	420-511	Incrível
F6	>511	Inacreditável

Fonte: Fujita, 1981

Em 2007 o *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) desenvolveu a nova escala Fujita, que se basea na mesma escala apresentada na Tabela 1, porém acrescentando novas características e criando uma uma nova forma operacional de inserção. A escala tem o mesmo desenho básico que a escala Fujita original, seis categorias de zero a cinco representando graus crescentes de danos, porém foram revisadas na tentativa de refletir danos dos tornados, de modo a alinhar as velocidades do vento mais de perto com danos causados por tempestades associadas.

Damage f scale		Little Damage	Minor Damage	Roof Gone	Walls Collapse	Blown Down	Blown Away
		f0	f1	f2	f3	f4	f5
Windspeed F scale		17 m/s – F0	32 – F1	50 – F2	70 – F3	92 – F4	116 – F5 – 142
		40 mph	73	113	158	207	261 – 319
To convert f scale into F scale, add the appropriate number							
Weak Outbuilding	-3	f3	f4	f5	f5	f5	f5
Strong Outbuilding	-2	f2	f3	f4	f5	f5	f5
Weak Framehouse	-1	f1	f2	f3	f4	f5	f5
Strong Framehouse	0	F0	F1	F2	F3	F4	F5
Brick Structure	+1	-	f0	f1	f2	f3	f4
Concrete Building	+2	-	-	f0	f1	f2	f3

Figura 5 - Escala de ventos associados aos danos causados pelos tornados segundo EF Fujita (2007).
Fonte: (NOAA, 2007)

Esta implementação visou uma melhor padronização da escala que antes era subjetiva e ambígua. Esta nova escala adiciona mais tipos de estruturas, vegetação, expande graus de danos e avalia melhor de acordo com o tipo de construção atingida. A Tabela 2 apresenta a escala associada aos padrões de danos e cosntruções.

Tabela 2 - Escala *Enhanced* Fujita - Exemplos de danos

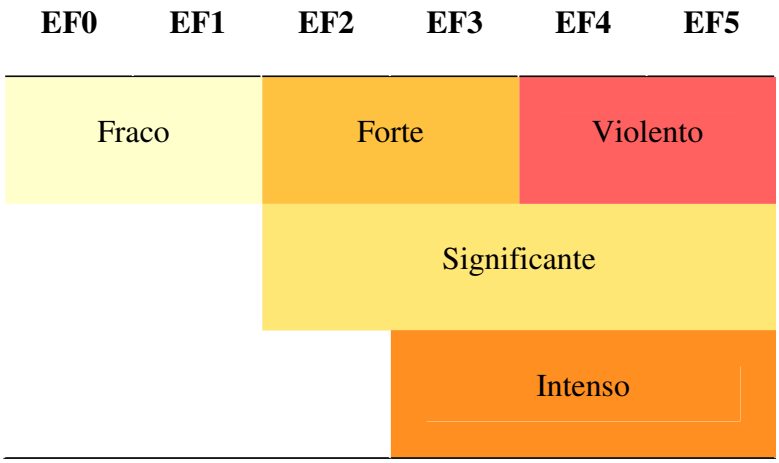
Escala	Velocidade Estimada do Vento (km/h)	Exemplo de danos
EF0	105–137	
EF1	138–178	
EF2	179–218	
EF3	219–266	
EF4	267–322	
EF5	>322	

Fonte: (NOAA, 2007)

A escala *ENHANCED* F baseia-se no aprimoramento da escala Fujita e corresponde a dados estimativos. O método de análise utiliza um conjunto de estimativas de vento que considera os três segundos iniciais de rajadas que atingem o ponto de dano medido. Esta análise é dividida em 5 taxas de destruição (Tabela 3) e 28 indicadores (Tabela 4). Uma rajada

inicial não é o mesmo que o vento em observações de superfície padrão é um padrão tomado por estações meteorológicas em exposições abertas, usando uma medida direta de velocidade, "um minuto por uma milha".

Tabela 3 - Taxas de Destruição segundo EF FUJITA, 2007



Fonte: NOAA, 2007

Tabela 4 - ENHANCED F-VENTOS ESCALA

Número	**Indicador de danos**	**Sigla (em inglês)**
1	Celeiros pequenos, dependências agrícolas	SOB
2	Residências com até dois quartos	FR12
3	Casa Móvel (Trailer)	MHSW
4	Casa Móvel com o dobro de largura (Trailer)	MHDW
5	Apartamento (de um andar)	ACT
6	Apartamento pequeno (de mais de dois andares)	M
7	Apartamento (estruturas de concreto)	MAM
8	Pequeno prédio	SRB
9	Pequeno escritório profissional (contendo vários andares)	SPB
10	Shopping Center	SM
11	Grande centro comercial	ONGs
12	Grande área isolada (campo)	LIRB

continua...

conclusão

Número	Indicador de danos	Sigla (em inglês)
13	Concessionárias de automóveis	ASR
14	Edifícios de serviços automotivos	ASB
15	Escola - ensino fundamental	ES
16	Escola - Ensino Médio	JHSH
17	Prédio Baixo (até 4 andares)	LRB
18	Prédio Médio (5-20 andares)	MRB
19	Prédio Elevado - (mais de 20 andares)	HRB
20	Prédio Institucional (Hospital, Federal ou universidade)	IB
21	Sistema de construção metálica	MBS
22	Estação de serviço (ex: posto de gasolina)	SSC
23	Armazém (paredes de concreto ou madeira pesada)	WHB
24	Torre de linha de transmissão	TLT
25	Torre aberta (sem ligações de cabos)	FST
26	Porta bandeira ou torre de iluminação	FSP
27	Árvore - madeira mais leve	TH
28	Árvore - madeira mais densa	TS

Fonte: (NOAA, 2007).

A ocorrência de tempestades intensas pode desencadear diferentes tipos de fenômenos atmosféricos extremos potencialmente danosos. Um dos principais agentes para a sua formação certamente são as condições atmosféricas, principalmente umidade, instabilidade e movimentos verticais (MARCELINO, 2002; DOSWELL III; BOSART, 2001). Essas condições normalmente ocorrem nos dias que antecedem os tornados intensos, sugerindo a possibilidade de ocorrência dos mesmos.

Alguns estudos apontam que os tornados são geralmente acompanhados por outros fenômenos atmosféricos como precipitações pluviométricas intensas, precipitações de granizo

e vendavais (MENDONÇA; MONTEIRO, 1997; SIMEONOV; GEORGIEV, 2001; MARCELINO, 2003).

Os tornados ocorrem em muitas partes do mundo, mas os mais freqüentes e violentos acontecem nos Estados Unidos, aproximadamente 800 por ano. Apesar de menos recorrentes que nos Estados Unidos, pode-se dizer que a freqüência destes eventos no Brasil é maior do que a população imagina. O que ocorria num passado remoto era a dificuldade de registro destes fenômenos e o seu total desconhecimento pela população, sendo conhecidos de forma insuficiente, gerando superstições, informações equivocadas, condutas inadequadas, reflexos de uma experiência ambiental relatada por terceiros e disseminados através de relatos orais distorcidos.

A área de maior incidência de tornados no Mundo fica no Vale dos rios Mississipi-Missouri nos Estados Unidos, conhecido como corredor dos tornados (Figura 6).

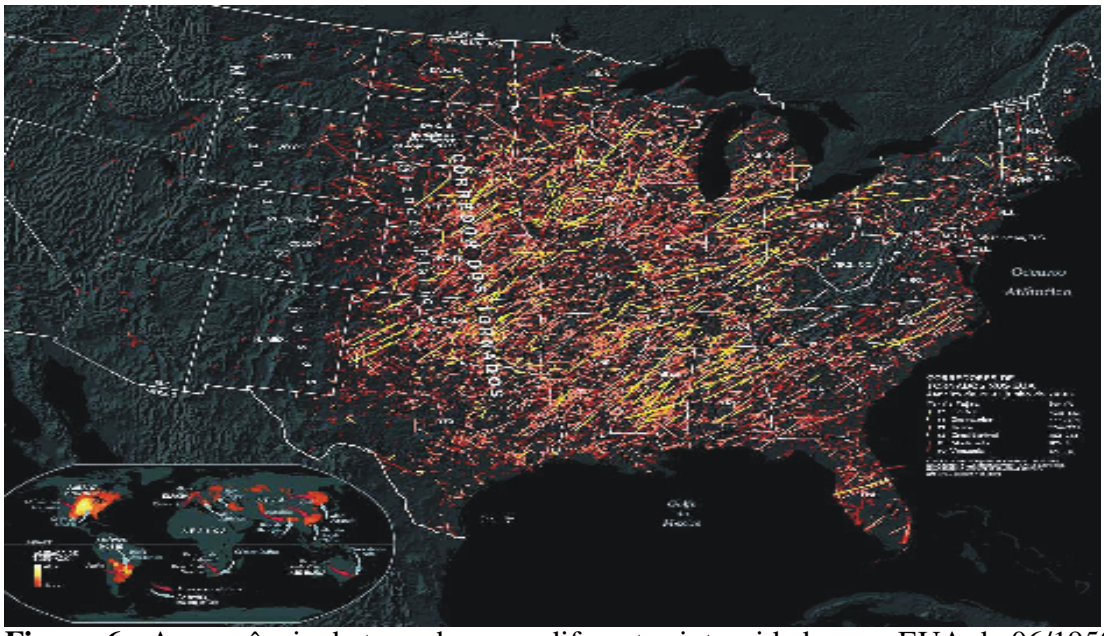


Figura 6 - A ocorrência de tornados com diferentes intensidades nos EUA de 06/1950 a 06/ 2003
Fonte: (Vesilind, 2004).

Os tornados são registrados em outras localidades do mundo, além da América do Norte, estudos apontam a ocorrência destes eventos em localidades como Grécia, Alemanha e França, entre outros.

Na América do Sul estes eventos são registrados em diversas regiões, segundo Vesilind (2004) as regiões de maiores ocorrências são determinadas entre o norte da Argentina, o Centro do Paraguai (regiões do Chaco Paraguaio) e porções do Sul e Sudeste Brasileiro, conforme Figura 7.

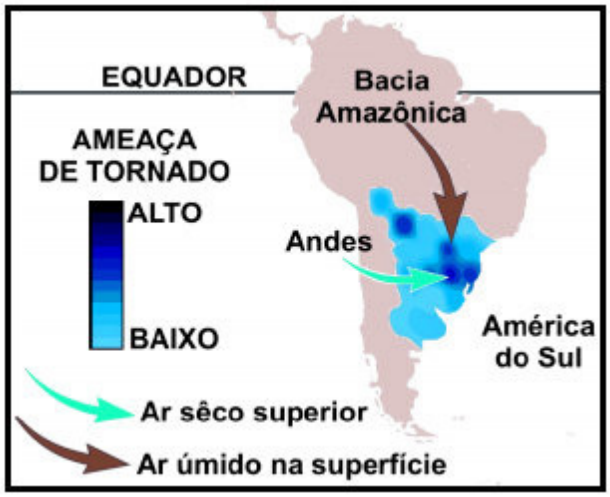


Figura 7 - A ocorrência de tornados nas regiões da América do Sul, segundo Vesilind (2004).
Fonte: (Vesilind, 2004).

2.1 Estudos sobre ocorrência de tornados no Brasil

Apesar da ausência de informações relacionadas à ocorrência de tornados no Brasil, alguns autores têm destacado em seus estudos o fenômeno, como Dyer (1986; 1988; 1994), Silva Dias e Grammelsbacher (1991), Massambani et al. (1992), Antônio (1997), Cunha (1997), Nechet (2002), Marcelino et al. (2002) e Marcelino (2003), Antônio et al. (2005).

Silva Dias e Grammelsbacher (1991) efetuaram um estudo da possível ocorrência de tornados na região de São Bernardo do Campo, área que abrange a zona Metropolitana de São Paulo. A ocorrência deste fenômeno foi associada à passagem de uma frente fria incomum que formou sucessivamente super-células convectivas que se movimentaram para a parte sul da região. Neste trabalho são indicados diretamente os impactos gerados pela formação das super-células. Como conclusão o estudo apontou que a região pode ser associada a ocorrência de tornados de baixa intensidade.

Massambani (1992) publicou outro estudo relacionado à possível ocorrência de um tornado na cidade de Itu (SP), evento registrado em 30 de setembro de 1991. Sua análise foi possível em função do uso do Radar Meteorológico de São Paulo, que faz parte da rede SAISP - Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo. O evento foi caracterizado por fortes movimentos de correntes ascendentes e a passagem da tempestade associada a fortes ventos e

umidade elevada, numa faixa ao longo de uma frente fria que se deslocou para o Oceano Atlântico. Os danos causados pela passagem deste tornado foram imensos, deixando um total de 15 mortos e 176 feridos.

Outro registro de tempestades severas que atingiram o Estado de São Paulo foi abordado por Silva Dias et al. (1996) e Menezes e Silva Dias (1998). Os autores analisaram as principais características do evento registrado em maio de 1994 na cidade de Ribeirão Preto (SP). Na análise da escala sinótica foram apresentados resultados que evidenciaram a presença de um cavado invertido sobre o Estado de São Paulo, associado à passagem de uma frente fria. Esse cavado teve papel importante, estabelecendo a divergência e movimentos verticais, fatores necessários para gerar a instabilidade observada no evento. Associado ao evento foi detectada a presença de uma baixa desprendida de mesoescala sobre o Estado do Paraná, favorecendo a ocorrência de vorticidade ciclônica na área de instabilidade.

Em outro estudo, Nechet (2002) apresentou a análise sobre a ocorrência de 20 episódios de tornados distribuídos, principalmente, nas regiões Sul, Sudeste e Norte do país, baseando-se em relatos pessoais, extratos retirados de jornais, revistas e fotografias tiradas dos locais. Através deste trabalho, o autor enfatizou a probabilidade de ocorrência de tornados no território brasileiro, com classificação F0, próximo ao Equador, até o nível da escala F2, no Sudeste e Sul do Brasil. Dyer (1994), revisando a atividade dos tornados no Brasil, ressaltou sua maior incidência nas regiões Sul e Sudeste do país. Tais observações reforçam a necessidade de estudos para a melhor previsibilidade da ocorrência dos eventos e a prevenção como fator chave para a minimização dos danos.

Nos estudos feitos na região Sul do Brasil, principalmente no Estado de Santa Catarina, Marcelino et al. (2002) identificaram 23 episódios de tornado distribuídos em um período de 25 anos. Entre eles, 15 foram casos confirmados e 8 foram considerados como possíveis ocorrências. Há perspectivas de que este número seja ainda maior, mas a falta de dados e de uma investigação mais criteriosa dificultam a comprovação de tais suspeitas.

Antonio et al. (2005) analisaram dois tornados ocorridos em 25 de maio de 2004, eventos que atingiram a área rural de Palmital, no sudoeste Paulista, e Lençóis Paulista, na região central de São Paulo. Para o estudo foram utilizados os dados principalmente de testemunhas que viram a ocorrência, imagens de satélite, dados meteorológicos da superfície e imagens de radar S-Band. O uso dos radares meteorológicos Doppler localizados nas cidades de Bauru (SP) e Presidente Prudente (SP) aliado ao estudo das condições atmosféricas em escala sinótica permitiram um levantamento detalhado sobre os tornados e sua intensidade. Na indicação dos parâmetros de divergência de umidade encontrados no setor

oeste paulista, observou-se um aspecto favorável nesta região apontando, dessa forma, para uma possível contribuição a previsão mais precisa de eventos de tempo severo no local.

2.2 Relações do trajeto do tornado com a configuração do relevo

A análise da ocorrência de tornados busca compreender o padrão atmosférico que ocasiona sua formação, relacionando-o com os diversos fatores como, por exemplo, o relevo e as formas de uso do solo, que proporcionam uma maior geração de nuvens convectivas.

Existe grande relevância nos estudos das formações e padrões de geração de nuvens convectivas, visto que o princípio de formação de tornados está intimamente ligado à base das nuvens e a superfície terrestre.

Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de detectar a relação positiva entre as formas de uso da terra e o incremento das atividades convectivas e de precipitações intensas (MAHFOUF et al., 1987; BLYTH et al., 1994; SEGAL et al., 1988, 1989, 1992, 1995; DOSWELL III; BOSART, 2001; PERLIN; ALPERT, 2001). Estes estudos sugerem que a cobertura vegetal pode ser responsável por grande percentual de incremento na ocorrência desses fenômenos. Além disso, outros autores têm relacionado o tipo de superfície (relevo) à intensificação da formação das nuvens convectivas (PERLIN; ALPERT, 2001; COSTA et al., 2001; SIMEONOV; GEORGIEV, 2001; BETTS, 1999).

Segundo Perlin e Alpert (2001), áreas com cobertura vegetal e agricultura irrigada apresentam um número maior de nuvens convectivas, diferente de outras regiões. Outros autores ainda relacionam a maior geração de nuvens convectivas com áreas de densa cobertura vegetal e relevos acidentados. Costa et al. (2001) e Simeonov e Georgiev (2001) apontam que as ocorrências de tempestades severas em algumas regiões européias estão associadas a barreiras orográficas.

Marcelino (2003) analisou a ocorrência de tornados no Estado de Santa Catarina, no período de 1976 a 2000. Cada evento foi caracterizado sinoticamente e suas condições atmosféricas foram citadas. Para a caracterização foram utilizados dados de reanálises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), imagens de satélites meteorológicos (GOES/TRMM) e dados de meteorológicos convencionais. Assim, foram gerados bancos de dados, a partir de técnicas de Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados (DCBD), que demonstraram um padrão de comportamento das variáveis em diferentes níveis da troposfera.

Estes dados foram relacionados com o tipo de superfície (relevo e uso/cobertura do solo) dos locais em que ocorreram os tornados.

Nas análises foram detectados quatro grandes grupos de circulações atmosféricas favoráveis às ocorrências de tornados em Santa Catarina. Os resultados indicaram relações entre estações do ano e grupos de circulações atmosféricas favoráveis. Ficou evidente uma tendência de locais mais propícios à ocorrência de tornados, principalmente em áreas de encostas (altitudes elevadas) mais suscetíveis à formação de atividade convectiva (Figura 8).

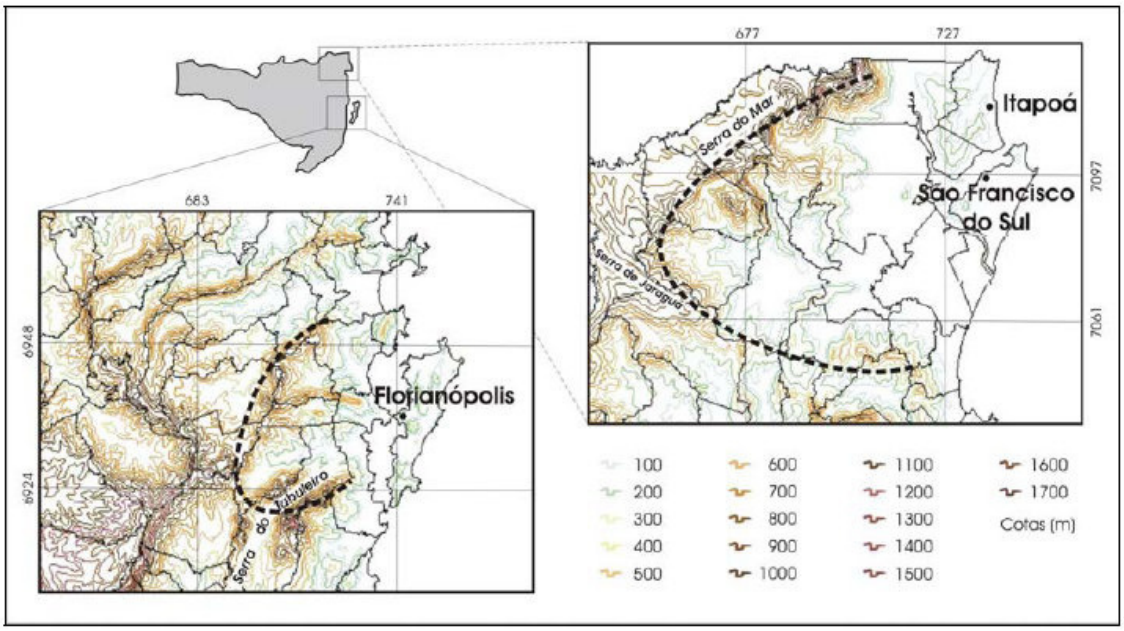


Figura 8 - Exemplo de regiões propícias à ocorrência de tornados em áreas de encostas mais suscetíveis à formação de atividade convectiva (Hipsometria dos municípios de Itapoá, São Francisco do Sul e Florianópolis).
Fonte: (MARCELINO, 2003.)

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização das tempestades severas locais que originaram os tornados

Para a caracterização das tempestades severas que originaram os tornados foram realizados levantamentos bibliográficos e principalmente analisados dados referentes as

escalas sinóticas e parâmetros meteorológicos associados as estes tempestades, avaliando as seguintes bases de dados:

- Boletins Climanálise disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) das datas dos eventos;
- Análise de Imagens de Radar;
- Imagens de Satélite;
- Dados de reánalises disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR).

3.1.1 Boletins Climanálise e identificação de padrões atmosféricos (escala sinótica) associados aos tornados

Na presente dissertação foram utilizados dados disponibilizados pelos Boletins de monitoramento e análise sinótica e climática que são produzidos mensalmente pelo CPTEC desde 1986. Este Centro está associado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Estes boletins apresentam análises globais e sinóticas sobre o Brasil, material que auxiliou na descrição das condições atmosféricas e no estabelecimento de relações entre as ocorrências analisadas de acordo com a Tabela 5. Foram analisados os padrões atmosféricos associados aos tornados e a possível relação destes eventos com os padrões identificados.

3.1.2 Imagens de Radar

As imagens utilizadas de radar foram extraídas de fontes da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET) e CPTEC, foram utilizadas as imagens de acordo com as datas e áreas de abrangências dos eventos.

A utilização de imagens de radar é fundamental para a detecção de tempestades. Neste caso as imagens são atualizadas de dois minutos e permitem observar a localização, o deslocamento e a intensidade da precipitação (chuva, granizo).

A refletividade captada pelo radar (legenda) pode ser relacionada à intensidade da precipitação conforme indicadas na Tabela 5. Quanto maior o valor em decibels (dBz), maior é a intensidade da formação.

Tabela 5 - Intensidades de tempestades relacionadas a captação via radar

dBz	20	25	30	35	40	45	50
Intensidade	Muito Fraca	Fraca	Fraca a Moderada	Moderada	Moderada a Forte	Forte	Muito Forte

A Figura 9 apresenta a formatação das imagens captadas pelo radar meteorológico localizado em Canguçu – RS. Este dado foi utilizado no presente trabalho para detecção de chuvas intensas no momento do tornado ocorrido em São Gabriel – RS.

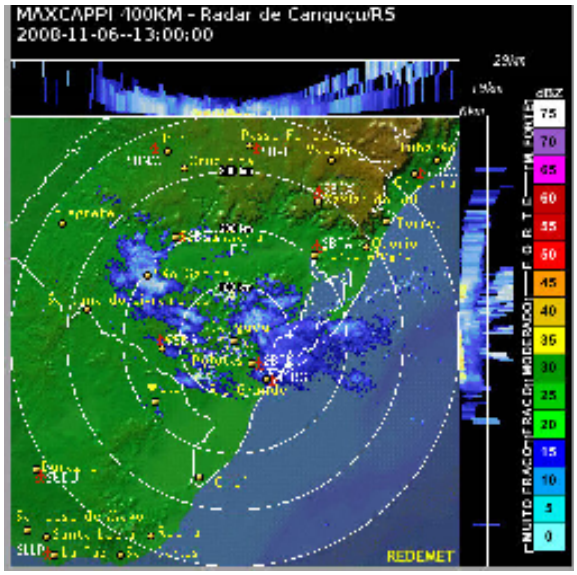


Figura 9 – Imagem de Radar captando chuvas intensas na região de São Gabriel - RS
Fonte: (REDEMET, 2012).

3.1.3 Imagens de Satélite

Para analisar a gênese, o desenvolvimento e a dissipação dos sistemas atmosféricos que geram os tornados foram utilizadas as imagens do satélite GOES-12. Nestas imagens é possível verificar a localização e evolução das nuvens de tempestades identificando as áreas de instabilidade que ocasionaram o tornado.

Na Tabela 6 são apresentados os eventos analisados a partir da data de ocorrência, da disponibilidade dos dados, da área de abrangência do radar e de acordo com o posicionamento geográfico.

Tabela 6 - Eventos abrangidos pela análise de imagens de satélite

Evento	Satélites	Data
Indaiatuba –SP	GOES 10 e 12	24/5/2005
Lins – SP	GOES 10	25/12/2008
Guaraciaba – SC	GOES 10	7/9/2009
São Gabriel - RS	GOES 10	6/11/2008

Fonte: CPTEC, 2013

Para diferenciar as nuvens, superfície terrestre e superfície aquosa foram utilizadas as imagens do canal 4 (infravermelho) que medem as diferentes temperaturas emitidas pelos alvos.

Como a temperatura diminui com a altitude na troposfera, os alvos são facilmente perceptíveis. Nestas imagens, os pixels mais claros apresentam os maiores valores de radiância, assim, as nuvens são identificadas pela cor branca enquanto que a superfície aquosa e a superfície terrestre aparecem em tons de cinza mais escuros (REINKE, 1995; MARCELINO, 2003). Reinke (1995) e Marcelino (2003) afirmam que as imagens de satélite deste canal ajudam a identificar as tempestades severas e tempestades com potenciais para formação de tornados.

> As tempestades estendem-se rapidamente para o topo da troposfera aparecendo nas imagens do infravermelho como nuvens com topos frios e de rápida expansão temporal da região da bigorna. As bandas de nuvens associadas às tempestades ao longo de sistemas frontais também são facilmente detectadas pelas imagens de satélite (MARCELINO, 2003, p.50).

Foram utilizadas as imagens do GOES-10 nos períodos de ocorrência dos tornados, cedidas pelo banco de dados do MASTER-IAG (Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais), disponibilizadas pelo site oficial do CPTEC-INPE. Este material evidencia a temperatura de brilho dos topos das nuvens (Figuras 10 e 11).

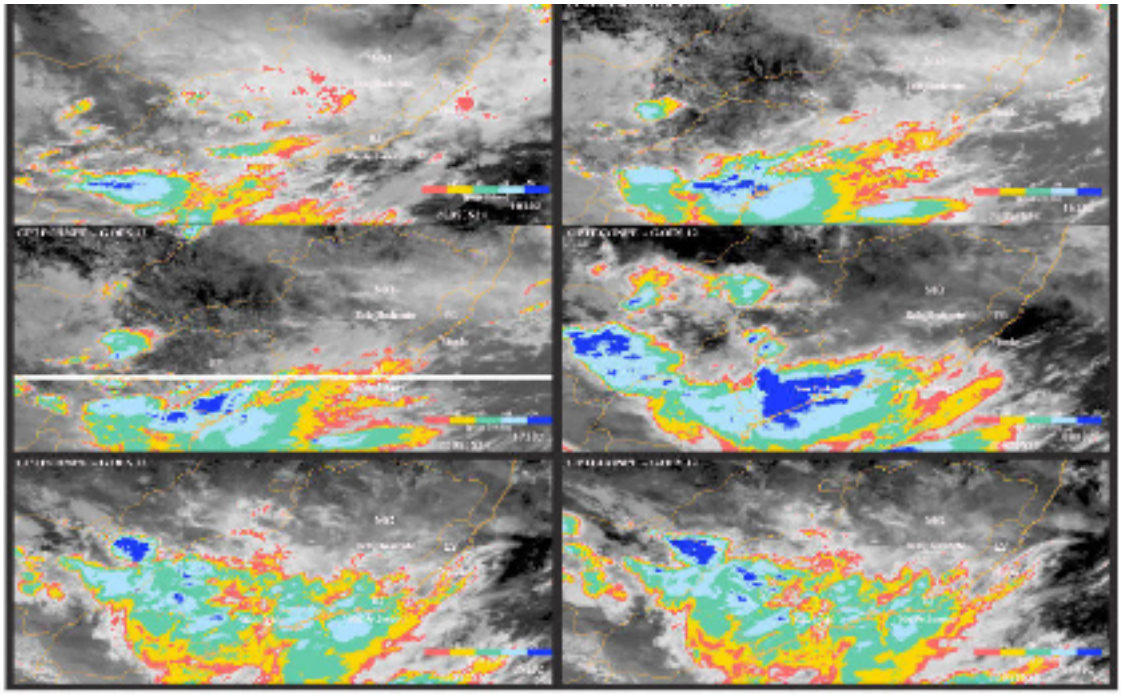


Figura 10 - Imagens satélite GOES 12 - Ilustrando temperatura de topo de nuvens - 24/05/2005 - Tornado Indaiatuba.
Fonte: (CPTEC, 2013).

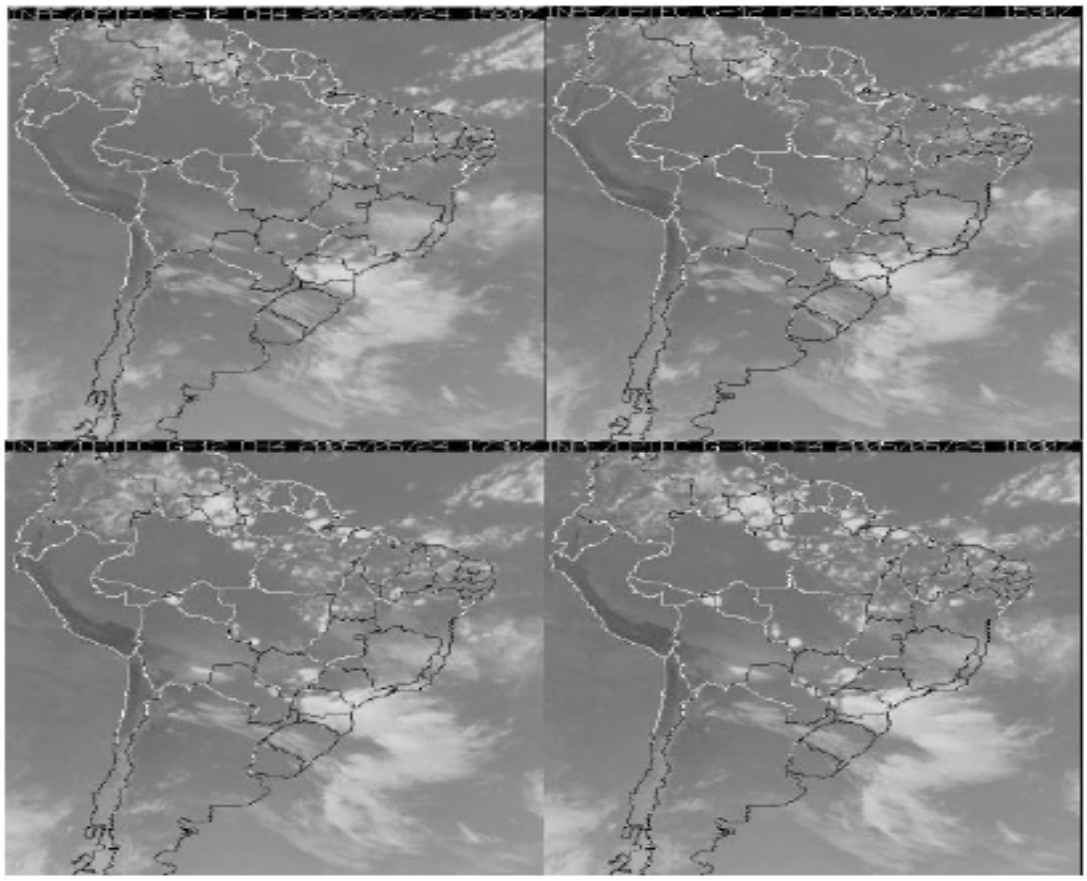


Figura 11 - Imagens satélite GOES 12 - nos horários 15Z, 1530Z, 1730Z e 18Z - 24/05/2005 - Tornado Indaiatuba.
Fonte: (CPTEC, 2011).

3.1.4 Dados de reanálise

Foram utilizados mapas gerados a partir dos dados da Reanálise I do NCEP, plotados na página do National Oceanic and Atmosphere Administration/Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL).

O NCEP, localizado nos EUA, possui nove centros que efetuam pesquisas e previsões meteorológicas. Há reanálises disponibilizadas desde 1948.

A visualização e manipulação dos dados foram realizadas pelo software "Grid Analysis and Display System" (GrADS), disponibilizado pelo "Center for Ocean-Land-Atmosfere-Interactions" (DOTY, 1997). De acordo com Chaves e Rodrigues (2001), o GrADS é essencialmente um software para visualização e análise de dados de pontos de grade, sendo assim este é o software mais utilizado no mundo para visualização.

Os dados do GeADS foram gerados a partir das variáveis determinadas de acordo com os objetivos da pesquisa através do link http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep_data/, disponibilizado para usuários desse software. A Figura 12 exibe um exemplo de dado gerado utilizando esses critérios e forma de obtenção de dados.

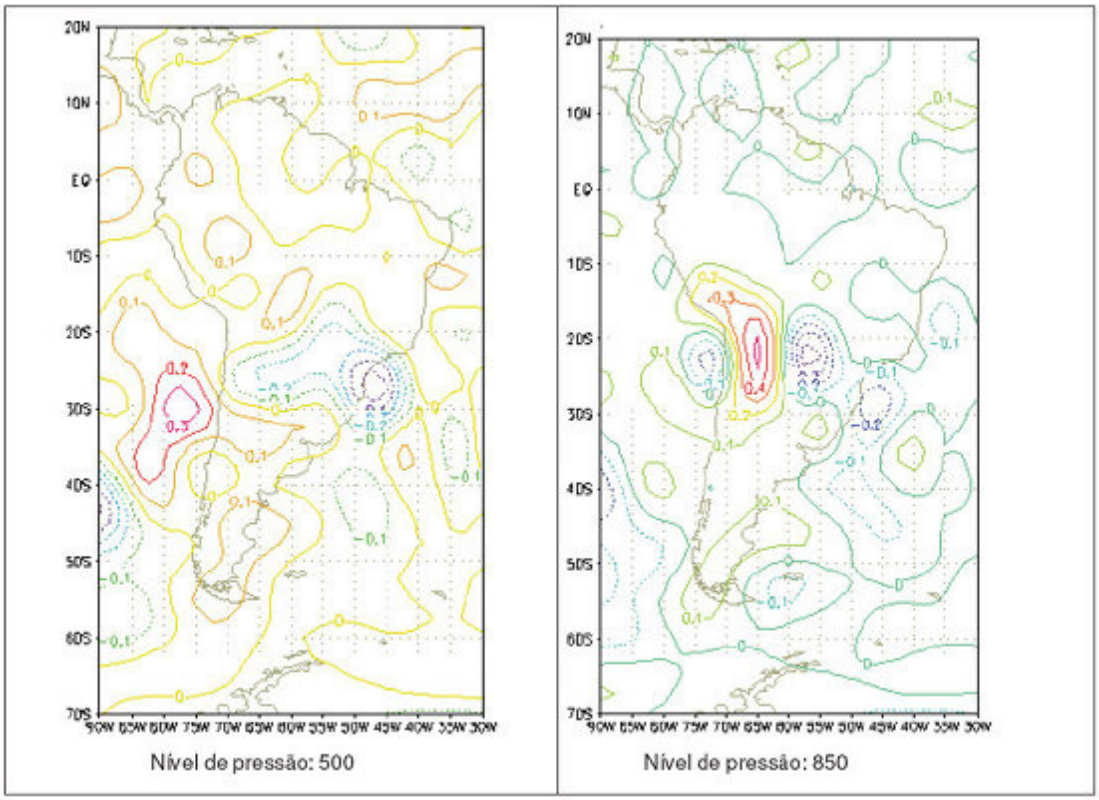


Figura 12 - ÔMEGA - 24/5/2005 - 12:00Z - Data de ocorrência do Tornado Indaiatuba
Fonte: (NCEP/NCAR, 2013).

Foram determinados dois casos baseados nesses critérios no estado de São Paulo (Indaiatuba e Lins), São Gabriel localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul e um caso no oeste do estado de Santa Catarina, mais precisamente no município de Guaraciaba. Estas regiões foram determinadas após análise exaustiva dos dados indicando as áreas onde mais ocorrem tornados nos eixos Sul e Sudeste do território nacional.

Com os dados de média de pressão nos níveis entre 200 a 300 hPa foi possível observar o escoamento, identificar jatos e comparar os comportamentos dos níveis atmosféricos, correlacionando com informações dos boletins Climanálise.

O levantamento da variável meteorológica Ômega foi efetuado de acordo com a obtenção dos dados disponibilizados pelo NCEP.

O Ômega é uma variável meteorológica que representa a velocidade vertical do vento em coordenada de pressão (hPa/s – pascal/segundo). A componente vertical do vento é usualmente 1000 vezes menor que a componente horizontal. A velocidade vertical do vento em hPa/s (ômega) é negativa para movimento ascendente do ar e positiva para movimento descendente, ou seja, no campo ômega, os valores negativos representam ar subindo e os positivos, ar descendo. As regiões de movimento ascendente estão sempre associadas à

instabilidade atmosférica, ou seja, áreas favoráveis ao desenvolvimento de nuvens (INMET, 2013).

3.2 Análise da gênese, do desenvolvimento e da dissipação dos tornados ocorridos nas regiões Sul e Sudeste nos últimos 30 anos utilizando programas de informática, imagens de satélites, dados atmosféricos registrados em estações meteorológicas e relatos vinculados a mídia

Bem antes da invenção de equipamentos sofisticados e específicos de detecção de tornados, a identificação destes eventos era pautada em relatórios visuais e material descrito por câmeras amadoras ou mesmo documentação do fato (SILVA DIAS, 1991).

No caso do Brasil, a documentação sobre tornados não é muito diferente destes primeiros dias de acompanhamento das tempestades e consiste em fotos e fitas feitas por amadores (ANTÔNIO, 1997).

O avanço em tecnologias de divulgação e principalmente a popularização de aparelhos eletrônicos como câmeras fotográficas de menor custo e celulares com tais aparelhos embutidos, e o maior acesso a *internet* ampliou as chances de registros de fenômenos tão intensos e brutais como os tornados, porém inversamente proporcional ao seu tempo de vida, dificultando sobremaneira sua identificação e estudo profundo.

Outro fator interessante abordado por diversos pesquisadores como Silva Dias (2011) e Schwarzkopf (1999) são as determinações de maior ou menor densidade populacional que possivelmente registram estes fenômenos.

Schwarzkopf (1999) concluiu, após a análise dos dados estatísticos da Argentina entre 1928 e 1999, que a densidade da população é um fator predominante na detecção dos fenômenos severos, ou seja, nas regiões que apresentam uma densidade de população abaixo de 100 habitantes/km² não são relatados com clareza os efeitos dos tornados.

No Brasil, há poucos pesquisadores e grupos dentro das universidades brasileiras abordando os eventos de tornado. A maior parte dos relatos existentes foram estudados principalmente por Ferraz (1927), Dyer (1988; 1994) e Silva Dias (1999), mas a maioria dos artigos que estão em português foram publicados nos anais de congressos e simpósios de meteorologia ou revistas meteorológicas (SILVA DIAS, 2011).

Os casos mais particularmente relevantes são os relatórios preparados por Nechet (2002) e Marcelino (2003) que apresentam as condições gerais de ocorrência de tornados e a documentação de danos associados a eles. Após a popularização da Internet, em 2005, um grupo de meteorologistas iniciou a documentação mais sistemática dos casos de tornado e a publicação de suas características num site (http://www.temposeveronobrasil.com).
Entretanto, estes dados foram usados desta forma, pois no Brasil não há compilação de dados oficiais sobre tornados (SILVA DIAS, 2011), os estudos sobre estes episódios são raramente divulgados em escala ampla no território nacional.

Uma vez que não há compilação de dados oficiais sobre tornados no Brasil (SILVA DIAS, 2011) e os estudos sobre estes episódios são raramente divulgados em escala ampla no território nacional, para o presente trabalho foram utilizadas as bibliografias mencionadas anteriormente e analisados apenas os eventos ocorridos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, abrangendo os estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Segundo Silva Dias (2011) foram listados 158 casos de tornados no país entre 1960 e 2008. Nas regiões Sul e Sudeste do país foram constatados 89 casos, muitos deles repetidos várias vezes no mesmo município. Além da grande quantidade de casos relatados no período, as regiões estudadas foram definidas principalmente pela características climáticas associadas às tempestades severas que, por sua vez, são associadas aos casos de tornados (Figura 13).

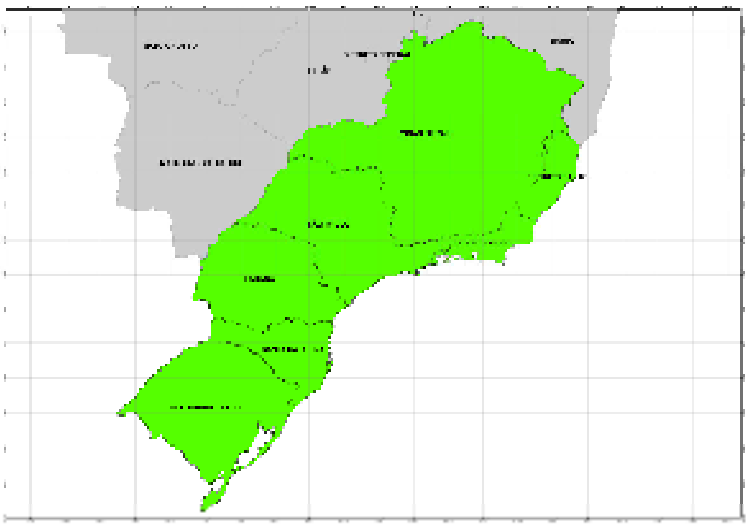


Figura 13 - Regiões Sul e Sudeste do Brasil - regiões de abragência dos estudos

3.3 Caracterização da área de estudo

A presente dissertação procurou estudar a formação de tornados e comparar os diferentes usos e a ocupações do solos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Para tanto, as escalas de abordagem espacial e temporal foram fundamentais, pois permitiram a melhor compreensão dos impactos causados por tornados e trombas d'água.

As regiões Sul e Sudeste fazem parte das áreas mais desenvolvidas e ricas do Brasil, onde se concentra a maior parte da população brasileira. Além disso, apresentam diversas paisagens que compõem domínios morfoclimáticos e fitogeográficos e características sócio-espaciais bem particulares, influenciando sobremaneira os padrões dos climas regionais. A seguir estarão descritas as diferentes características que fazem parte do contexto geomorfológico, climático e geológica da área de estudo.

3.3.1 Geomorfologia

Segundo Ab' Saber (2005), o território brasileiro, devido a sua magnitude espacial, comporta um mostruário bastante completo das principais paisagens e ecologias do mundo tropical. As regiões Sul e Sudeste estão divididas em Unidades do Relevo que partem da classificação proposta por Ross (2008). De acordo com tal abordagem, as maiores porções das áreas de estudo estão localizadas na bacia sedimentar - Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná - na Depressão periférica da borda leste da bacia do Paraná, nos cinturões orogênicos denominados de planaltos e serras do Atlântico leste-sudeste.

No trecho extremo sul do país localizam-se as regiões de entre-bordos da planície das lagoas dos Patos e Mirim, onde se encontra a depressão periférica da borda sul-riograndense. Nesta mesma região são encontrados núcleos cristalinos do planalto sul rio-grandense que formam o trecho de núcleos cristalinos arqueados, ponto onde há maior concentração de rochas do período pré-Cambriano que apresentam grande complexidade litológica e estrutural.

Para este estudo a caracterização geomorfológica apresentou grande importância por conta da variedade climática proporcionada pelos diferentes tipos de relevo existentes nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

As primeiras classificações geomorfológicas datam do início dos anos 1920, foram inteiramente revisadas por Ab' Saber (1960) e reeditadas por Ross (1990). Na caracterização regional onde está inserida a área de estudo, Ross (2002) descreve a influência da tectônica e morfogênese no relevo da área ao longo dos períodos geológicos, segundo Figura 14.

Figura 14 - Relevo do Brasil
Fonte: (ROSS, 1990)

Para compreensão da componente topográfica é necessário um melhor entendimento da morfologia geológica regional e desta forma a delimitação das morfoestruturas associadas a localidade de estudo.

A morfologia do relevo regional de estudo desenvolve-se na faixa do denominado Cinturão Orogênico do Atlântico que apresenta uma elevada complexidade litológico-estrutural, fruto de longas e intensas atividades tectônicas de magnitude regional ocorridas no pré-cambriano médio e superior, com reativações tectogênicas de caráter epirogenético no Jura-Cretáceo e Cenozóico, associadas ao que Almeida (1967) denominou de reativação Wealdeniana.

Gontijo (1999), baseando-se em Barbosa (1934), Lamego (1936), Leonardos (1940), Ebert (1956; 1968; 1971), Almeida et al. (1973; 1976), Almeida (1977), Hasui et al. (1976; 1978), Almeida e Hasui (1986), Cordani et al. (1986), Schobbenhaus e Campos (1986), Brito Neves (1990), Hasui e Sadowski (1976), IPT (1981; 1982), Santoro (1991), Almeida (1986), Riccomini (1989), entre outros, elaboraram uma síntese afirmando que as estruturas pré-cambrianas mais proeminentes no sudeste brasileiro são os grandes feixes de cisalhamento dúctil com direção geral ENE a NE, de movimentação dextral e E-W a NW de caráter

sinistral. Estas estruturas têm geometria sinuosa separando porções alongadas ou sigmoidais, imprimindo um padrão de blocos amendoados. Elas apresentam larguras quilométricas, comprimentos de até centenas de quilômetros e faixas expressivas de milonitos, ultramilonitos e blastomilonitos associados. Em termos de estruturas planares, destaca-se nas rochas pré-cambrianas o bandeamento composicional à xistosidade e a foliação milonitica. Os bandeamentos caracterizam-se pela alternância de bandas máficas com félsicas quartzo-feldspáticas.

Entre as características desses bandeamentos destaca-se a xistosidade com minerais placóides ou prismáticos e de agregados lenticulares de minerais, resultantes das condições dinâmicas associadas ao metamorfismo regional. A foliação milonitica forma-se como produto do fluxo plástico lamelar imposto por cisalhamento simples ao longo das zonas cisalhantes.

> As estruturas lineares mais importantes são a lineação mineral e a lineação de estiramento associadas às rochas miloniticas, que coincidem com o eixo de maior estiramento deformacional (ROSS, 2002, p24).

3.3.2 Clima

De acordo com (MENDONÇA et al, 2007), o Brasil apresenta características climáticas bem diversas apresentado dimensões continentais. A tropicalidade é uma de suas principais características e dos fatores acentuam estes fatores, a influência da maritimidade e da continentalidade e da altitude. As características e disposições do relevo são aspectos fundamentais também na análise dos climas das regiões sul e sudeste do país.

Além disso, o Brasil apresenta diversos climas regionais, entre eles a regiões norte apresenta o tipo equatorial e no extremo sul o clima subtropical no sul.

A Figura 15 apresenta de forma geral os principais tipos de climas do país.

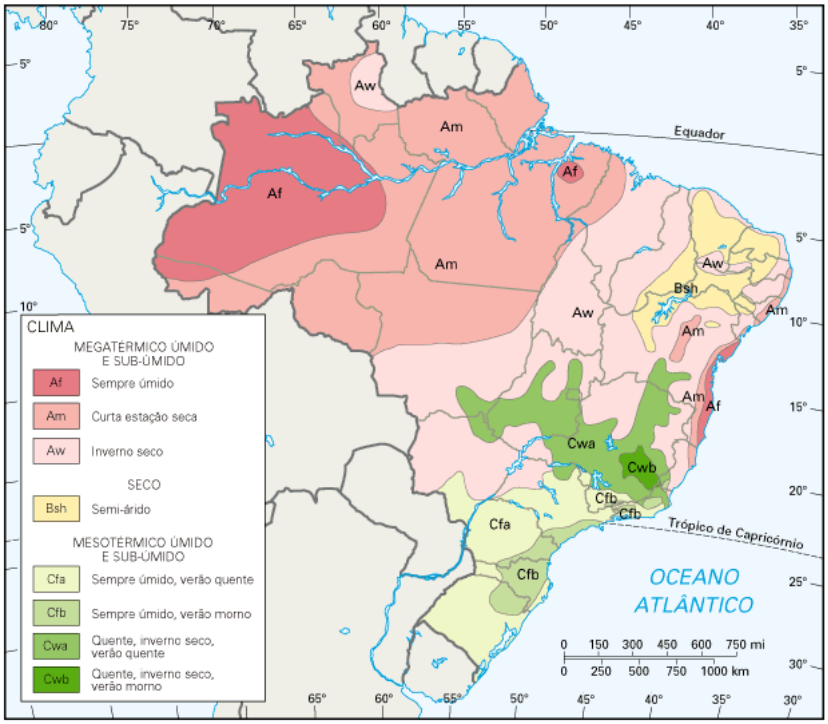


Figura 15 - Climas do Brasil
Fonte: (IBGE, 2010).

Além disso, nosso território apresenta grande influencia ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), com exceção da parte localizada ao sul do trópico de Capricórnio, onde a massa polar atlântica tem papel de destaque nos meses mais frios.

O Brasil sofre a influência de praticamente todas as massas de ar que atuam na América do Sul, exceto as que têm origem no oceano Pacífico (oeste), cuja influência é limitada pela Cordilheira dos Andes, que barra a sua passagem para o interior do continente.

As regiões Sul e Sudeste apresentam forte influencia da Massa Polar Atlântica e Massa Tropical Atlântica, em alguns períodos e principalmente na região mais a oeste os avanços das Massa Tropical Continental e Massa Equatorial continental podem influenciar a dinâmica local, porém estas atuantes podem ser associadas a outros parâmetros meteorológicos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul, Jatos Subtropicais e entre outros.

3.3.3 Geologia

No contexto geológico as regiões do Sul e Sudeste apresentam características similares. As regiões podem ser caracterizadas principalmente em dois contextos geológicos distintos, o primeiro são formações de rochas cristalinas do período Pré Cambriano, rochas de grande resistência e o outro contexto é a área da Bacia Sedimentar do Paraná. As regiões no extremo leste dos estados entre Minas Gerais até o Rio Grande do Sul apresentam este contexto geológico.

Para melhor entendimento o pode-se determinar que o complexo cristalino pré-cambriano das regiões Sul e Sudeste do Brasil caracterizam-se pela presença de intrusões alcalinas, extensas falhas transcorrentes, com faixas cataclásticas associadas, e diversas depressões tectônicas, aproximadamente alinhadas em paralelo à linha da costa da região. Atividades sísmicas de baixa intensidade apresentam-se com uma distribuição regional esparsa, sendo, porém mais freqüentes ao longo da borda leste, ao lado da Bacia de Santos na plataforma continental (Berrocal *et al*., 1984).

No contexto da Bacia Sedimentar do Paraná pode-se caracterizar pelas seguintes unidades estratigráficas:

- Grupo Tubarão (Formações Itararé, Palermo, Rio Bonito, Aquidauana, Itacaré e Tatuí),
- Grupo Passa Dois (Formações lrati, Serra Alta, Rio do Rastro e Corumbataí),
- Grupo São Bento (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral),
- Grupo Bauru (Formação Marília) e Sedimentos Cenozóicos.

3.4 Levantamento de Tornados no Sul e Sudeste do Brasil

Os relatos de ocorrências dos tornados foram extraídos de diversos meios de comunicação e tomaram como base os seguintes procedimentos (MARCELINO et al., 2009):

• Consultas a jornais locais e regionais;

• Estudos realizados por pesquisadores independentes publicados em congressos e artigos científicos;

• Pesquisas no site http://www.temposevero.com.br;

• Consultas às estações de registros de TV; às prefeituras e aos órgãos da Defesa Civis municipais;

• Pesquisas a sites de informes de meteorologia local, exemplo MetSul e etc;

• Consultas a Boletins de Clima do Monitoramento preparados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

Os eventos foram compilados a partir da escala de ocorrência municipal na Tabela 7.

Tabela 7 - Ocorrência de Tornados na regiões SUL e SUDESTE - entre 1960 e 2008

Estado	Município	Dia	Mês	Ano	Tipo	Fonte
MG	Itutinga	20	6	2005	Tornado	TempoSevero
PR	Almirante Tamandaré	17	5	1992	Tornado	Marcelino
	Cascavel	28	2	2007	Tornado	TempoSevero
	Cerro Azul	5	10	2007	Tornado	TempoSevero
	Cianorte	11	9	2005	Tornado	TempoSevero
	Curitiba	17	5	1992	Tornado F1/F2	Nechet
	Nova Laranjeiras	13	6	1997		Wiki
	Planalto	15	5	1987	Tornado	Marcelino
	Região Sudoeste	4	10	1998	Tornado F1/F2	Nechet
	São Miguel do Iguaçú	4	10	2005	Tornado	TempoSevero
	São Pedro do Iguaçú/Ivaiporã	14	6	2005	Tornado	TempoSevero
RJ	Macaé	20	6	2005	Tornado	TempoSevero
RS	Ronda Alta	29	9	2007	F2	TempoSevero
	São Gabriel	6	11	2008	F0/F1	MetSul
	Alvorada			1976	Tornado	Marcelino
	Antonio Prado	11	12	2003	Tornado	TempoSevero
	Capão da Canoa	18	3	2007	Tornado	TempoSevero
	Coxilha Cerca Velha	10	9	2005	Tornado	TempoSevero
	Coxilha Velha	5	9	2008	F1	TempoSevero
	Electra	12	11	2003	Tornado	TempoSevero
	Engenho Velho	17	5	2005	Tornado	TempoSevero
	Guaiba			1978	Tornado	Marcelino
	Ivoti	14	10	2005	Tornado	TempoSevero
	Lajeado		9	1967	Tornado	Marcelino
	Mato Leitão	11	9	2008	F1/F2	TempoSevero
	Muitos Capões	29	8	2005	Tornado	TempoSevero

	Osório	13	2	1999	F1/F2	Wiki, Fernandes
	Porto Alegre	11	1	2004	Tornado	TempoSevero

continua...

continuação

Estado	Município	Dia	Mês	Ano	Tipo	Fonte
RS	Quintão	8	11	2008	Tornado	TempoSevero
	Rio Pardinho	5	12	1975	Tornado F0	Nechet
	Santa Maria	8	7	2003	Tornado	TempoSevero
	São Francisco de Paula	20	5	2005	Tornado	TempoSevero
	Sta. Barbara do Sul	16	12	2005	Tornado	TempoSevero
	Três de Maio	1	11	2007	F2	TempoSevero
	Três de Maio	28	10	2007	F2	TempoSevero
	Vacaria	20	7	2001	Tornado	Marcelino
	Viamão	9	1	1995	Tornado	Marcelino
	Viamão	4	11	2005	Tornado	TempoSevero
SC	Abdon Batista	7	2	1998	Tornado	Marcelino
	Benedito Novo	29	11	2005	Tornado	TempoSevero
	Boava (São Joaquim)	28	1	1977	Tornado	Marcelino
	Campeche, Florianópolis	22	7	2007	Tornado	TempoSevero
	Campos Novos	26	10	2008	F0	TempoSevero
	Canoinhas	14	11	2007	F1	TempoSevero
	Chapecó	18	11	2003	Tornado	TempoSevero
	Chapecó	24	11	1989	Tornado	Marcelino
	Florianópolis	7	2	1997	Tornado	Marcelino
	Florianópolis	24	11	1999	Tornado	Marcelino
	Forquilhinha	8	8	1976	Tornado F3	Marcelino
	Guarujá do Sul	24	11	1989	Tornado	Marcelino
	Guaruva	25	12	2007	F0	TempoSevero
	Guaraciaba	7	9	2009	F3	G1/Pref.Munic. Guaraciaba
	Içara	1	11	2007	F0	TempoSevero

	Imbituba	15	10	1987	Tornado	Marcelino
	Itapoá	31	1	1999	Tornado F2	Marcelino
	Litoral	8	10	1984	Tornado F3	Marcelino
	Maravilha	27	2	1996	Tornado F1	Marcelino

continua...

continuação

Estado	Município	Dia	Mês	Ano	Tipo	Fonte
SC	Meleiro	21	2	2003	Tornado	TempoSevero
	Painel	1	2	2008	Tornado	TempoSevero
	Papanduva	24	9	1995	Tornado	Marcelino
	Paraíso	5	4	1997	Tornado	Marcelino
	Ratones	8	8	1976	Tornado	Marcelino
	Rio dos Cedros	11	11	1989	Tornado	Marcelino
	São Francisco Sul	10	2	2007	Tornado	TempoSevero
	São Joaquim	13	5	1987	Tornado F3	Marcelino
	São Joaquim	16	2	2008	Tornado	TempoSevero
	Xanxerê	7	7	1987	Tornado F2	Marcelino
	Xanxerê	11	11	1989	Tornado	Marcelino
	Xanxerê	26	4	1991	Tornado F1	Silva Dias, Grammelsbacher, RBMET
SP	ABC	30	11	1991	Tornado F0	Nechet, Antonio
	Bauru	19	2	2007	Funil	TempoSevero
	Bertioga	2	1	2005	Tornado	TempoSevero
	Boituva	10	3	1993	Tornado	Marcelino
	Campinas	4	5	2001	Tornado F3	Wiki
	Campinas	28	11	1995		Wiki
	Campinas	24	5	2005	Tornado	TempoSevero
	Capivari	14	9	1923	Tornado	Marcelino
	Chavantes e Ourinhos	26	4	1991	Tornado F1	Silva Dias, Grammelsbacher, RBMET

	Ilha Comprida	4	5	2005	Tornado F3	wiki, Albrecht, Nascimento
	Indaiatuba	30	9	1991	Tornado F3	Massambani, Menezes, TS, Nechet

continua...

conclusão

Estado	Município	Dia	Mês	Ano	Tipo	Fonte
	Indaiatuba	24	5	2005	Tornado F3	IARA/BRUNO/ MARCELINO/N ECHET
	Itú	25	5	2004	Tornado	TempoSevero
	Lençóis Paulista	25	5	2004	Tornado	TempoSevero
SP	Lins	25	12	2008	F0/F1	IPMET/UNESP
	Palmital	9	3	2007	Tornado	TempoSevero
	Peruíbe	15	5	1987	Tornado	Marcelino
	Populina	19	4	2004	Tornado	TempoSevero
	Ribeirão Preto	14	5	1994	Tornado F1	Nechet, Menezes
	Ribeirão Preto	23	2	1957	Tornado F0	Nechet

Fonte: (Adaptado de SILVA DIAS, 2011).

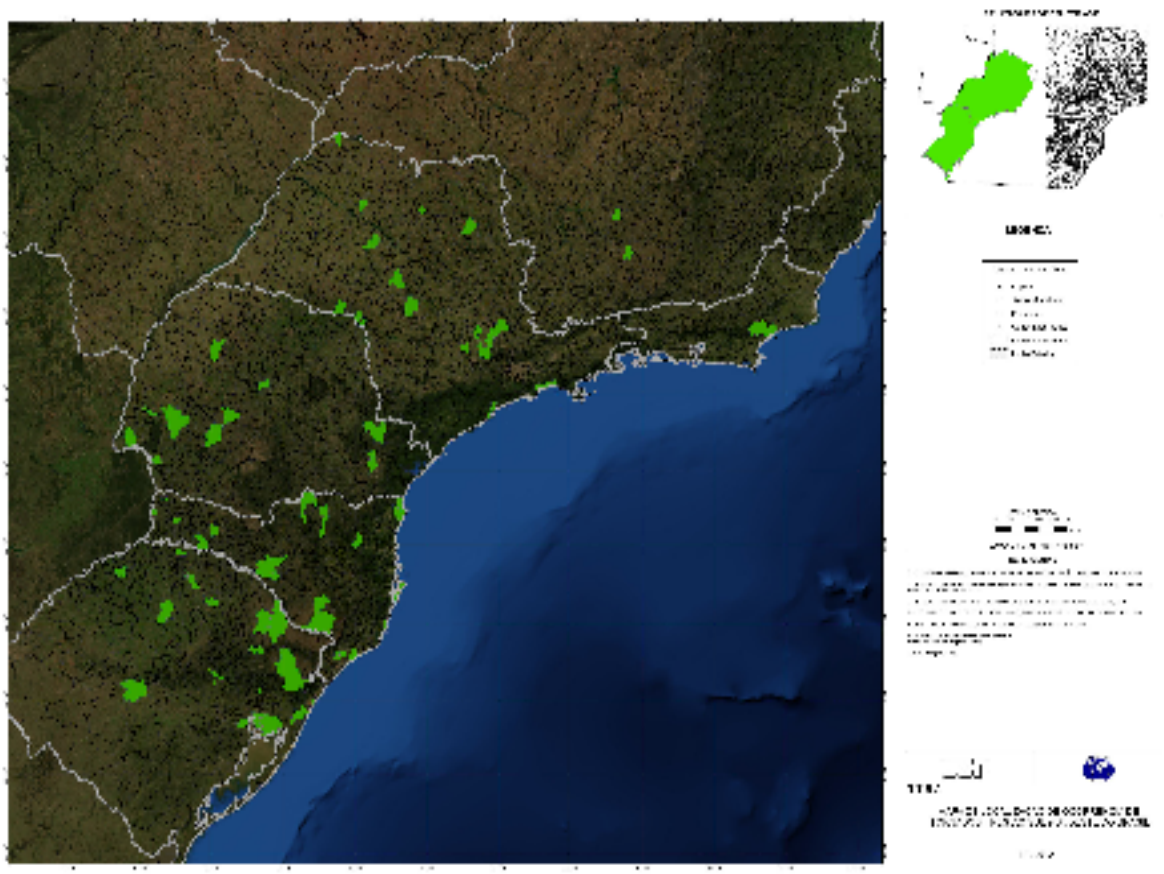


Figura 16 - Disposição geográfica dos eventos de tornados na regiões SUL e SUDESTE - entre 1960 e 2008

Entre os 89 casos registrados ao longo das regiões Sul e Sudeste, seis eventos tiveram seu traçado exato identificado, foram analisados quanto aos aspectos gênese, desenvolvimento e dissipação e foram cruzados com dados de uso e ocupação do solo e topografia da área. Para estas análises foram realizadas confirmações por meio de imagens de satélite, dados de reanálises do NCEP, imagens de radar, boletins climanálise (INPE), dados de campo e notícias extraídas dos meios eletrônicos. A confirmação do traçado dos tornados só foi possível devido a disponibilização dos por meio eletrônico, principalmente na divulgação de notícias.

3.5 Análise da sazonalidade de ocorrência dos tornados no Brasil

Analisando a ocorrência de casos de tornados no Brasil entre 1960 e 2008, foram elaborados gráficos e tabelas que apontam dois fatores: a sazonalidade da ocorrência dos eventos e a distribuição geográfica do evento. Conforme pode ser observados na Figura 17:

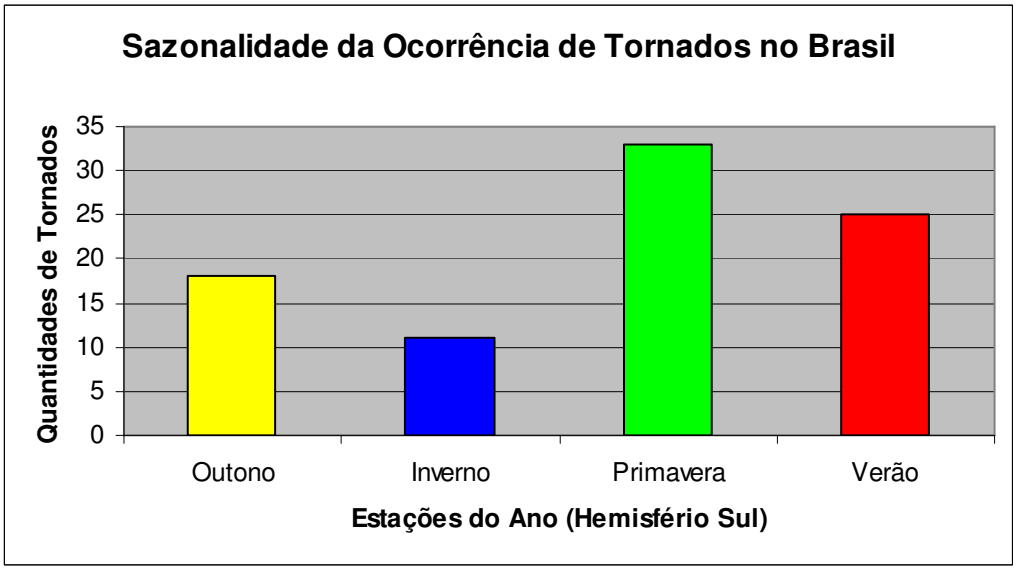


Figura 17 – Análise da sazonalidade da ocorrência de tornados no sul e sudeste do Brasil

3.6 Caracterização dos tipos de relevo e uso/cobertura do solo mais propícios às ocorrências de tornados

Para correlacionar os diversos usos e ocupações das regiões onde foram registrados os eventos de tornados no Sul e Sudeste do Brasil foram utilizadas as classificações da superfície terrestres geradas pelo programa GlobCover 2009 (Figura 18) da Agência Espacial Européia (ESA). O GlobCover 2009 atualiza o mapa anterior, de 2005, por meio da análise de dados obtidos pelo espectrômetro com resolução de 300 metros a bordo do satélite Envisat.

O trabalho foi feito por pesquisadores da ESA e da Universidade Católica de Louvain, na Bélgica. Foram processados dados colhidos pelo Envisat de 1° de janeiro a 31 de dezembro de 2009. As legendas do mapa adotam o Sistema de Classificação de Cobertura Territorial da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO).

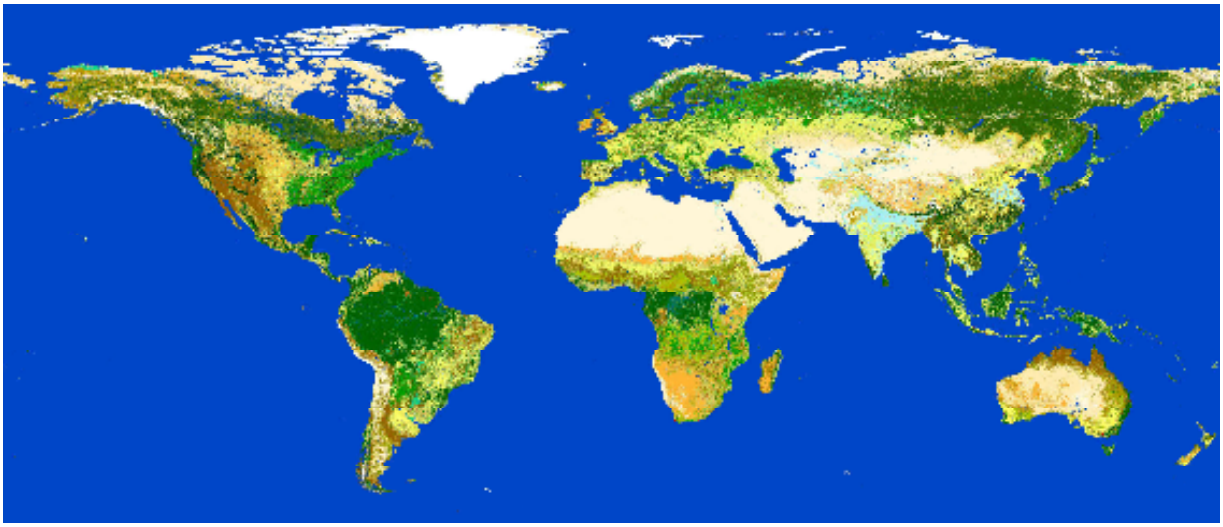


Figura 18 – Mapa gerado pelo programa GlobCover – 2009
Fonte: (ESA, 2009).

Os mapas de uso e ocupação do solo foram associados à localidade de ocorrência dos tornados, conforme a Figura 19. Os eventos foram espacializados no âmbito municipal e, após análise mais precisa de relatos do local exato de passagem de cada tornado, foram interpretados os padrões de cobertura de solo, a partir dos dados fornecidos pela ESA.

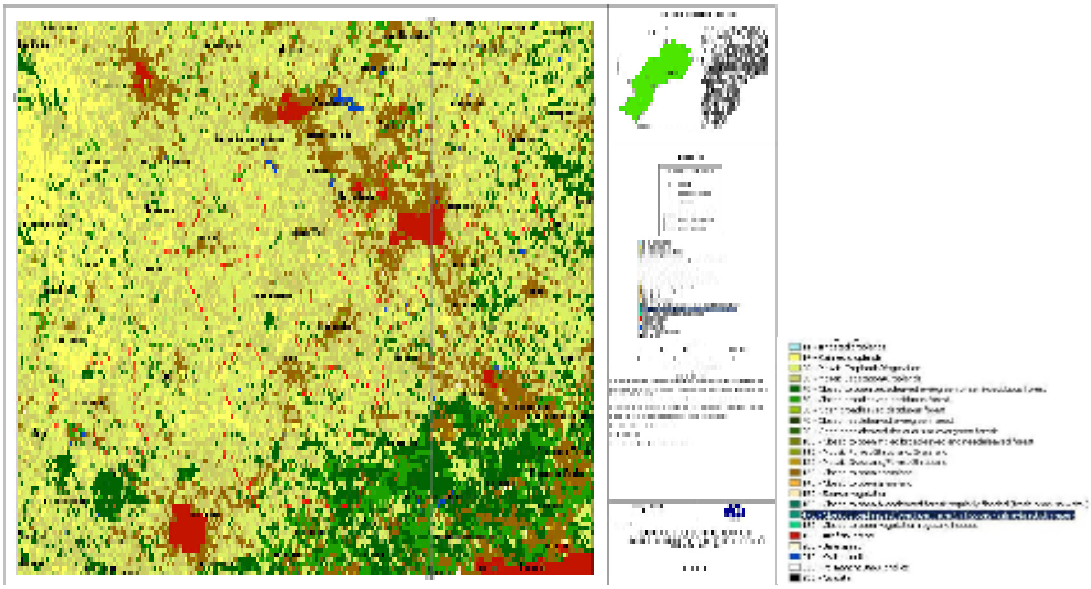


Figura 19 - Planta correlacionando o uso e ocupação da região atingida pelo tornado e o limite municipal.

Após esta etapa, estes dados foram organizados em um banco de dados e associados ao software *Spring* 5.2.2. Para a classificação das imagens foram utilizados os parâmetros de classificação por região, nestes tipos de classificações são utilizadas, além de informações espectrais de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos.

Além disso, nesta dissertação foi utilizada a técnica multiespectral supervisionada (onde o usuário indica quais classes se agrupam).

No final foram elaboradas as tabelas que apresentam os índices de cobertura do uso e ocupação do solo por estado. Com estes dados foram extraídos as médias que apresentam o resultado final da análise, indicando assim as tendências de uso e ocupação do solo nas regiões que ocorrem os eventos de tornado.

3.7 Topografia

Alguns estudos indicam a possível relação entre as condicionantes do relevo e o aumento ou diminuição de intensidade de fenômenos como fortes tempestades e formação de tornados. De acordo com as análises realizadas por BERTONI *et al*. (2010), o tornado ocorrido na cidade de Indaiatuba em 2005 apresenta estas características peculiares, onde o aumento da intensidade do evento está associado a regiões de topos de vales e a diminuição da intensidade está associada às vertentes e aos cursos d'água.

No caso desta dissertação foram realizados alguns trabalhos de campo a fim de identificar áreas com relatos de tornados e, se possível, obter informações relevantes sobre o evento junto aos moradores atingidos e a Defesa Civil.

Os municípios atingidos pelos tornados foram espacializados utilizando a base municipal fornecida pelo IBGE. Após esta etapa, os municípios foram espacializados com o auxílio do *Software ArcGis* 10 (ESRI, 2012). Os mapas das regiões atingidas foram confeccionados em formato A3 e tiveram a escala adequada para as análises necessárias.

Para a elaboração das plantas topográficas e definição das regiões de ocorrência dos tornados foram inicialmente elaborados mapas dos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul utilizando a metodologia a partir da base de dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil (Figura 20), obtidos pela nave espacial americana durante a missão conhecida como SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Esta missão foi desenvolvida pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pelo NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) dos Estados Unidos no ano 2000. Os dados obtidos pelo mapeamento foram disponibilizados pelo USGS Eros Data Center (*United States Geological Survey*).

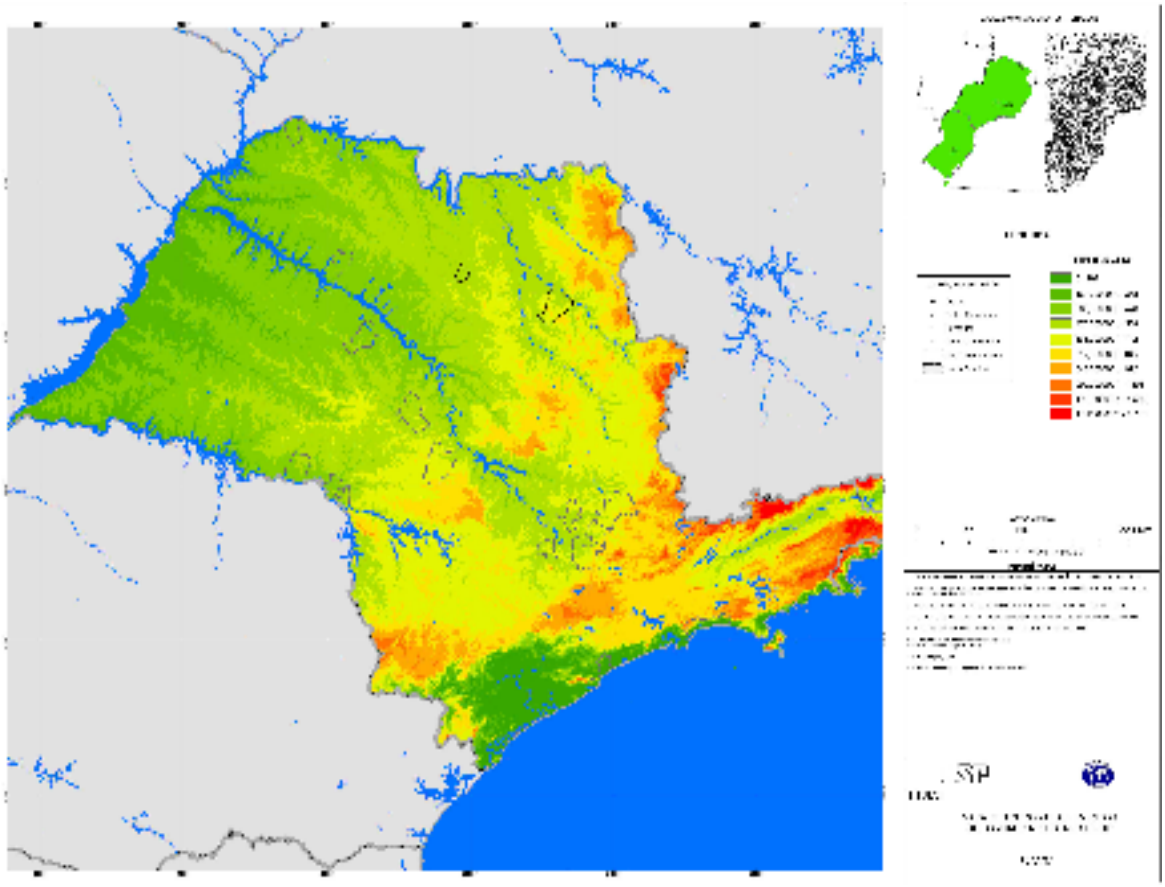


Figura 20– Topografia gerada a partir da missão SRTM

Os dados originais foram obtidos em formato raster, com resolução radiométrica de 16 bits, em formato HGT, projeção geográfica, elevações referenciadas para o geóide WGS84 EGM96 e datum horizontal WGS84.

Para cada área de 90 m x 90 m do território nacional, dispõe-se de uma medida altimétrica precisa. Esse gigantesco arquivo de base foi recuperado e tratado matematicamente através de modelos que permitem reconstituir o relevo do país, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea.

Também foram utilizados como fonte de informações, os modelos digitais de elevação da América do Sul derivados do SRTM e pós-processados pela *Food Agriculture Organization/United Nations Environment Programme* (FAO/UNEP), no âmbito do programa *Global Land Cover Network* (GLCN).

3.7.1 Método de Elaboração dos Mosaicos

Para a execução dos mosaicos estaduais disponibilizados neste estudo, foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos, com a utilização de ferramentas de geoprocessamento e de tecnologia da informação:

- Refinamento do modelo digital de elevação do SRTM;
- Geração da imagem de relevo realçado para cada Unidade da Federação.

Após a definição exata dos locais de ocorrência dos tornados nos estados, estas informações foram cruzadas com a localização geográfica nas cartas planialtimétricas fornecidas pelo IBGE, nas seguintes escalas: 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000. Estas cartas foram restituídas (informações extraídas de fotografias aéreas) e ficam disponibilizadas em dois formatos, um no formato digital (em .pdf) sem georeferenciamento e outra no formato analógico (papel). Nestes dois casos as cartas utilizadas foram vetorizadas seguindo os seguintes padrões:

- vetorização de cartas do mapeamento topográfico sistemático, nas escalas 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e/ou 1:250.000;
- arquivos raster editados e georeferenciados conforme o sistema de projeção e o datum horizontal de cada carta topográfica, correspondentes aos fotolitos ou originais de restituição/compilação/gravação das cartas do mapeamento topográfico sistemático, nas escalas 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e/ou 1:250.000;
- o processo de vetorização não pode alterar os parâmetros relativos ao sistema de projeção e ao datum horizontal do sistema geodésico utilizados no georeferenciamento dos arquivos *raster*, executados pelo IBGE;
- os elementos cartográficos foram determinados conforme as especificações relacionadas na Tabela de Elementos, da Mapoteca Topográfica Digital, do IBGE;
- os arquivos em .dwg foram exportados para o programa de geoprocessamento ArcGis 10 (ESRI, 2010);
- as tolerâncias de erros foram determinadas a partir das distâncias máximas toleradas para espaçamento entre os vértices das linhas (Tabela 8);
- geração de arquivos do tipo *Autocad* (extensão .dwg) com as seguintes "*working units*":

  - *master units* = km;

- sub units = m;
- m por km = 1.000;
- *positional units* por m = 10.

Tabela 8 - Escalas de tolerância do IBGE

1:25.000	2,5 metros
1:50.000	5 metros
1:100.000	10 metros
1:250.000	25 metros

Fonte: (IBGE, 2010).

As regiões do Estado de São Paulo que possuem possibilidades de acesso as cartas topográficas geradas pelas bases planialtimétricas mais precisas, como a da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA (EMPLASA) e a do Instituo Geográfico e Cartográfico (IGC), ambas na escala 1:10.000, foram igualmente vetorizadas seguindo recomendações do IBGE.

Nestes casos, com a evolução das missões espaciais, os satélites de alta resolução espacial, através de imagens de pares estereoscópicos, têm possibilitado o levantamento planialtimétrico em escalas melhores que 1:10.000, como o satélite GeoEye-1 (GEOEYE, 2010).

Este mapeamento, disponibilizado no formato analógico, foi inteiramente vetorizado e após este processamento foi cruzado com a passagem do tornado, gerando os modelos digitais de terreno conforme Figura 21.

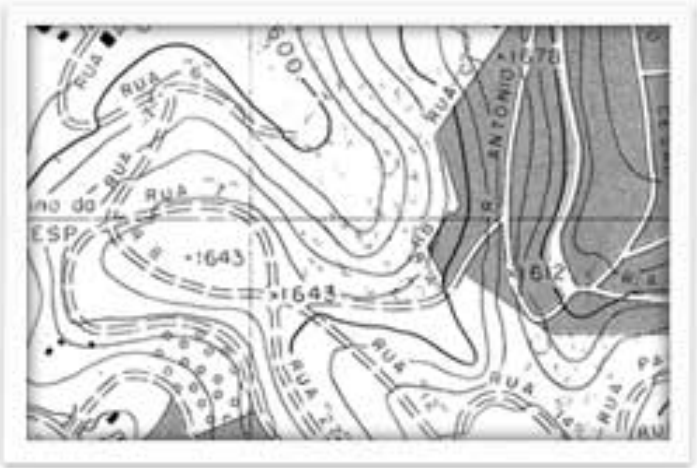


Figura 21 - Carta Topográfica 1:10.000 disponibilizada pelo IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico).
Fonte: (IGC, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sazonalidade dos eventos de tornados no sul e sudeste brasileiro

Entre 1960 e 2008 foram apresentados 89 relatos de casos de tornado nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, sendo a maior parte deles registrados no estado de Santa Catarina, seguido por Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná. Nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro ocorreu apenas um registro em todo o período estudado. A Figura 22 exibe a quantidade de casos de tornados ocorridos nas regiões Sul e Sudeste.

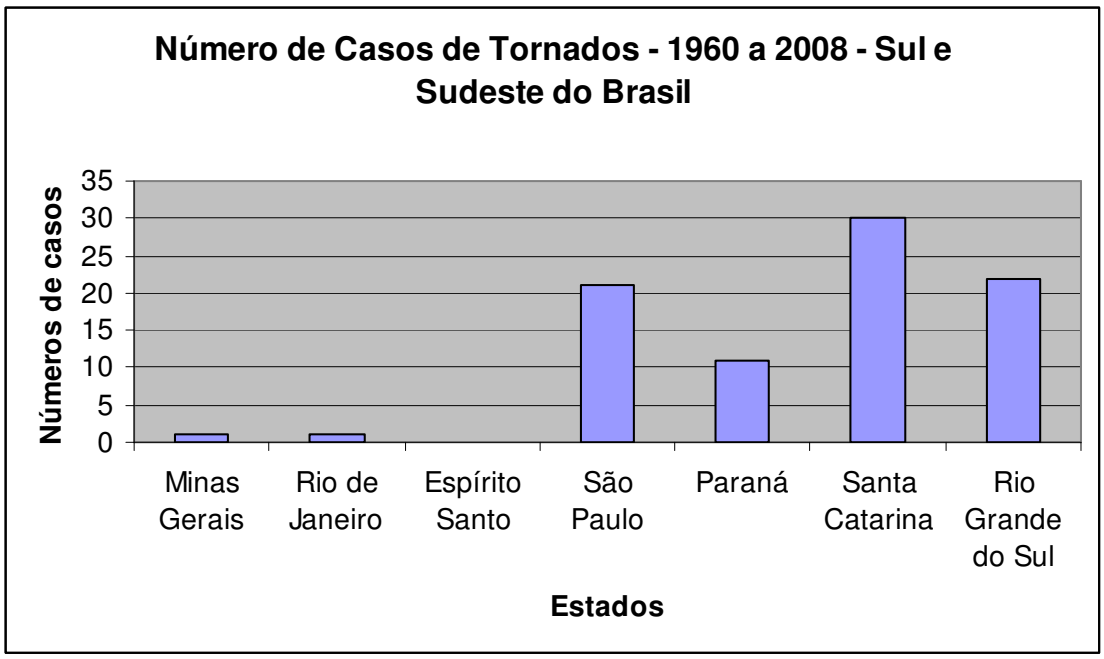


Figura 22 – Registro de casos de tornados entre 1960 a 2008.

Os estudos sobre a ocorrência dos tornados nos estados do sul e sudeste apontaram que a maior parte dos eventos se concentrou principalmente entre a primavera e o verão. Porém, entre os estados estudados, os dados apontaram para uma maior variabilidade sazonal que pode ser observada na Figura 23.

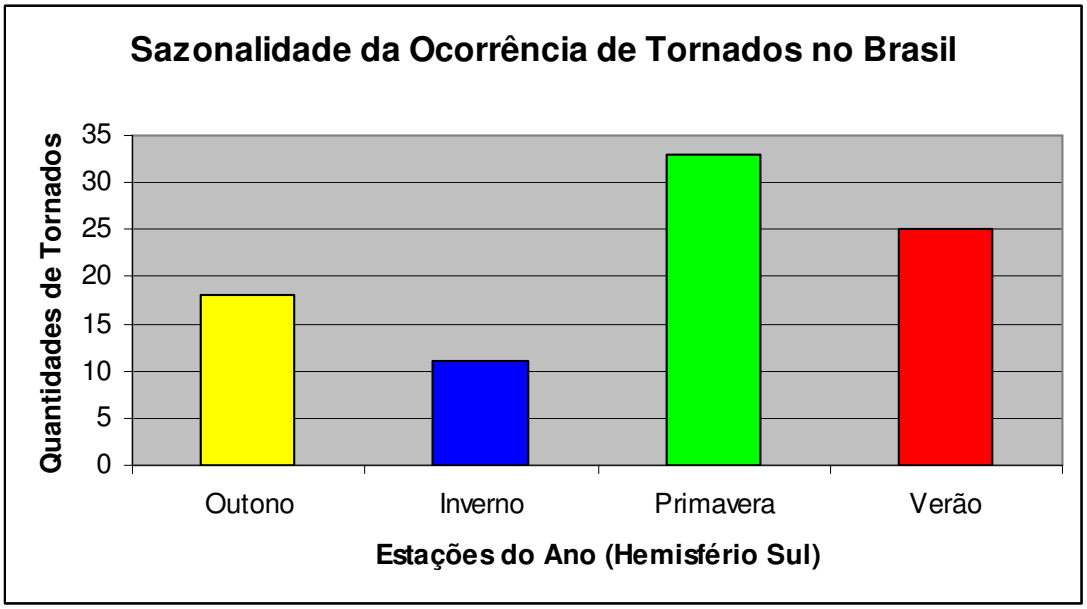


Figura 23 – Sazonalidade registrada entre tornados ocorridos no Sul e Sudeste.

No estado de São Paulo (Figura 24), os casos de tornados foram registrados principalmente entre a primavera, verão e o outono, porém estes eventos se concentraram no período próximo a setembro e outubro, denominado "entre estações", cujas temperaturas começam novamente a subir no hemisfério sul.

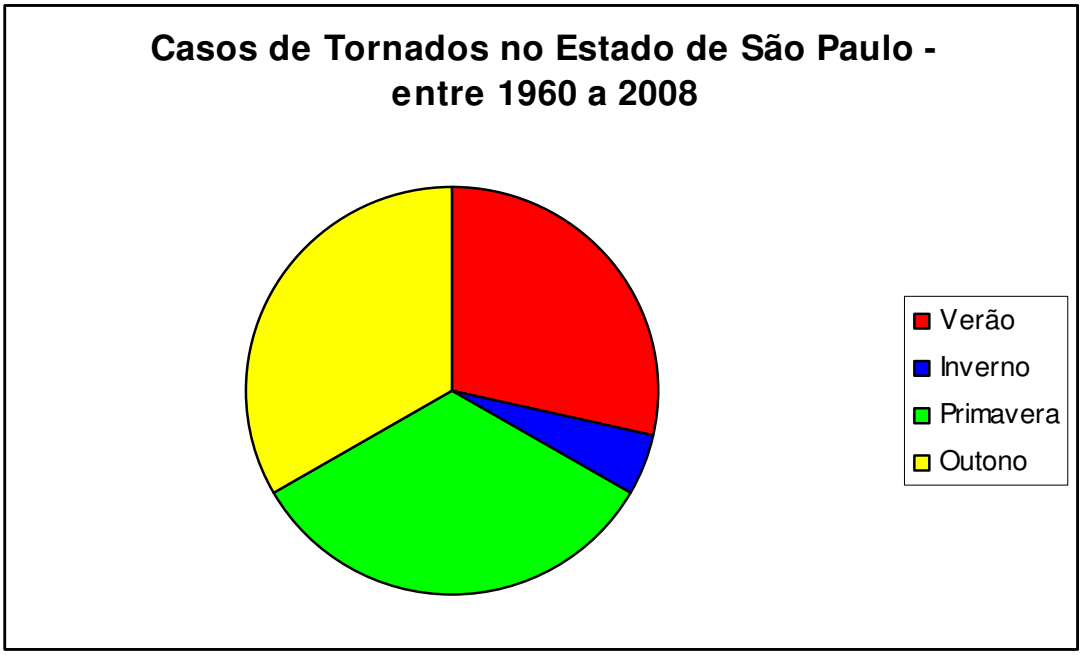


Figura 24 – Casos de Tornados no Estado de São Paulo.

Nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (Figura 25) foi registrado apenas 1 caso. Em ambos os estados, os eventos ocorreram no outono.

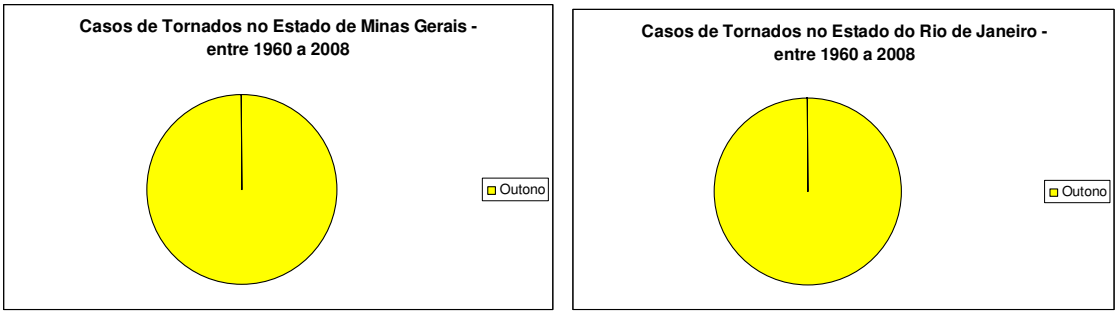


Figura 25 – Casos de Tornados nos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

No estado do Paraná (Figura 26), a maior parte dos eventos ocorreu no outono seguido pelo período da primavera.

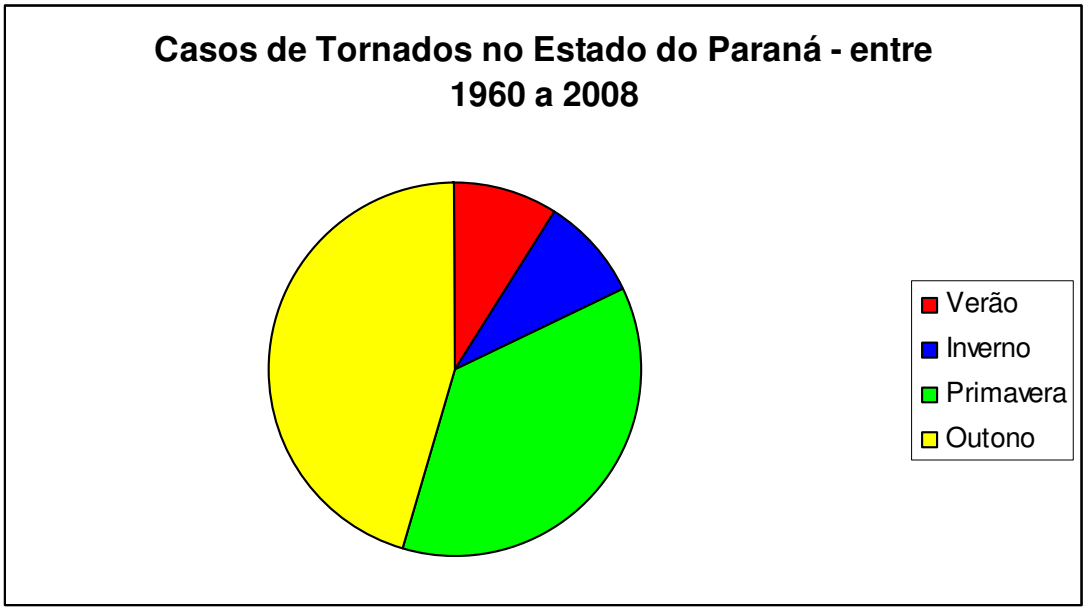


Figura 26 – Casos de Tornados no Estado do Paraná.

No Rio Grande do Sul (Figura 27), os tornados ocorreram predominantemente no verão e primavera.

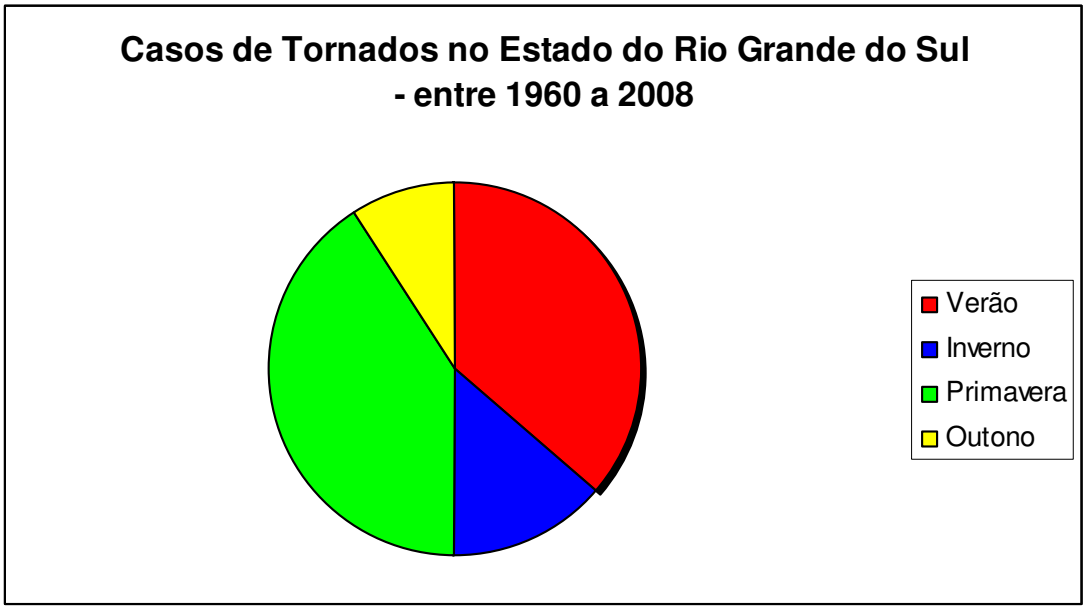


Figura 27 – Casos de Tornados no Estado do Rio Grande do Sul.

No estado onde mais ocorreram tornados, Santa Catarina (Figura 28), os eventos se concentraram na estação mais chuvosa (verão), seguido pela primavera. A menor concentração se deu no outono.

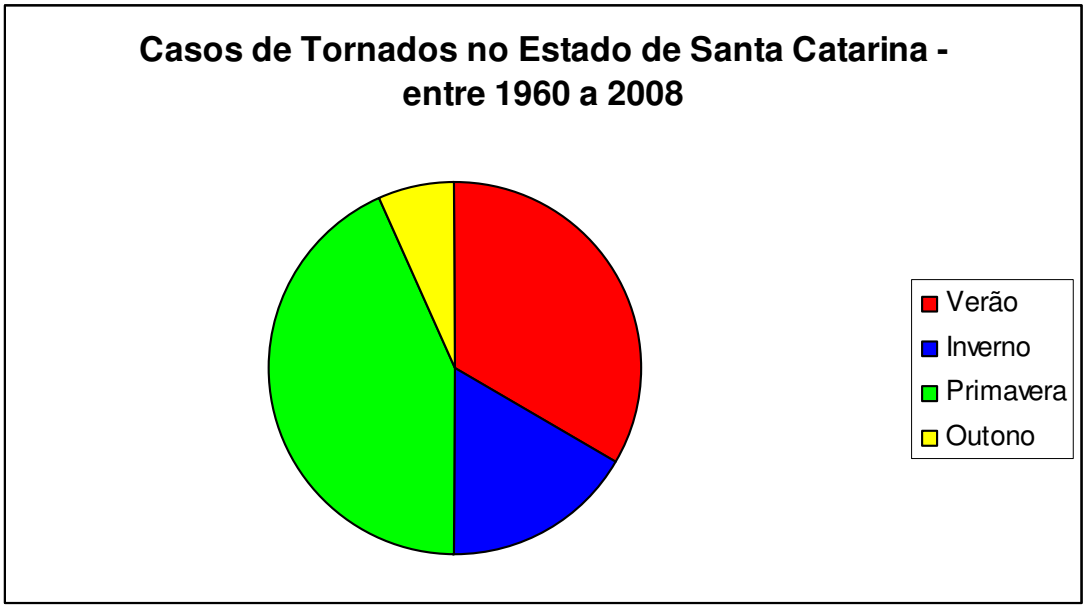


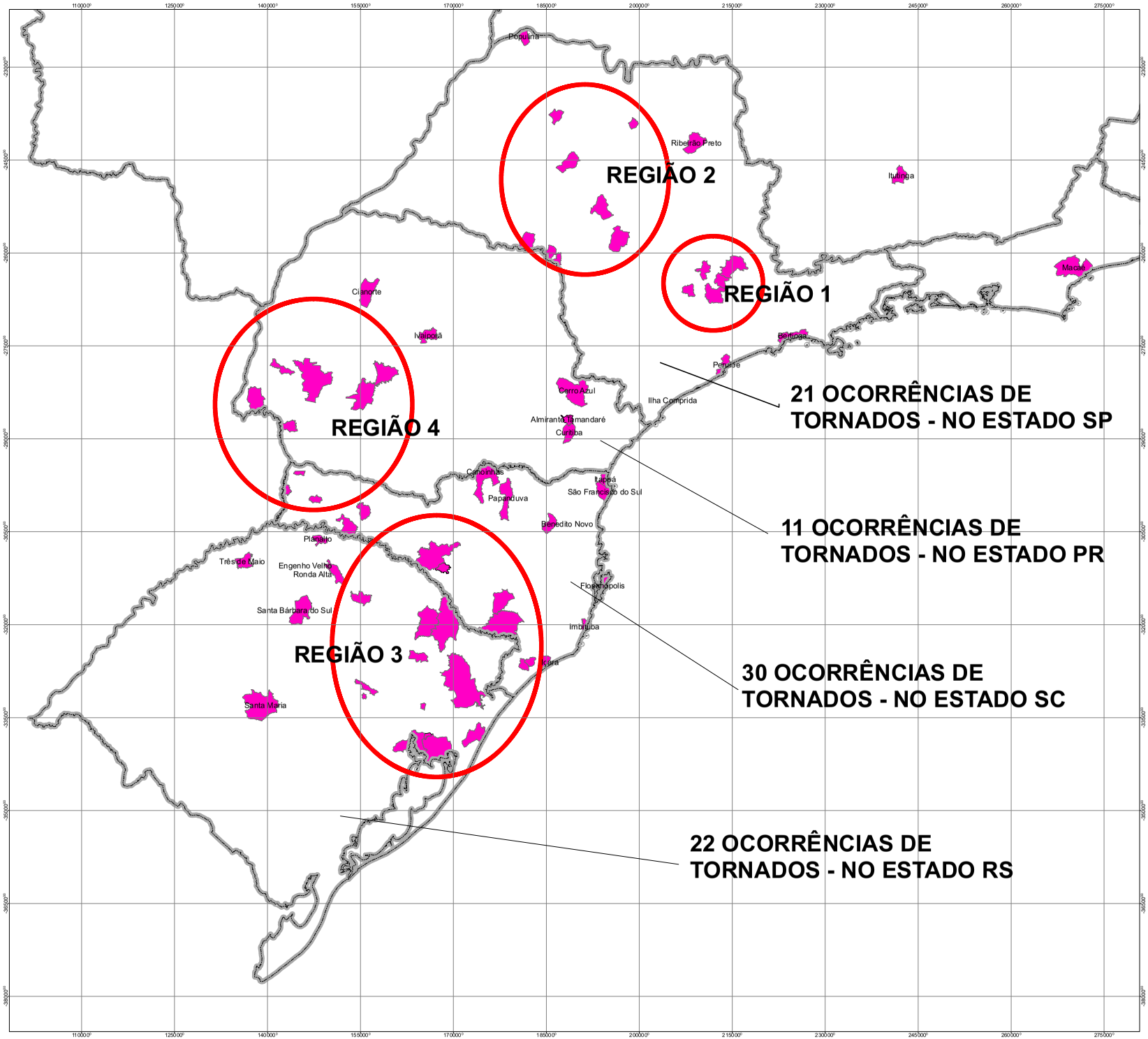
Figura 28 – Casos de Tornados no Estado de Santa Catarina.

4.2 Regionalização da ocorrência de tornados no Brasil

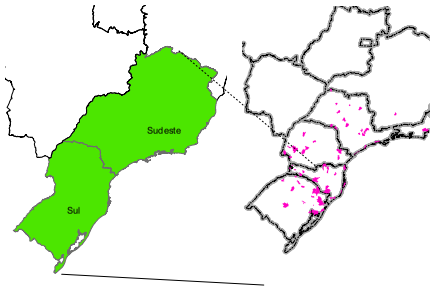
A regionalização dos eventos de tornados é importante principalmente para o melhor entendimento de sua dinâmica e para a melhoria de previsões de ocorrências mais adiantadas, evitando assim tragédias de grandes proporções.

Neste estudo são apontadas as regiões nos estados do Sul e Sudeste onde houve maior ocorrência de tornados. Nestas localidades foram estudados quatro eventos, um em cada região apontada como localização de maior concentração dos tornados, principalmente associadas a delimitações municipais.

A Planta de Regionalização observada na página a seguir apresenta a regionalização proposta, definindo as macro-regiões de ocorrência dos tornados no sul e sudeste.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Município de Ocorrência de Tornado
- Regiões de Maior Quantidade de Casos de Tornados

ESCALA GRÁFICA

0 30 60 90 120 150 Km

ESCALA ORIGINAL (A3): 1:9.000.000

ESCALA ORIGINAL (A1): 1:3.000.000

REFERÊNCIAS

1 - DATUM DE REFERÊNCIA ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69 / PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ELETROBRÁS - SIPOT-SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO, 2006.

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6- An increase in the number of tornado reports in Brazil - SILVA DIAS no prelo (2011)

7- ESRI Imagery, 2011

TÍTULO:

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE TORNADOS - REGIÃO SUL e SUDESTE DO BRASIL

REGIÕES DE MAIOR OCORRÊNCIA DE TORNADOS - SUL E SUDESTE DO BRASIL

1:1.000.000

As regiões definidas são:

- Região 1 – Estado de São Paulo – Localidade nas proximidades da região metropolitana de Campinas, abrangendo regiões de topografia mais suave, no trecho entre a depressão periférica e trechos de planaltos e serras do estado de São Paulo, sem acidentes geográficos abruptos. Esta região, também denominada de Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná, apresenta topografia variando entre 450 e 700 metros de altimetria e é predominantemente ocupada por terrenos sedimentares das eras Paleozóica e Mesozóica. Nesta região há o encontro entre os planaltos e serras do Atlântico Leste e Sudeste, predominantemente cristalinos, onde há a presença de superfícies bastante acidentadas, com sucessivas escarpas de planalto, denominadas por Ab' Saber (2005) como região de "domínio dos mares de morros".
- Região 2 – Trecho Oeste Paulista – Região que abrange o centro do estado de São Paulo na direção NO, área do Planalto Ocidental Paulista, recobrindo a metade do território paulista, contendo relevo caracterizado por pequenas ondulações, com colinas de topos aplainados amplos e baixos na direção dos municípios de Lençóis Paulistas até o município de Planalto.
- Região 3 – Região Metropolitana de Porto Alegre, próxima a Lagoa do Patos, na direção centro-sul até a proximidade do município de Santa Maria. O trecho apresenta baixas altitudes, que variam em torno dos 200 m. A região é denominada Depressão Periféricas sul-rio-grandense e ocupa terrenos sedimentares drenados pelas águas dos rios Jacuí e Ibicuír.
- Região 4 – Oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná – onde se encontram características dos planaltos e chapadas da bacia do Paraná, caracterizando-se por terrenos sedimentares e pelos depósitos de rocha de origem vulcânica, camadas de basalto intercaladas por camadas de arenito. A superfície planáltica é regular e se inclina suavemente para oeste. Esta região abrange o Planalto Serrano Catarinense, região que apresenta elevação altimétrica entre 400 e 800 m. A Figura 29 apresenta o perfil longitudinal de elevação exagerado da região.

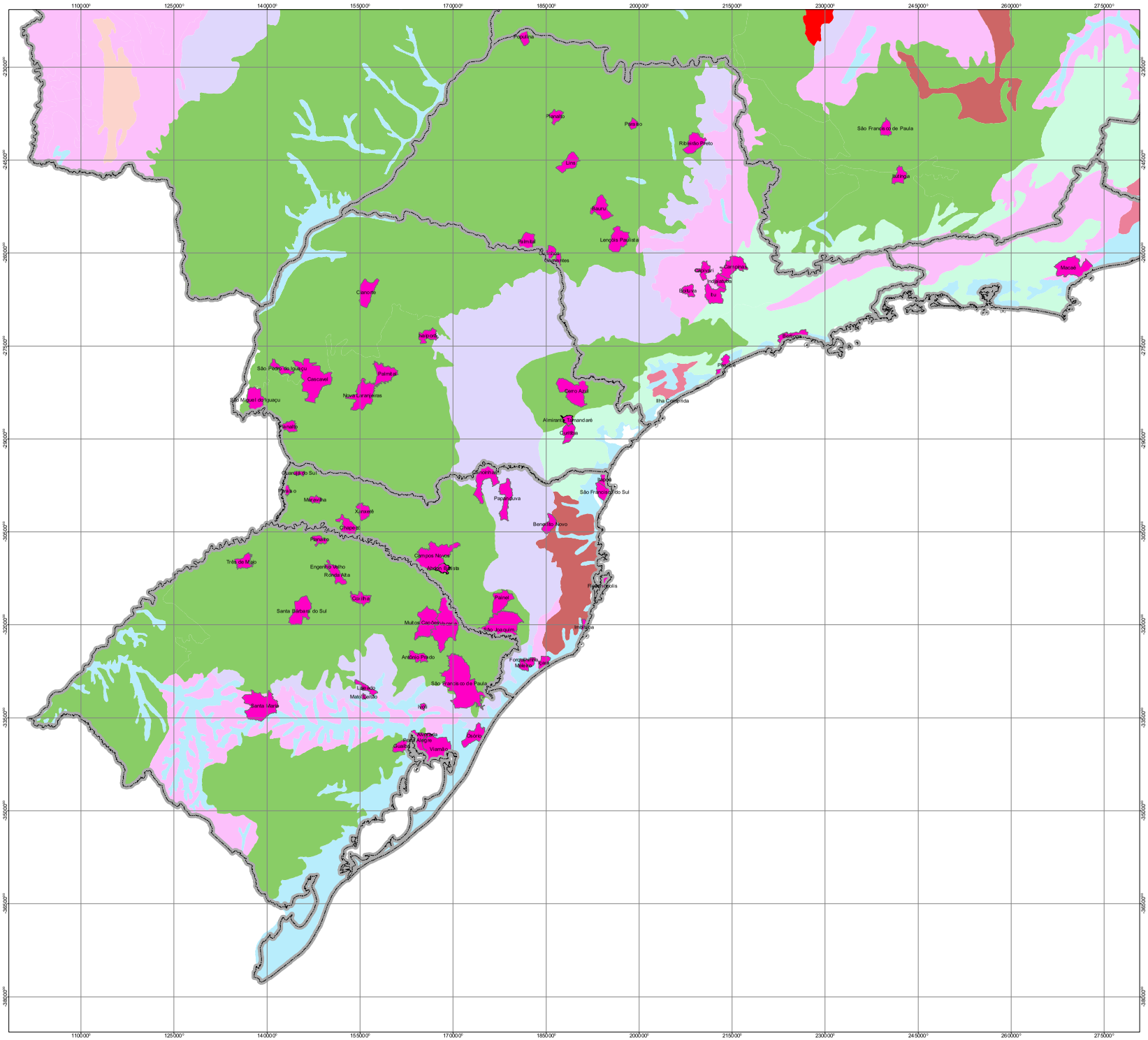
Figura 29 - Perfil longitudinal de elevação do relevo associado a geologia do local entre o oeste de Santa Catarina e paranaense.
Fonte: (Minopar, 2010)

4.3 Relação entre tornados e características geomorfológicas

A regionalização de ocorrências dos tornados baseou-se na análise de todos os eventos ocorridos durante o período de 1960 a 2008 definindo padrões que pudessem ser associados a ocorrência destes eventos de grande potencial destrutivo.

Na análise da componente geomorfológica que pode ser associada diretamente ao relevo onde são formados os tornados, notou-se a maior ocorrência de formação de tornados nas áreas de planalto e em especial no trecho ocidental dos territórios sul e sudeste do país.

Esta caracterização pode ser observada na Planta de Geomorfologia e Tornados que mostra o contexto das grandes formações geomorfológicas do Brasil e a ocorrência dos tornados.


Presidente Prudente
Pirapozinho
Adamantina
Dracena
Tupã
Marília
Ourinhos
Assis
Andradina
Lins
Ribeirão Preto
Bauru
Botucatu
Jaú
Avaré
Itapetininga
Sorocaba
Campinas
Piracicaba
Itu
Jundiaí
São Paulo
Santos
Sorocaba
Registro
Curitiba
Ponta Grossa
Guarapuava
Cascavel
Foz do Iguaçu
Pato Branco
Francisco Beltrão
Laranjeiras do Sul
Cantagalo
Pitanga
Ponta Grossa
Irati
Prudentópolis
Ivaiporã
Apucarana
Londrina
Maringá
Paranavaí
Umuarama
Cianorte
Nova Esperança
Porecatu
Cornélio Procópio
Jacarezinho
Ourinhos
Tupã
Andradina
Dracena
Presidente Prudente
Adamantina
Pirapozinho
Assis
Ourinhos
Marília
Tupã
Lins
Bauru
Botucatu
Avaré
Itapetininga
Sorocaba
Jundiaí
Campinas
Piracicaba
Itu
Ribeirão Preto
Jaú
São Paulo
Santos
Registro
Curitiba
Ponta Grossa
Guarapuava
Irati
Prudentópolis
Ivaiporã
Apucarana
Londrina
Maringá
Paranavaí
Umuarama
Cianorte
Nova Esperança
Porecatu
Cornélio Procópio
Jacarezinho
Cascavel
Foz do Iguaçu
Pato Branco
Francisco Beltrão
Laranjeiras do Sul
Cantagalo
Pitanga
Ponta Grossa

4.4 Tornados e topografia

De acordo com Marcelino (2003), uma condicionante importante para a análise de formação de tornados esta associada ao relevo, contribuindo significativamente na distribuição e intensificação das chuvas, ou seja, proporcionando precipitação pluviométrica diferenciada em cada região devido ao efeito orográfico. Este efeito consiste na elevação do ar quente e úmido próximo às encostas dos morros favorecendo a formação de nuvens cumuliformes e resultando num aumento de precipitação pluviométrica local.

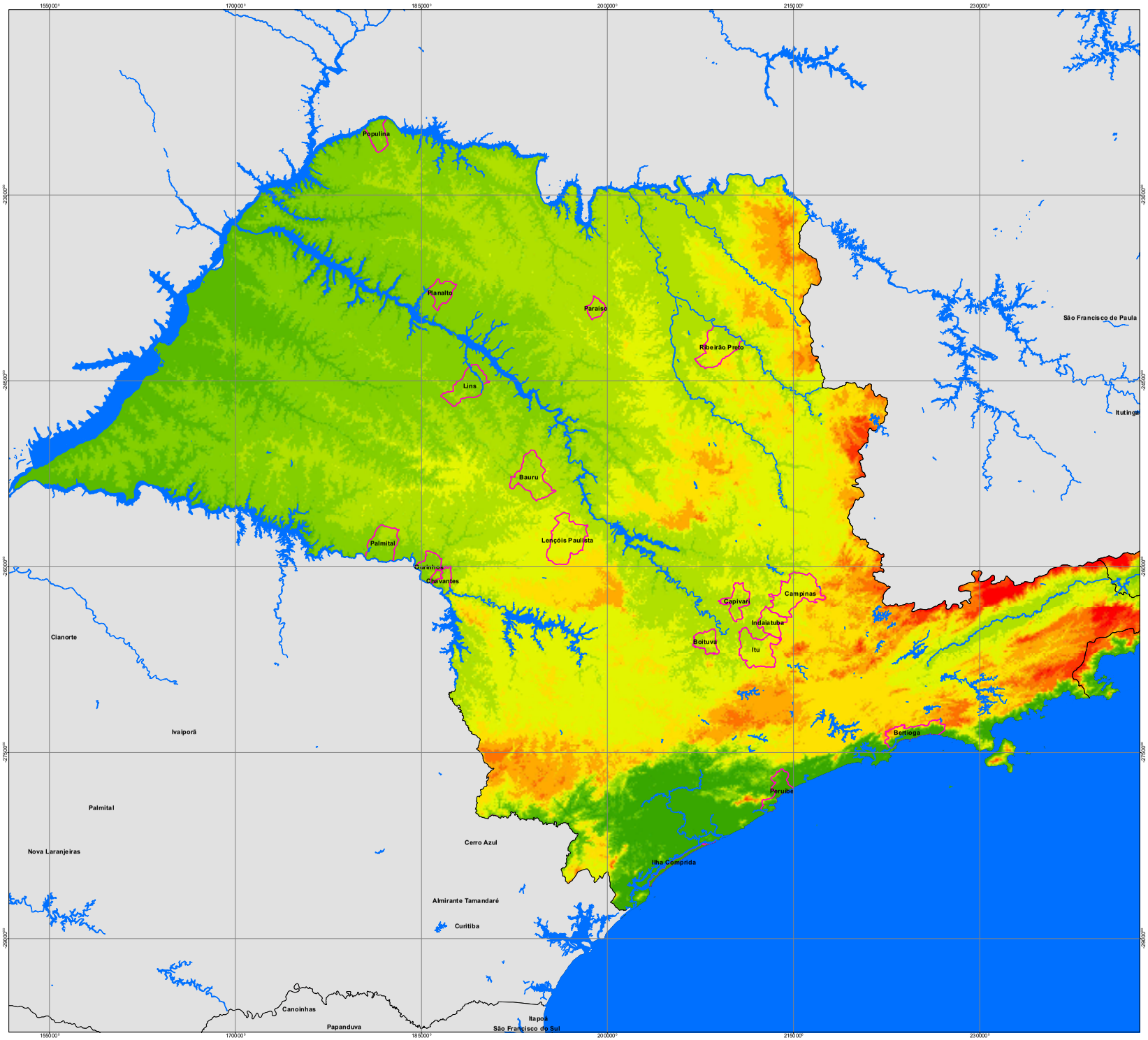
Após a análise da topografia dos 89 casos de tornados registrados no período entre 1960 e 2008 foi constatado que a maior parte dos eventos de tornados esta associada a áreas de planalto, porém as características de topografia, além de influenciarem a formação de efeitos orográficos diferenciados, influenciam sobremaneira as características de chuvas e umidade.

4.4.1 Tornados e topografia – Estado de São Paulo

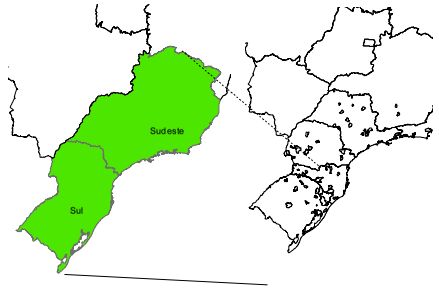
Cerca de 90% dos relatos de tornados no estado de São Paulo ocorreram em áreas que predominam altitudes médias variando entre 300 e 900 metros. Destacam-se regiões predominantemente no trecho do Planalto Atlântico, borda da região de Depressão Periférica na área do Planalto Ocidental Paulista.

A região da Depressão Periférica Paulista é principalmente formada por sedimentos da Bacia do Paraná existentes desde os períodos paleozóico e mesozóico. Nessa região as altitudes se concentram em torno de 600 a 750 metros.

No trecho do Planalto Ocidental Paulista, o relevo é composto por ondulações com colinas de topos aplainados amplos e baixos. Essa formação pode ser observada na Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado de São Paulo.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Município de Ocorrência do Tornado

TOPOGRAFIA

- 0 - 162
- 162,0000001 - 368
- 368,0000001 - 476
- 476,0000001 - 588
- 588,0000001 - 712
- 712,0000001 - 845
- 845,0000001 - 992
- 992,0000001 - 1.193
- 1.193,000001 - 1.516
- 1.516,000001 - 2.785

ESCALA GRÁFICA

0 55 110 220 Km

ESCALA ORIGINAL (A1): 1:1.500.000

REFERÊNCIAS

1 - DATUM DE REFERÊNCIA ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69 / PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ELETROBRÁS - SIPOT-SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO, 2006.

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6- An increase in the number of tornado reports in Brazil - SILVA DIAS no prelo (2011).

7- ESRI Imagery, 2011.

8- ESA - European Space Agency - Ionia GlobCover 2009.

TÍTULO:

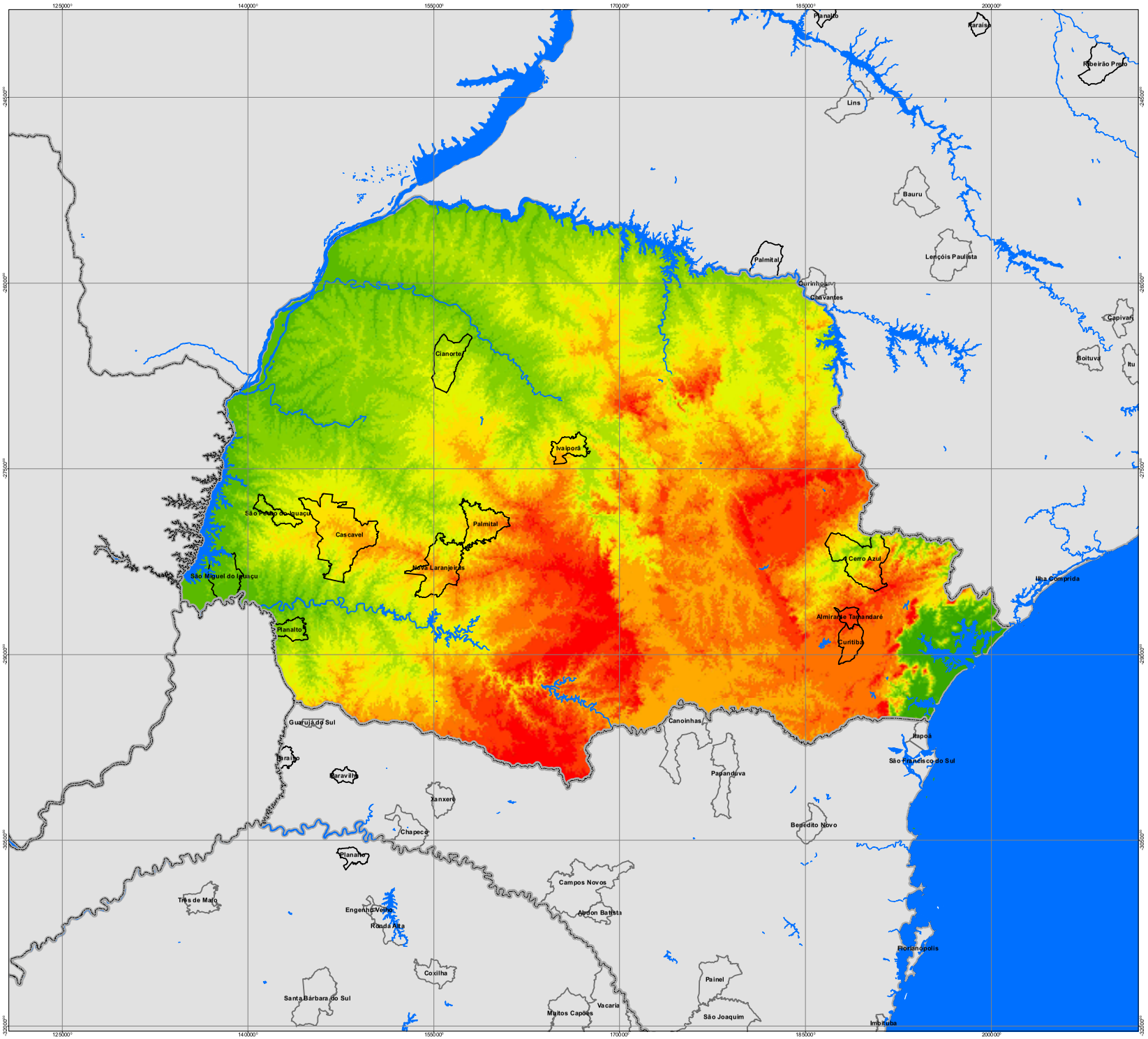
MAPA DE TOPOGRAFIA E EVENTOS DE TORNADO NO ESTADO DE SP

PLANTA

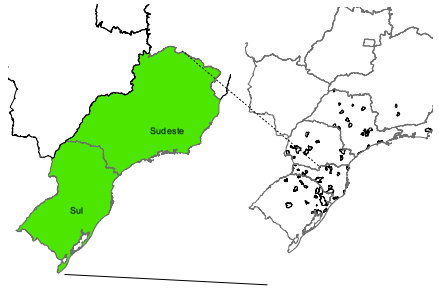
4.4.2 Tornados e topografia – Estado do Paraná

Os eventos ocorridos no estado do Paraná estão localizados principalmente na região dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Rio Paraná. Estas regiões caracterizam-se por áreas de pouca movimentação do relevo e variação altimétrica entre 150 e 700 metros de altitude em relação ao nível do mar.

A região de Curitiba apresenta em seu entorno quatro eventos que foram gerados na área denominada de Cinturões Orogênicos, mais precisamente Planaltos e serras do Atlântico leste sudeste, conforme observado na Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado do Paraná.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Municípios atingidos por tornados

TOPOGRAFIA

- 0 - 137
- 137,0000001 - 305
- 305,0000001 - 406
- 406,0000001 - 508
- 508,0000001 - 615
- 615,0000001 - 730
- 730,0000001 - 845
- 845,0000001 - 960
- 960,0000001 - 1.101
- 1.101,000001 - 1.831

ESCALA GRÁFICA

0 55 110 220 Km

ESCALA ORIGINAL (A1): 1:1.500.000

REFERÊNCIAS

1 - DATUM DE REFERÊNCIA ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69 / PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ELETROBRÁS - SIPOT-SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO, 2006.

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6- An increase in the number of tornado reports in Brazil - SILVA DIAS no prelo (2011).

7- ESRI Imagery, 2011.

8- ESA - European Space Agency - Ionia GlobCover 2009.

TÍTULO:

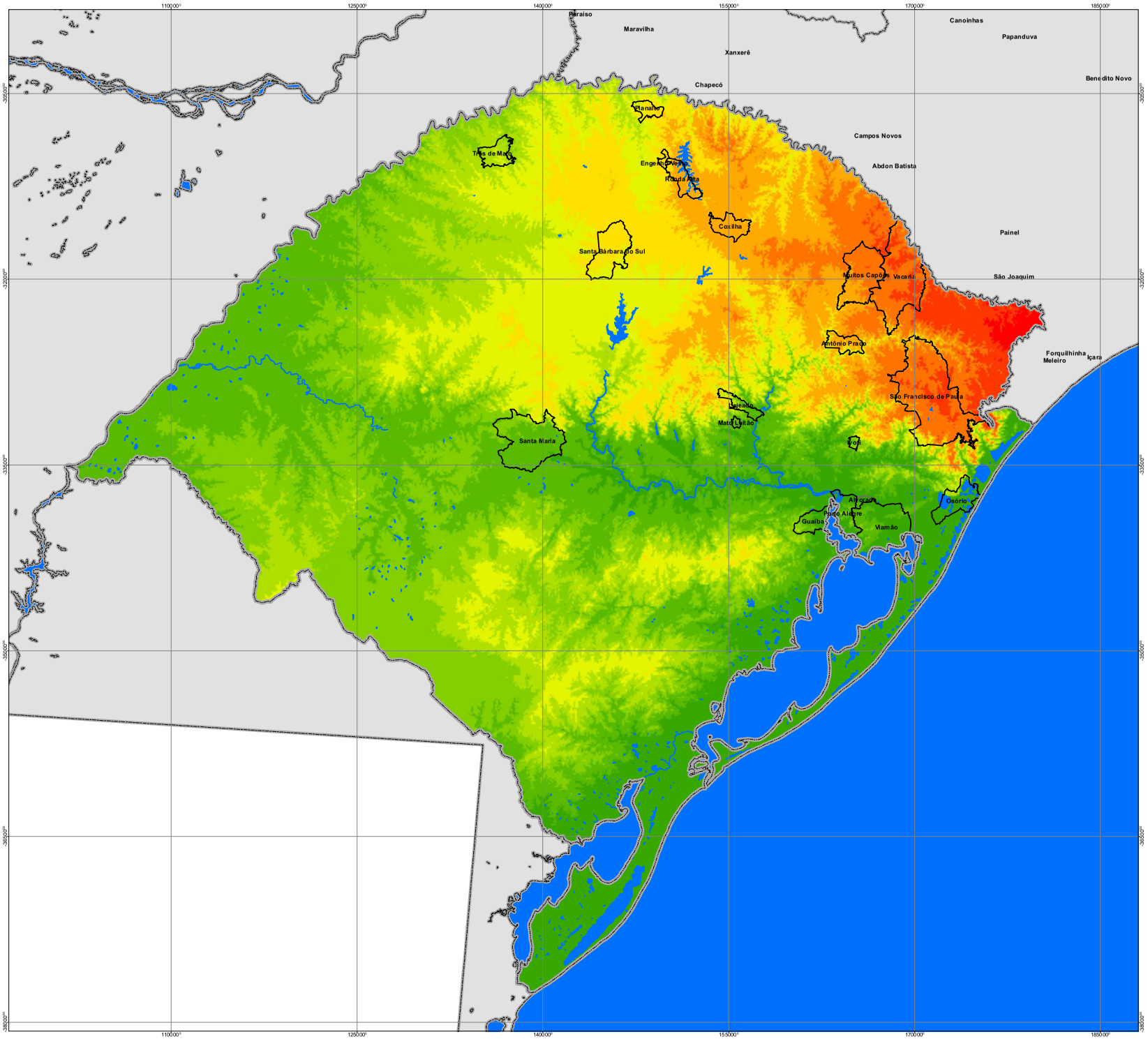
MAPA DE TOPOGRAFIA E EVENTOS DE TORNADO NO ESTADO DO PARANÁ

PLANTA

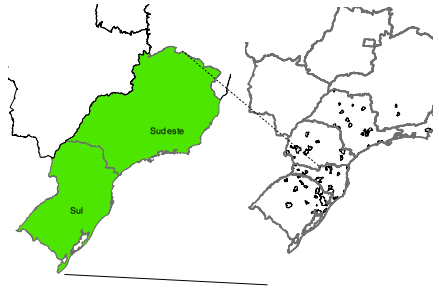
4.4.3 Tornados e topografia – Estado do Rio Grande do Sul

No estado do Rio Grande do Sul, os tornados foram mais freqüentes em áreas de topografia mais aplainada, principalmente na região sedimentar localizada na Lagoa dos Patos e no trecho entre a região de Porto Alegre e as regiões dos Pampas Gaúchos, cuja topografia média varia entre 100 e 200 metros acima do nível do mar.

Os eventos mais ao sul do estado estão localizados na região denominada de Depressão Periférica Sul Rio-grandense, conforme mostra a Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado do Rio Grande do Sul.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Município atingido por tornado

TOPOGRAFIA

VALUE

- 0 - 44
- 44.00000001 - 123
- 123.0000001 - 218
- 218.0000001 - 331
- 331.0000001 - 460
- 460.0000001 - 606
- 606.0000001 - 770
- 770.0000001 - 934
- 934.0000001 - 1,150
- 1,150.000001 - 1,776

ESCALA GRÁFICA

0 55 110 220 Km

ESCALA ORIGINAL (A1): 1:1.500.000

REFERÊNCIAS

1 - DATUM DE REFERÊNCIA ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69 / PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ELETROBRÁS - SIPOT-SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO, 2006.

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6- An increase in the number of tornado reports in Brazil - SILVA DIAS no prelo (2011).

7- ESRI Imagery, 2011.

8- ESA - European Space Agency - Ionia GlobCover 2009.

TÍTULO:

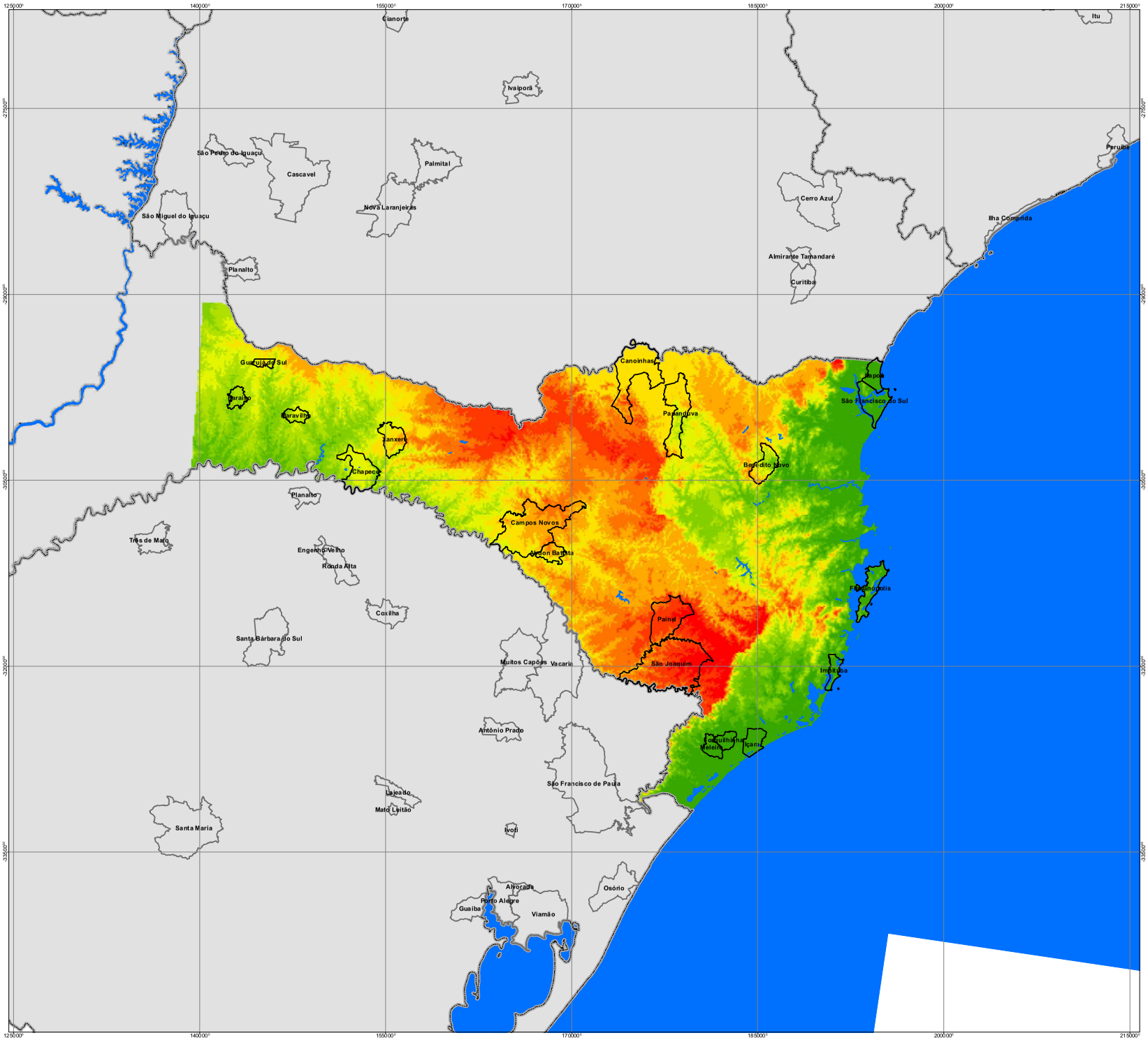
MAPA DE TOPOGRAFIA E EVENTOS
DE TORNADO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

PLANTA

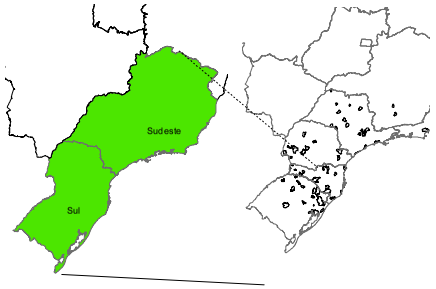
4.4.4 Tornados e topografia – Estado de Santa Catarina

O relevo dominante nas áreas de abrangência dos mapas de topografia relacionados aos tornados de Santa Catarina apresentam topografia variável. O maior número de registros deu-se na área de Planaltos e Chapadas da Bacia do Rio Paraná. Porém, houve registros nas áreas litorâneas caracterizadas por domínios de planícies, terrenos baixos, enseadas e ilhas e denominadas Planaltos e Serras de Leste-Sudeste.

No trecho centro-leste, mais precisamente na Depressão Periférica, não houve registros de tornados o que pode ser observado na Planta de Topografia e Ocorrência de Tornados no Estado de Santa Catarina.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Municípios atingidos por tornados

TOPOGRAFIA

- 0 - 112
- 112,0000001 - 303
- 303,0000001 - 460
- 460,0000001 - 595
- 595,0000001 - 728
- 728,0000001 - 852
- 852,0000001 - 970
- 970,0000001 - 1.110
- 1.110,000001 - 1.299
- 1.299,000001 - 1.831

ESCALA GRÁFICA

0 55 110 220 Km

ESCALA ORIGINAL (A1): 1:1.500.000

REFERÊNCIAS

1 - DATUM DE REFERÊNCIA ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69 / PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ELETROBRÁS - SIPOT-SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO, 2006.

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6- An increase in the number of tornado reports in Brazil - SILVA DIAS no prelo (2011).

7- ESRI Imagery, 2011.

8- ESA - European Space Agency - Ionia GlobCover 2009.

TÍTULO:

MAPA DE TOPOGRAFIA E EVENTOS
DE TORNADO NO ESTADO DE SANTA CATARINA

PLANTA

4.5 Uso e ocupação do solo e formação de tornados

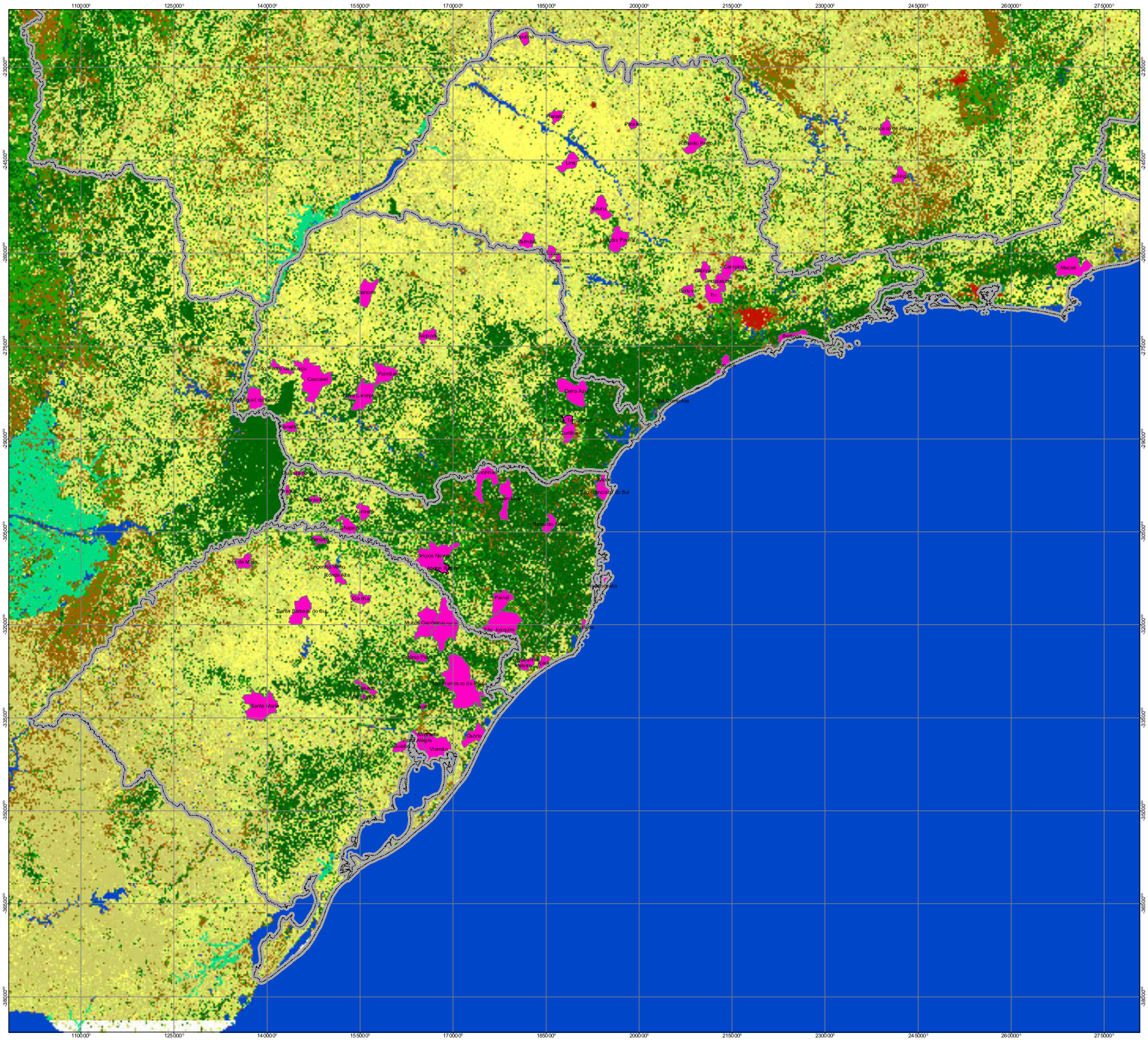
Para a classificação dos usos e ocupação das regiões onde ocorreram tornados foi utilizado o software SPRING versão 5.2.2. Para o agrupamento das classes foi utilizada a técnica classificação supervisionada, gerando áreas homogêneas que foram cruzadas e foram calculados os índices de ocupação em cada estado na escala de mapeamento 1:250.000.

No agrupamento de classes entre todos os estados das regiões sul e sudeste que ocorreram tornados entre 1960 e 2008, a classe de lavouras que dependem de chuvas ou são irrigadas correspondem a 32,94% do total.

Outro dado relevante é que as classes de ocupação de vegetação nativa e vegetação de grande densidade arbórea ou florestas latifoliadas abrangem uma grande área em sua soma total, indicando assim que as classes de manejo ou regiões alteradas de forma antrópica não são indicadoras da ocorrência de tornados.

A parcela de ocorrência de tornados em áreas urbanas corresponde a apenas 3,73% do montante total. Este dado pode sugerir que a ocorrência de tornados não está diretamente associada a regiões com grandes contingentes populacionais, apesar de nos últimos anos ter aumentado de forma significativa o número de registros destes eventos.

A Planta de Uso e Ocupação do Solo e Tornados apresenta a distribuição espacial das diferentes classes de uso e ocupação e os tornados estudados na região sul e sudeste.


Ribeirão Preto
Jaú
Bauru
Marília
Dourados
Campo Grande
Macaé
Cascavel
Palmas
Cerro Azul
Curitiba
Ponta Grossa
Lages
Chapecó
Erechim
Passo Fundo
Pelotas
Rio Grande
Santa Maria
Osorio
Viamão
Porto Alegre
Canoinhas
Mafra
Joinville
Blumenau
Florianópolis
Tubarão
Criciúma
Laguna
Itajaí
Balneário Camboriú
Palmeira
Ponta Grossa
Guarapuava
Ponta Grossa
Ponta Grossa
Ponta Grossa

A Tabela 9 apresenta os índices (%) das classes de uso e ocupação nas áreas onde ocorreram os tornados em estudo. Estas classes estão associadas, sobretudo as diferentes características de climas locais e regionais propiciados pelo padrão de cobertura do uso do solo, gerando áreas mais quentes ou mais frias ou características de evapotranspiração diferenciadas que interferem nos padrões atmosféricos.

Tabela 9 – Classes de Uso e Ocupação do Solo e ocorrência de tornados.

Legenda no Mapa	Município - ESTADO	Índice em % de classes de uso e ocupação em locais que ocorrem tornados
	CLASSES	%
11 -	lavouras irrigadas	0,47
14 -	lavouras que dependem de chuvas para irrigação	32,94
20 -	Plantas de colheita - mosaico	6,53
30 -	Vegetação Mosaico / Lavouras	11,28
40 -	floresta fechada sempre verde ou semi-decídua latifoliada	13,13
50 -	Floresta estacional decidual fechada latifoliada	12,72
60 -	floresta aberta estacional decidual latifoliada	2,20
70 -	floresta aberta verde com folhagem angustifoliada	0,14
90 -	decídua angustifoliada ou floresta sempre verde	0,00
100	floresta fechada decídua e mista angustifoliada	0,00
110	mosaico de Floresta/Pradaria	0,00
120	Mosaico Pastagem / matagal	3,36
130	Matagal fechado	7,11
140	trechos de pastagens abertas	0,63
150	vegetação esparsa	0,47
160	floresta aberta latifoliada regularmente inundada (recém inundada por água salobra)	0,40
170	floresta fechada latifoliada permanentemente inundada (água salobra)	0,00
180	vegetação regularmente inundada	0,53
190	áreas Artificiais	3,73
200	Áreas nuas	0,28
210	corpos d'água	4,09
220	Permanente neve e gelo	0,00
230	Não há dados	0,00
	Total	100,00

4.5.1 Uso e ocupação do e formação de tornados no estado de São Paulo

A maior parcela de uso e ocupação do solo nas regiões de ocorrência de tornados no estado de São Paulo está associada a regiões de lavouras que dependem de chuvas para irrigação e vegetações em mosaicos/lavouras, totalizando 44,03 % do padrão de ocupação.

O estado de São Paulo apresentava ocupação original de floresta latifoliada tropical que foi substituída por áreas de produção agrícola de larga escala, restando apenas 5% da vegetação original. A devastação é resultado da expansão da agricultura comercial, principalmente a cafeicultura, do desmatamento seletivo de madeiras nobres, do turismo predatório nas regiões litorâneas e, em período mais recente, da constituição das manchas

urbano-industriais no Sudeste brasileiro. Esta característica de alteração da ocupação espacial do estado pode justificar este resultado tão significativo.

Tabela 10 – Classes de Uso e Ocupação do Solo das regiões de ocorrência tornados no Estado de São Paulo.

Legenda no Mapa	Município - ESTADO	Índice em % de classes de uso e ocupação em locais que ocorrem tornados
	CLASSES	%
11	lavouras que dependem de chuvas para irrigação	27,77
14	Plantas de colheita - mosaico	4,28
20	Vegetação Mosaico / Lavouras	14,04
30	floresta fechada sempre verde ou semi-decidua latifoliada	18,98
40	Floresta estacional decidual fechada latifoliada	1,86
50	floresta aberta estacional decidual latifoliada	0,79
60	floresta aberta verde com folhagem angustifoliada	0,00
70	decidua angustifoliada ou floresta sempre verde	0,00
90	floresta fechada decidua e mista angustifoliada	0,00
100	mosaico de Floresta/Pradaria	0,00
110	Mosaico Pastagem / matagal	2,60
120	Matagal fechado	9,67
130	trechos de pastagens abertas	1,24
140	vegetação esparsa	1,24
150	floresta aberta latifoliada regularmente inundada (recém inundada por água salobra)	0,00
160	floresta fechada latifoliada permanentemente inundada (água salobra)	0,00
170	vegetação regularmente inundada	1,89
180	áreas Artificiais	8,68
190	Áreas nuas	0,00
200	corpos d'água	5,29
210	Permanente neve e gelo	0,00
220	Não há dados	0,00
230		100,00

4.6 Análises das Dinâmicas Atmosféricas, Caracterização dos Eventos e Relação entre Topografia e os tornados.

4.6.1 Indaiatuba-SP - data de ocorrência 24/05/2005 por volta das 17h35min – Distrito Industrial trecho sudeste na passagem próxima a linha férrea e a Rodovia Eng. Ermênio de Oliveira Penteado.

No dia 24 de maio de 2005, cerca de 15 municípios (Campinas, Cabreúva, Cosmópolis, Americana, Sumaré, Bragança Paulista, Atibaia, Valinhos, Vinhedo, Hortolândia, Pedreira, dentre outras) da Região Administrativa de Campinas (SP) foram atingidos por uma forte tempestade (Figura 30).

Neste dia, o Município de Indaiatuba, localizado a 102 km da Capital do Estado de São Paulo, foi atingido por um tornado com ventos entre 251 km/h e 330 km/h, considerado F3 na escala Fujita, um dos mais intensos já registrados no Brasil.

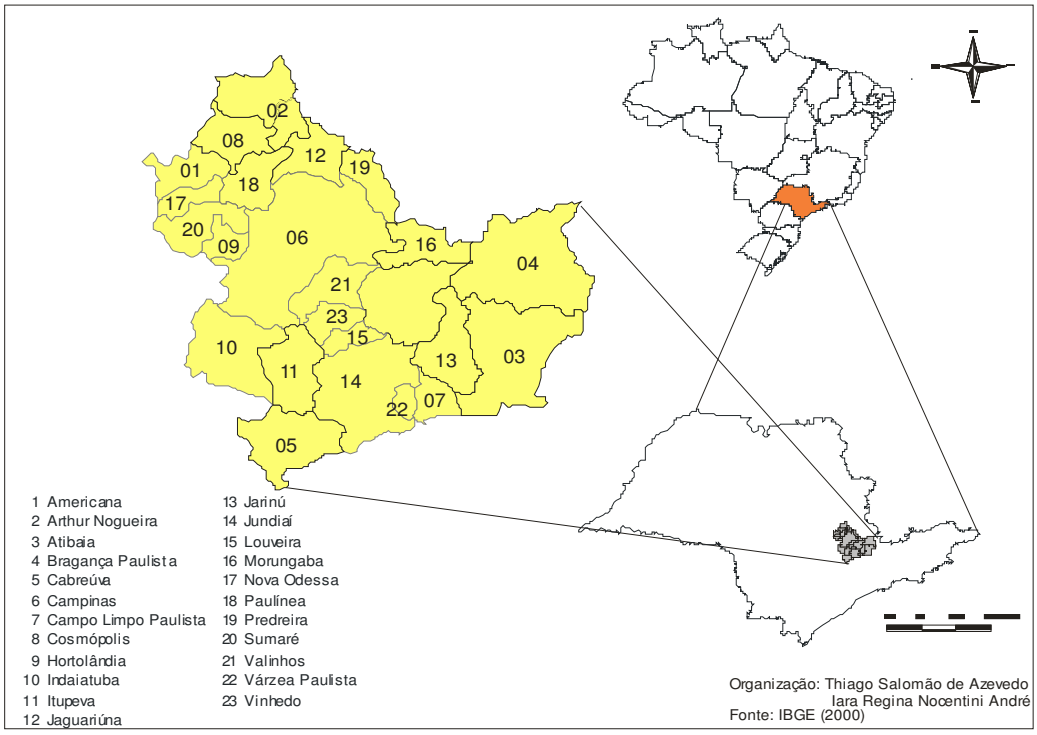


Figura 30 - Localização dos Municípios da Região Administrativa de Campinas atingidos pela forte tempestade em 24 de maio de 2005.
Fonte: (IBGE, 2000)

O registro desse fenômeno só foi possível devido a uma câmera de vídeo da Concessionária Colinas, instalada no km 47 da rodovia Santos Dumont (SP-75), que filmou a passagem do sistema atmosférico (Figura 31). Os prejuízos estimados foram em torno de R$ 98 milhões, com destruição de indústrias, prédios municipais, três torres de transmissão de energia e pelo menos 400 residências.

Figura 31 - Passagem do tornado em Indaiatuba (SP) em 24/05/2005
Fonte: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/tornadocolinas/view.html

No mesmo dia, acredita-se que o município de Itatiba (84 km da capital do Estado de São Paulo), também tenha sido atingido por outro tornado que destruiu duas casas, arrancou milhares de árvores, arremessou um automóvel por cerca de 15 metros e provocou a colisão de dois automóveis na Rodovia Alkindar Monteiro Junqueira – SP 063, que liga Itatiba a Bragança Paulista, ferindo 14 pessoas sem gravidade. Já no Município de Capivari (135 km de São Paulo), em conseqüência da tempestade e dos ventos fortes, mil e duzentas casas foram destelhadas, dezenas de árvores arrancadas e uma pessoa morreu atingida por destroços.

Na análise dos mosaicos das imagens meteorológicas do canal 4 (infravermelho) dos satélites GOES e METEOSAT (Figura 32) é identificada a situação sinótica no dia 24 de maio de 2005 nos horários 09Z e 18Z.

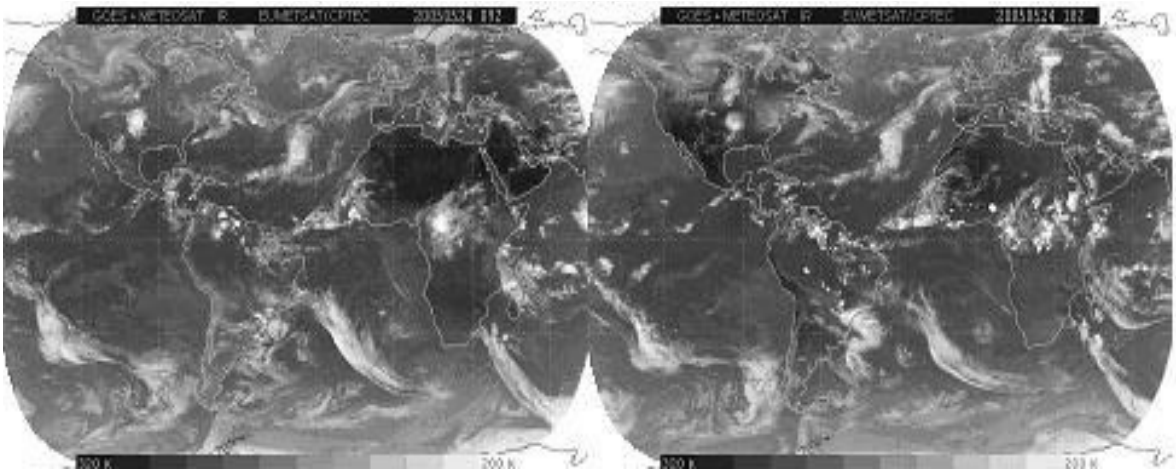


Figura 32 - Mosaicos das imagens meteorológicas do canal 4 (infravermelho) dos satélites GOES e METEOSAT nos horários 09Z e 18Z.
Fonte: (CPTEC, 2013).

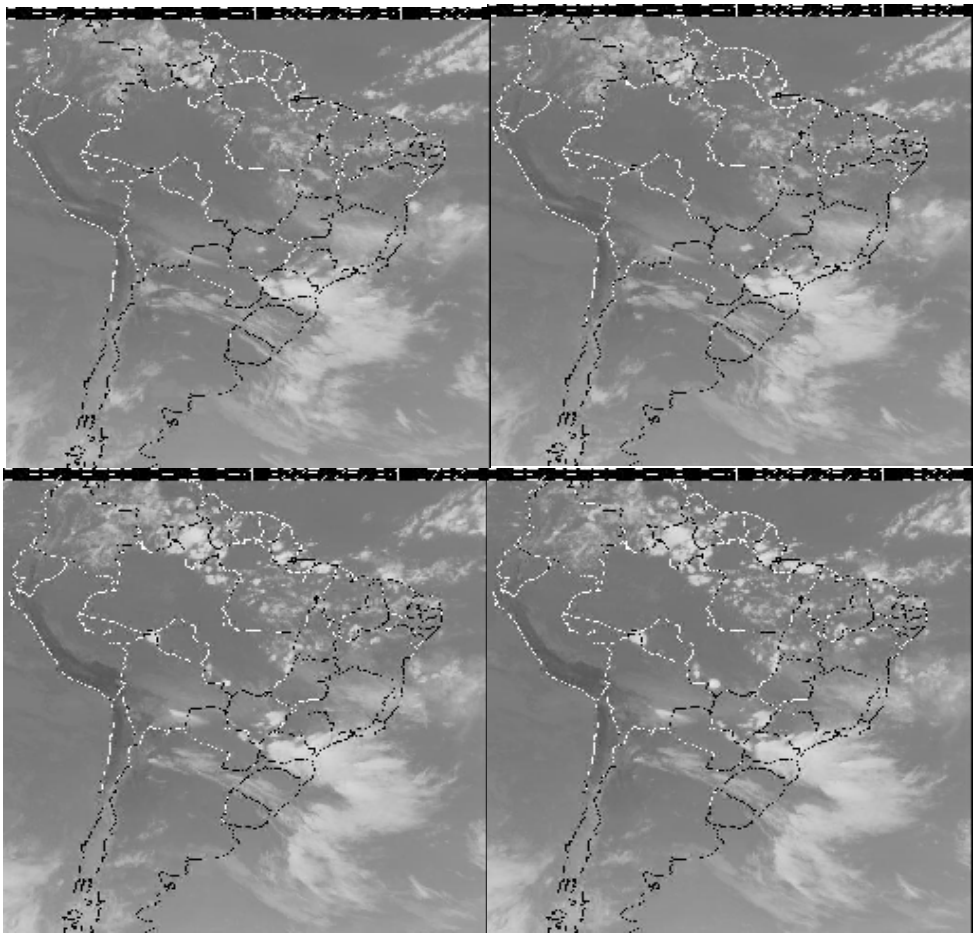


Figura 33 - Imagens meteorológicas do satélite GOES-12 para a América do Sul nos horários 15Z, 1530Z, 1730Z e 18Z.
Fonte: (CPTEC, 2013).

O desenvolvimento de uma forte instabilidade associada à frente fria no Estado de São Paulo pode ser observado nas imagens do GOES 12, onde foi realçada a temperatura de topo de nuvens na escala de -30 ºC a -70 ºC, observando assim trechos de cores mais frias denotando áreas com nuvens de formação mais verticais que podem ser associadas à formação de tornados (registro do fenômeno), neste caso formando células convectivas mais intensas (Figura 33).

Nas imagens realçadas do satélite GOES 12 (Figura 34), nota-se a formação de um forte sistema convectivo no dia 24 no período de 16:30Z observadas na formação de topos de nuvens s com temperaturas entre -50ºC a -70ºC na região de Indaiatuba.

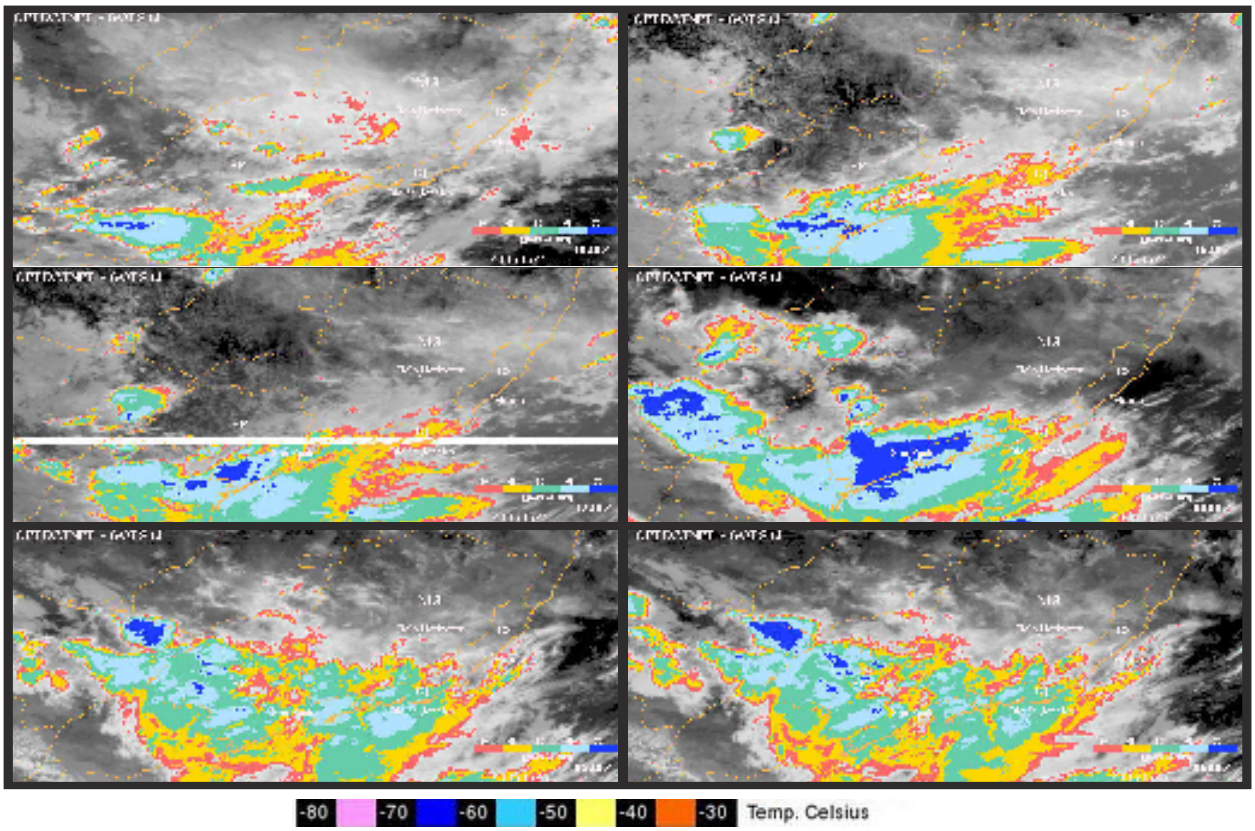


Figura 34 - Imagens GOES 12 24/05/2005 no período de 16:30Z até o dia 25 no período de 00:00Z.
Fonte: (CPTEC, 2013).

O boletim climanálise indica que neste período ocorreram fortes chuvas associadas à baixa circulação de frentes frias que aumentaram ainda mais a temperaturas locais, entre os períodos de 21 a 26/5 fortes chuvas nos esta de São Paulo foram identificadas.

Não houve registros de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) ou de circulação da Alta Bolívia e nem mesmo influências diretas de El Niño e La Niña no período, que pudessem configurar maiores influências nas tempestades, apesar de fenômenos severos terem acontecidos nestes períodos. No período entre 24 a 25 de maio um Jatos Subtropicais foram identificados contribuindo para a formação de Baixa Pressão em superfície.

As imagens apresentadas na Figura 35 indicam a formação de fortes tempestades nas proximidades do município de Indaiatuba, nesta identificação são apresentadas evidências de uma intensa convecção causando fortes chuvas, tornados e raios.

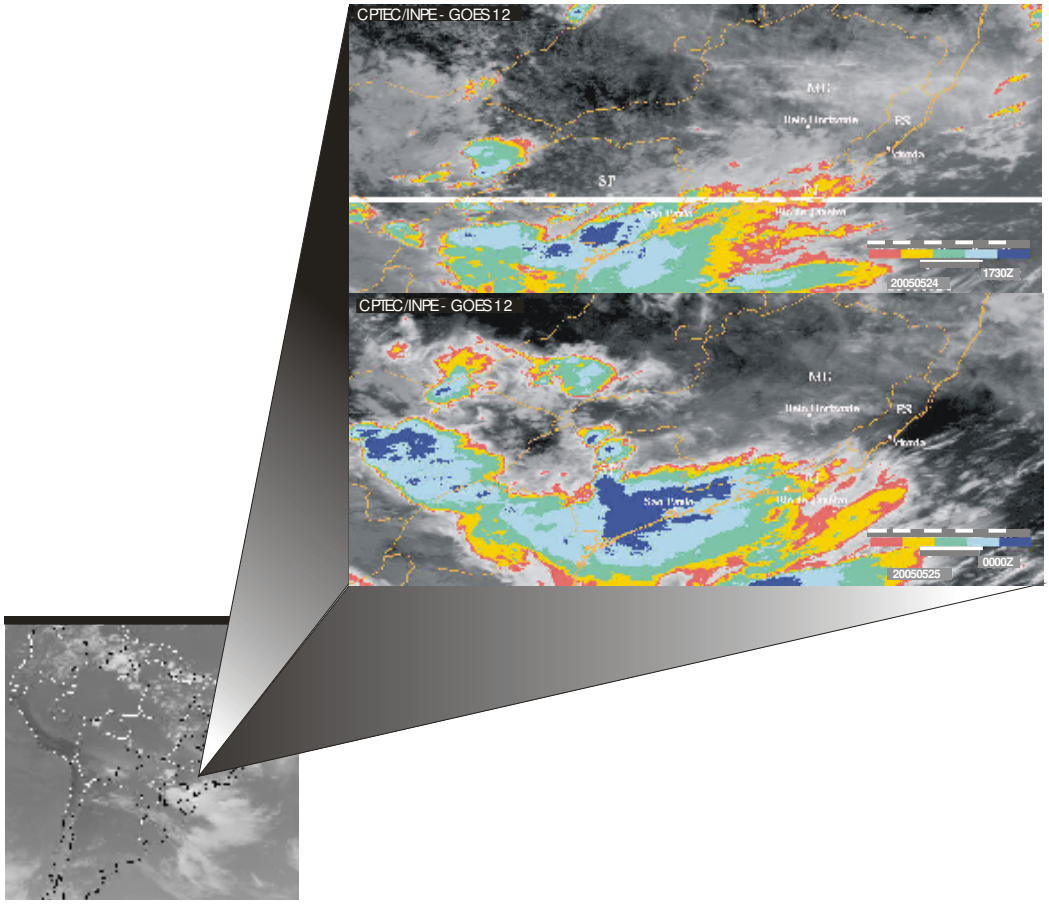


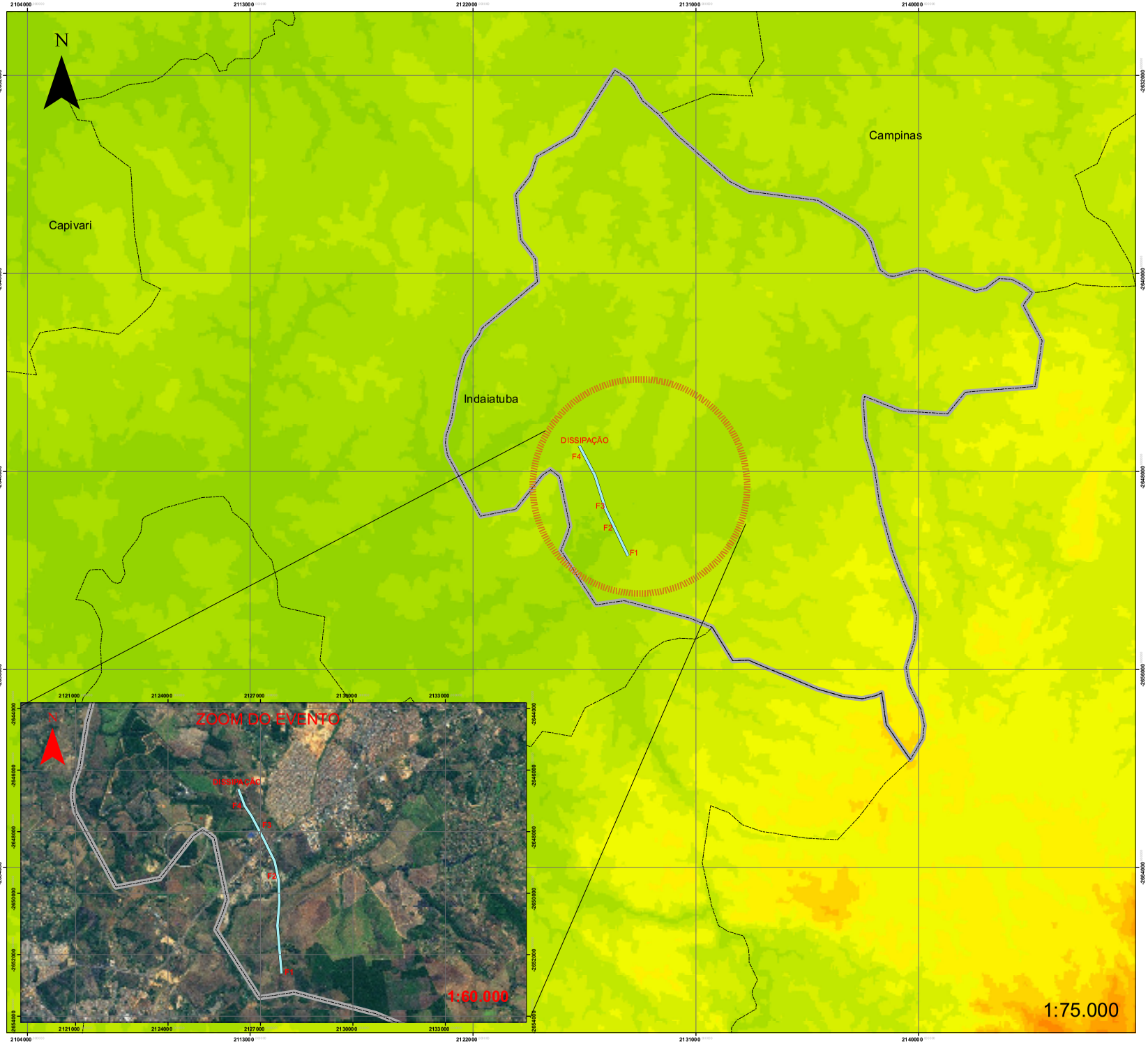
Figura 35 - Mosaico de imagens GOES 12 24/05/2005 ilustrando intensa convecção nas regiões Metropolitana de Campinas.
Fonte: (CPTEC, 2013).

Após a análise dos dados das reanálises do NCEP da variável meteorológica Omega foi detectada a convecção, após a visualização e manipulação destes dados pelo software GrADS, disponibilizado pelo "Center for Ocean-Land-Atmosfere-Interactions"

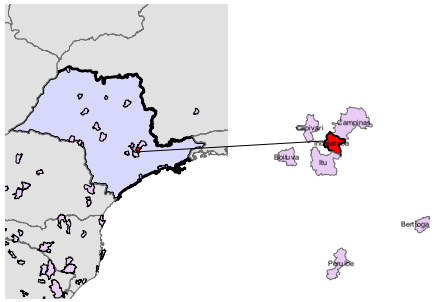
Na variável Ômega a velocidade vertical do vento em hPa/s é negativa para movimento ascendente do ar e positiva para movimento descendente, ou seja, no campo Ômega os valores negativos representam ar subindo e os positivos, ar descendo. As regiões de movimento ascendente estão sempre associadas à instabilidade atmosférica, ou seja, áreas favoráveis ao desenvolvimento de nuvens (MASTER-IAG, 2013).

4.6.1.1 Análise da trajetória do Tornado Indaiatuba

O tornado Indaiatuba seguiu por uma distância de cerca de 1,2 km, passando por diversas regiões conforme podem ser observados na PLANTA ANÁLISE DO EVENTO - INDAIATUBA – TOPOGRAFIA, este traçado foi realizado logo após a ocorrência do evento pela Meteorologista Isabela Marcelino e Nascimento em 2005. Para este traçado foi elaborada a Planta de Modelo Digital de Terreno para correlação entre o evento e a topografia local.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Traçado do Tornado e Escala Fujita (F1, F2, F3)
- Ampliação do evento

VALORES - COTAS

0 - 128	1,326.000001 - 1,481
128.0000001 - 295	1,481.000001 - 1,686
295.0000001 - 370	1,686.000001 - 2,005
370.0000001 - 430	2,005.000001 - 2,785
430.0000001 - 489	
489.0000001 - 547	
547.0000001 - 607	
607.0000001 - 669	
669.0000001 - 735	
735.0000001 - 803	
803.0000001 - 869	
869.0000001 - 935	
935.0000001 - 1,008	
1,008.000001 - 1,095	
1,095.000001 - 1,201	
1,201.000001 - 1,326	

ESCALA ORIGINAL (A3): 1:300.000
ESCALA ORIGINAL (A1): 1:75.000

REFERÊNCIA

1 - DATUM - ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69
PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ESRI - DIGITAL GLOB 2009

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6 - TRAÇADO DO TORNADO INDAITUBA 24/5/2005 ELABORADO POR ISABELA MARCELINO.

7- ESCALA FUJITA 1981

8- MODELO DIGITAL DE TERRENO E TRAÇADO ELABORADO POR GEÓGR.BRUNO BERTONI 2010.

TÍTULO:

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE TORNADOS - REGIÃO SUL e SUDESTE DO BRASIL

PLANTA - TOPOGRAFIA ASSOCIADA
AO EVENTO DE TORNADO - INDAIATUBA 24/5/2005

Por estar em uma região situada justamente no contato entre os terrenos sedimentares do Período Permo-Carbonífero da Era Paleozóica (Bacia do Paraná) e o embasamento Cristalino do escudo Brasileiro do Pré-Cambriano na borda da Depressão Periférica Paulista, o município de Indaiatuba apresenta segundo Christofoletti (1968) um relevo em formas colinosas, abrangendo colinas amplas, médias e pequenas, além de vários morrotes. Esses morrotes em alguns locais apresentam blocos rochosos esparsos por todo o terreno (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993). As vertentes são de baixa declividade se estendendo a perder de vista (CHRISTOFOLETTI, 1968). Apresentando assim, pouca movimentação do relevo e áreas de fraca declividade.

Com o traçado do evento elaborado por Marcelino e Nascimento (2005) e correlacionando com a topografia local foi determinada a intensidade do fenômeno segundo (Escala Fujita) e determinada pelo traçado na Figura 36.

As cores atendem a uma gradação de tonalidades, as quais variam das cores mais claras até as mais escuras, indicando a intensidade do tornado e atendendo a valoração da intensidade de acordo com a escala Escala Enhanced Fujita, 2007.

Nota-se na Figura 36, que o tornado apresenta uma menor intensidade no momento inicial (Escala Enhanced Fujita - F1), adquirindo mais força na área que apresenta menor declividade, principalmente onde estão inseridas as a maiores redes de drenagem (Escala Enhanced Fujita - F2), após este trecho ele adquiri mais força e velocidade, chegando ao nível de maior intensidade que foi detectado neste fenômeno (Escala Enhanced Fujita – F3). Logo após a passagem por está área enquadrada com o perfil de relevo mais elevado, o tornado perde intensidade, atingindo gradativamente os menores níveis da escala Enhanced Fujita até sua total dissipação.

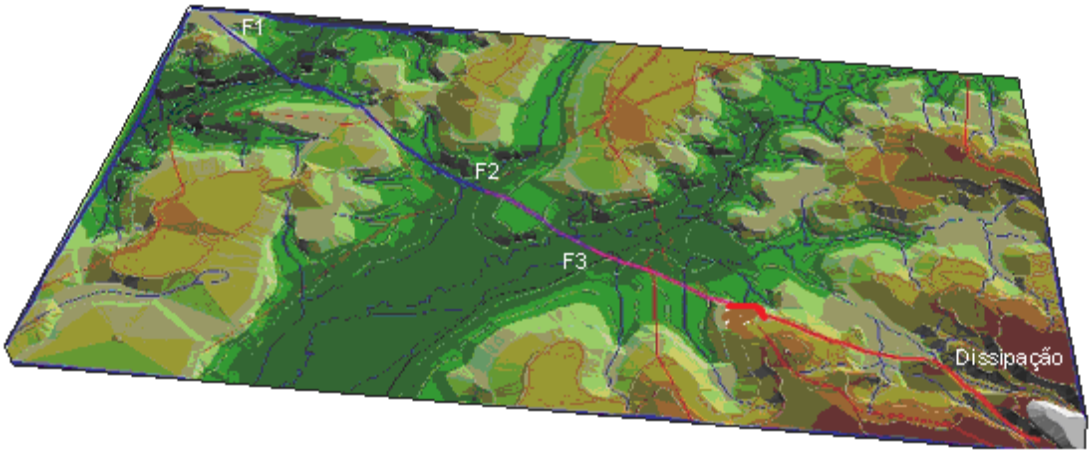


Figura 36 – Traçado do tornado de Indaiatuba de acordo com seu grau de intensidade.

4.7 Lins – SP - data de ocorrência 25/12/2008 por volta das 19h51min – Fazenda Santa Luiza próxima a estrada Vicinal Lins-Guaimbê.

Segundo levantamentos realizados por meteorologistas do IPmet (Instituto de Pesquisa Meteorológicas) localizado no município de Lençóis Paulistas o evento durou apenas 5 minutos, percorreu um trecho aproximado de 600 metros e classificado segundo Escala Enhanced Fujita sua intensidade foi de F0 a F1 em alguns trechos.

Figura 37 – Estragos na ocorrência do tornado em Lins.
Fonte: (Defesa Civil de Lins-SP, 2008)

Segundo o Boletim Climanálise, na data os valores de Ômega se intensificam sobre o estado de São Paulo, principalmente na região centro-oeste e faixa noroeste paulista, houve um alinhamento de movimentos verticais ascendentes sobre a região Sudeste, intensificando possíveis tempestades na região. Para a data foram indicadas formação de ZCAS que poderiam influenciar a formação de tempestades mais intensas.

Segundo as análises realizadas nas imagens de satélite GOES 10 (Figuras 38 e 39) na data do evento observa-se formação de nebulosidades se estendendo do Oceano Atlântico até regiões do Centro-Oeste e Norte do país.

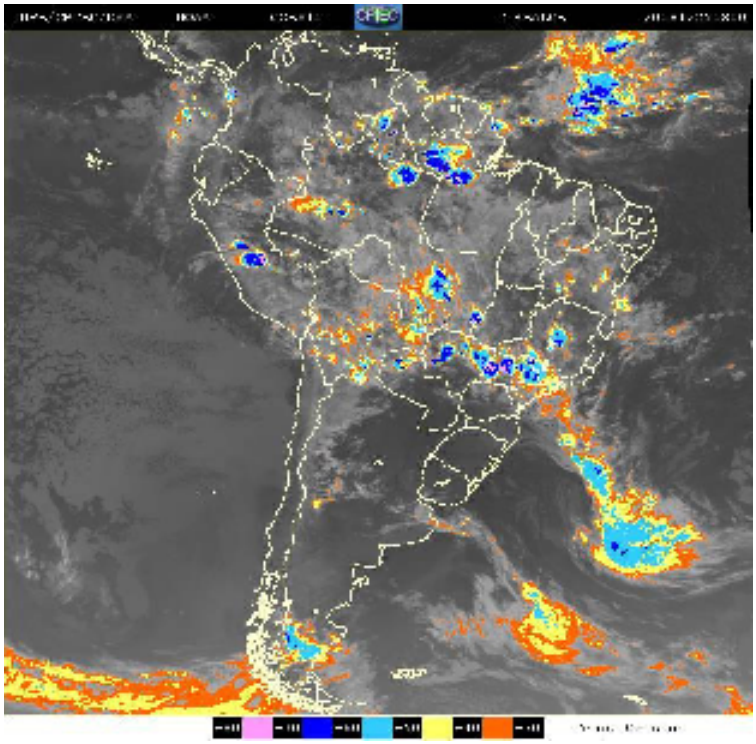


Figura 38 - Imagem realçada – Topos de Nuvens - GOES 10 25/12/2008 - 8:00.
Fonte: (CPTEC, 2013).

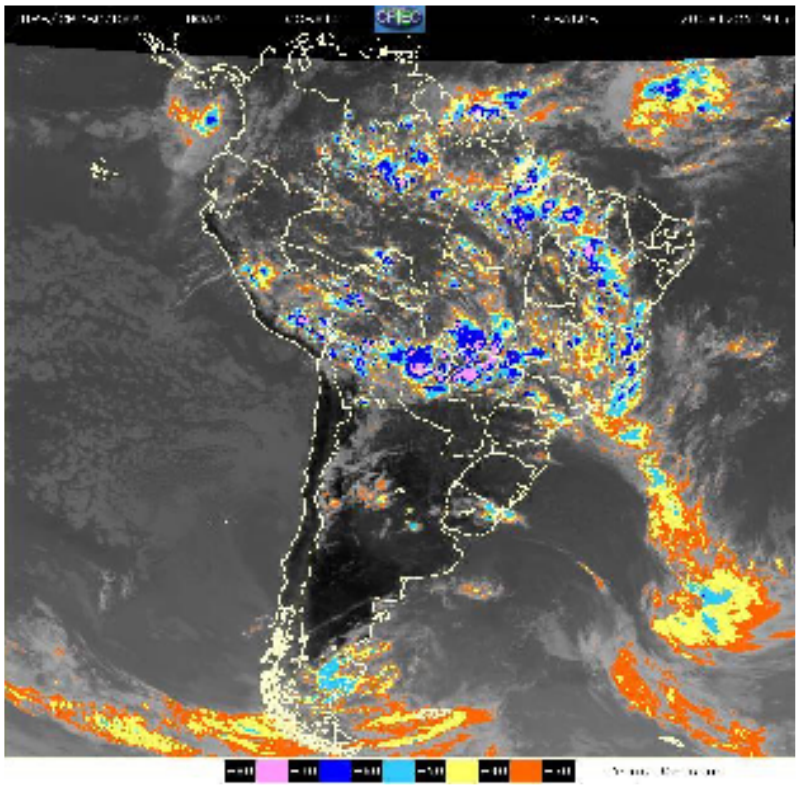


Figura 39 - Imagem realçada – Topos de Nuvens - GOES 10 25/12/2008 - 19:45.
Fonte: (CPTEC, 2013).

O trecho de nebulosidade é associado à formação de ZCAS no período do tornado, interpretado como na imagem pela maior formação de nebulosidade no noroeste paulista, além disso, observa-se topos de nuvens por volta de -50° C, que estão associados à formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical, possivelmente associadas a grandes tempestades.

Segundo as análises realizadas por Radar Doppler em Bauru-SP, no momento do evento foi caracterizado o deslocamento das tempestades intensas que formaram o tornado, conforme animação disponibilizada pelo CPTEC (2013). Esta animação pode ser visualizada na Figura 40.

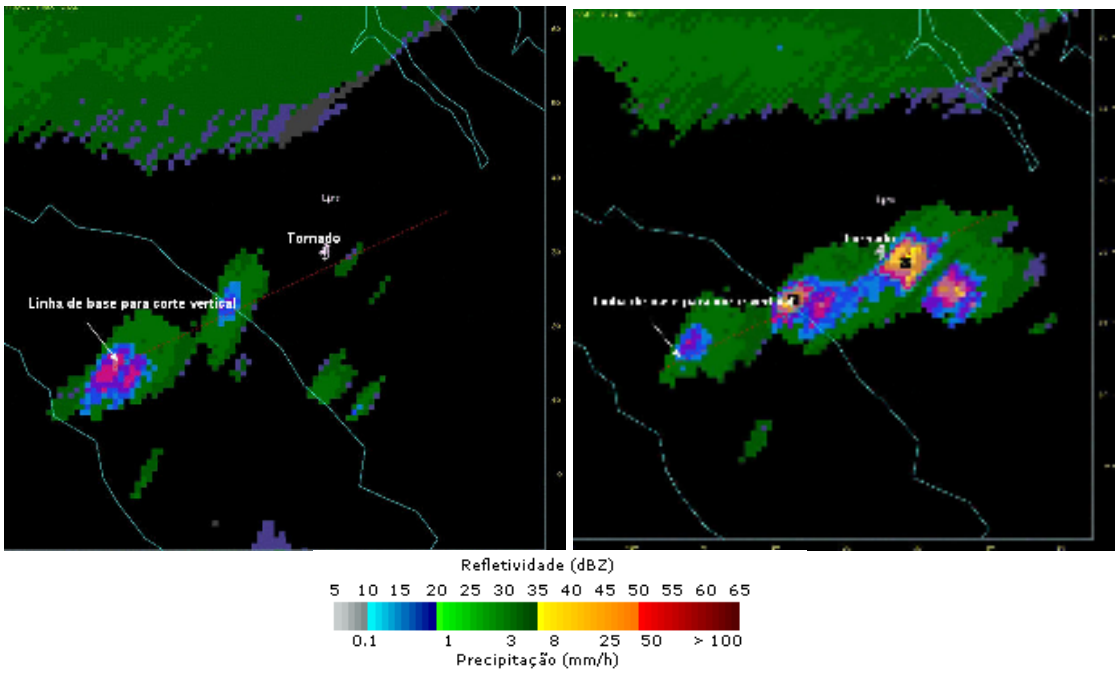


Figura 40 – Animação Imagem Doppler – Bauru-SP – 25/12/2008 região de Lins-SP.
Fonte: (CPTEC, 2013).

Na mesma data o IPmet (2013) realizou a análise da tempestade e constata-se que:

- Observaram-se núcleos de refletividade >45 dBz durante a trajetória, com topos (15 dBz) acima de 10 km.
- Características típicas de tempestade severa, com presença de eco em gancho (campo de refletividades) e rotação ciclônica.
- Na data foi emitido alerta a Defesa Civil do município de Lins da possibilidade de ocorrência de tornado, o mesmo foi emitido às 19h15min do horário local.

4.7.1 Análise da trajetória do Tornado Indaiatuba

Para a análise da trajetória e correlação da topografia e o evento foram utilizados dados coletados pelo Ipmet e pela Defesa Civil do município, neste caso como já mencionado o evento teve duração de 5 minutos e percorreu por volta de 600 metros, variando entre F0 e F1 conforme indicado pela Figura 42.

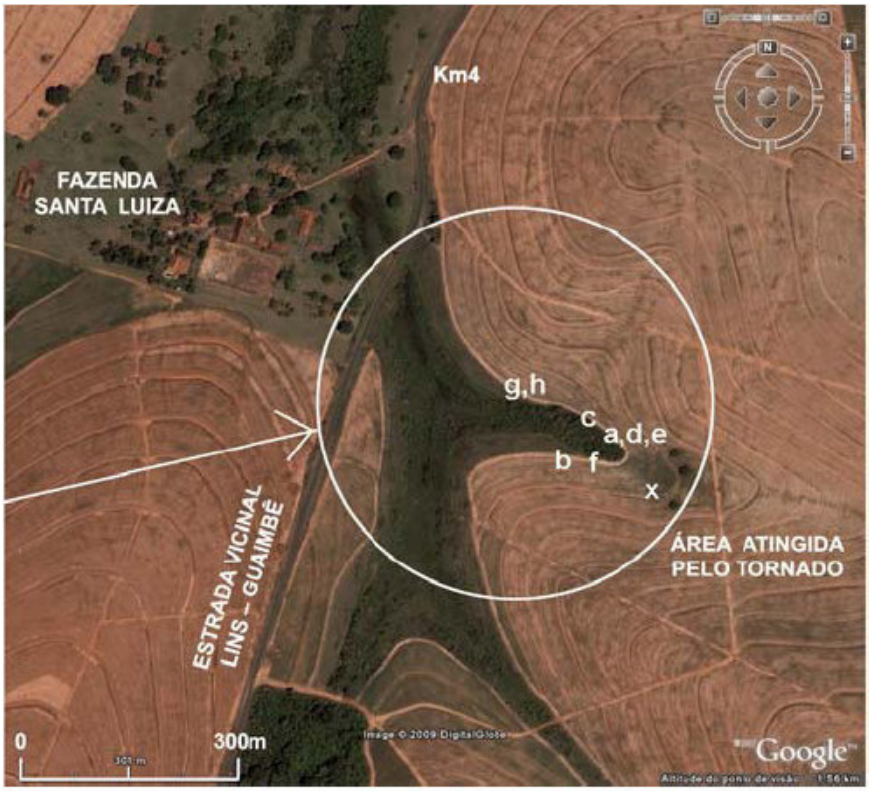


Figura 41 – Localização do traçado do tornado em Lins-SP.
Fonte: (Defesa Civil de Lins, 2008)

De acordo com as fotos indicadas pela própria Defesa Civil e a interpretação do grau de destruição causado pelo tornado (Escala Enhanced Fujita, 2007) foram classificadas os graus de destruição do tornado conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Classificação do Tornado Lins – 25/12/2013 segundo a Escala Enhanced Fujita (2007).

Escala	Velocidade do Vento (estimada) km/h	Exemplos de Danos	Danos Tornado Lins – 25/12/2008s
EF0	105–137		
EF1	138–178		

Fonte: Adaptado a partir de Defesa Civil do Município de Lins (2008); FUJITA, 2007.

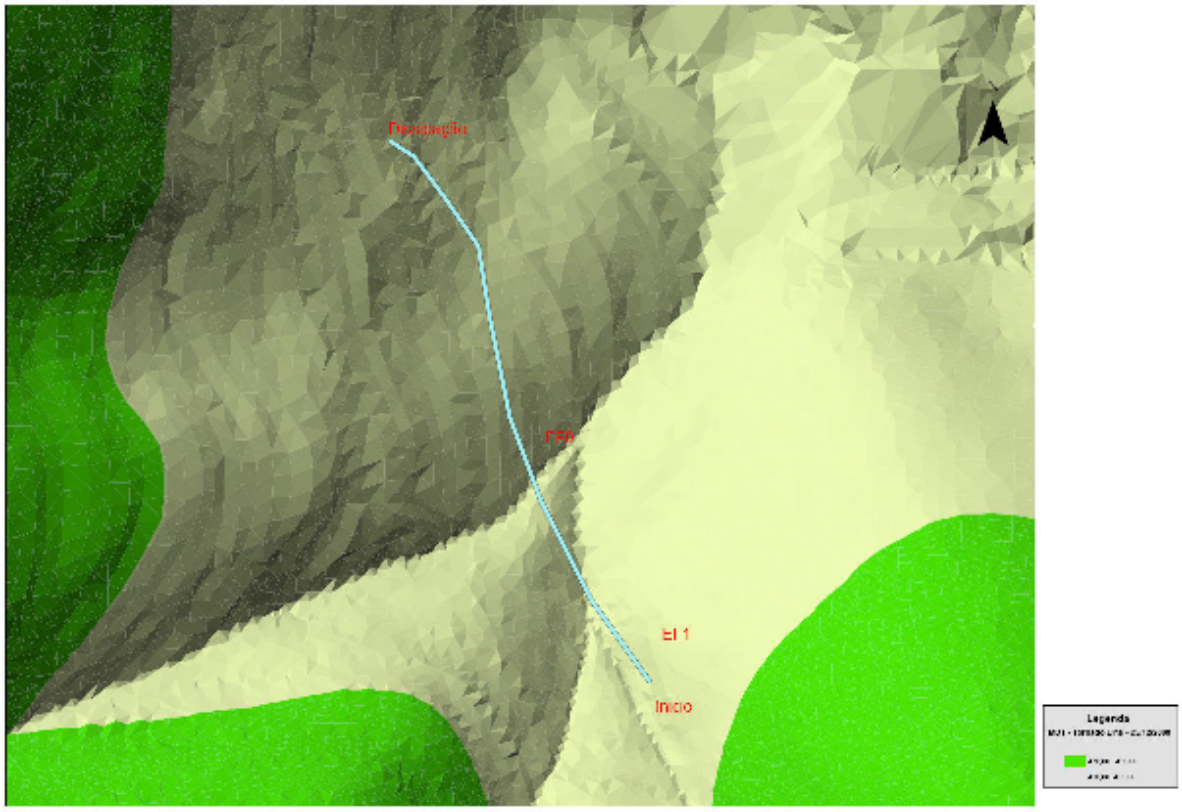
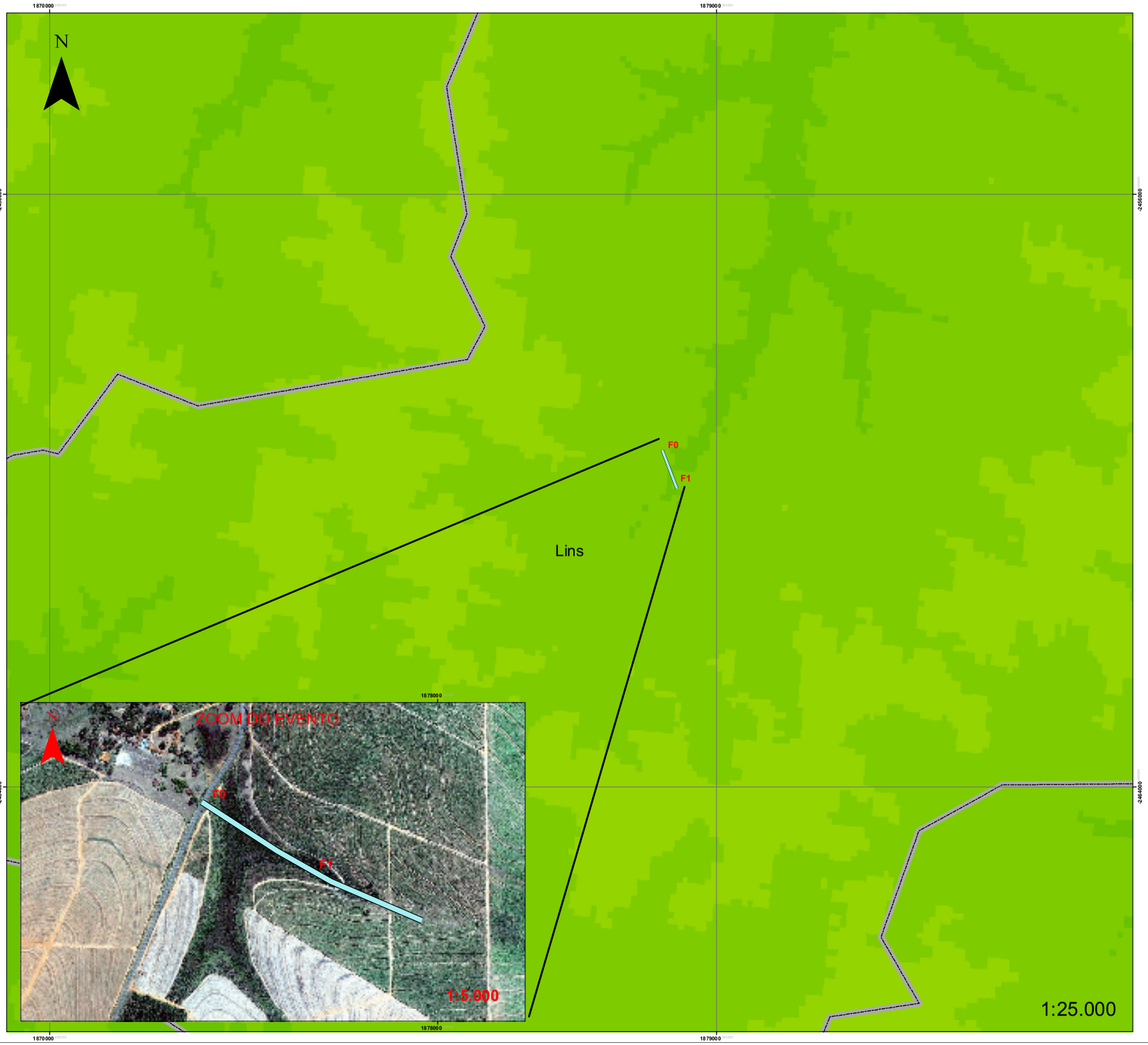


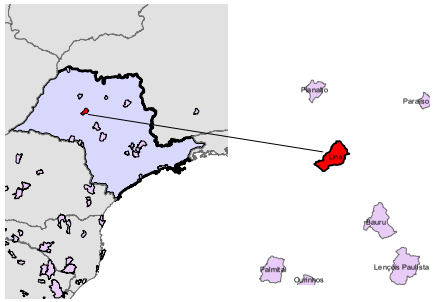
Figura 42 – Modelo Digital de Terreno - Tornado Lins – 25/12/2013.

Na trajetória apresentada de 600 metros o tornado causou pequenos danos a árvores e plantações, conforme o modelo digital de terreno em comparação a trajetória do evento e a

escala de destruição segundo Enhanced Fujita nos trechos de menor declividade foram apresentadas maior velocidade e impactos.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- F1 F2 F3 Traçado do Tornado e Escala Fujita
- Ampliação do evento

VALORES - COTAS

0 - 128	803.0000001 - 869
128.0000001 - 295	869.0000001 - 935
295.0000001 - 370	935.0000001 - 1,008
370.0000001 - 430	1,008.000001 - 1,095
430.0000001 - 489	1,095.000001 - 1,201
489.0000001 - 547	1,201.000001 - 1,326
547.0000001 - 607	1,326.000001 - 1,481
607.0000001 - 669	1,481.000001 - 1,686
669.0000001 - 735	1,686.000001 - 2,005
735.0000001 - 803	2,005.000001 - 2,785

ESCALA ORIGINAL (A3): 1:100.000
ESCALA ORIGINAL (A1): 1:25.000

REFERÊNCIA

1 - DATUM - ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69
PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ESRI - DIGITAL GLOB 2009

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6 - TRAÇADO DO TORNADO INDAITUBA LEVANTADO POR DEFESA CIVIL DE LINS - SRA.MARIA ELISA e IPMET (Bauru)

7- ESCALA FUJITA 1981

8- MODELO DIGITAL DE TERRENO E TRAÇADO ELABORADO POR GEÓGR.BRUNO BERTONI 2010.

TÍTULO:
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE TORNADOS - REGIÃO SUL e SUDESTE DO BRASIL

PLANTA - TOPOGRAFIA ASSOCIADA
AO EVENTO DE TORNADO - LINS 25/12/2008

4.8 São Gabriel – RS - data de ocorrência 06/11/2008

Segundo veiculado pelos boletins de informação dado por veículos locais o evento ocorrido em São Gabriel se concentrou em uma área de cerca de 1,5 km, se iniciando na Vila Nova do Sul e distrito de Laranjeiras.

Segundo a análise do Radar localizado no município de Canguçu - RS e da REDEMET foram detectadas fortes chuvas no período do evento, nas Figuras 43 e 44

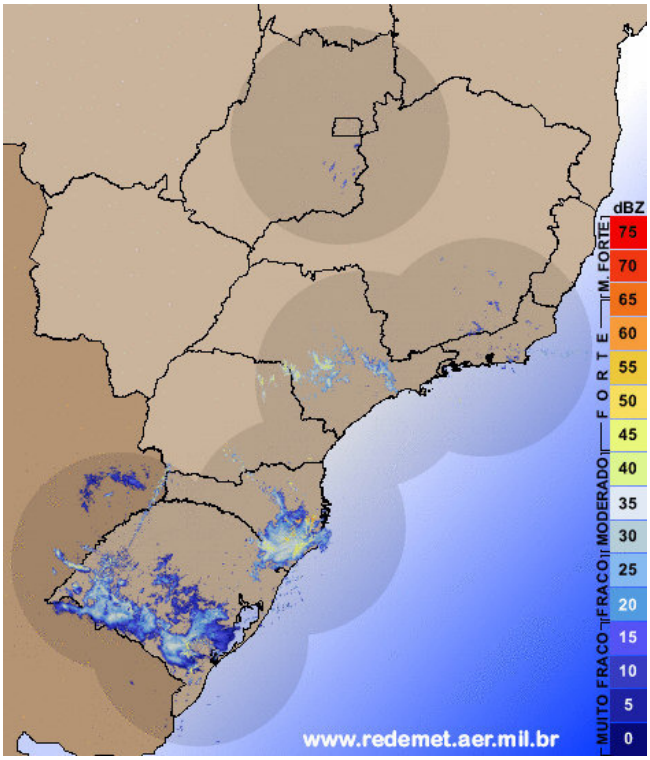


Figura 43 – Imagem de Radar – REDEMET – Chuvas Intensas – São Gabriel – RS 06/11/2008.
Fonte: (REDEMET, 2012);

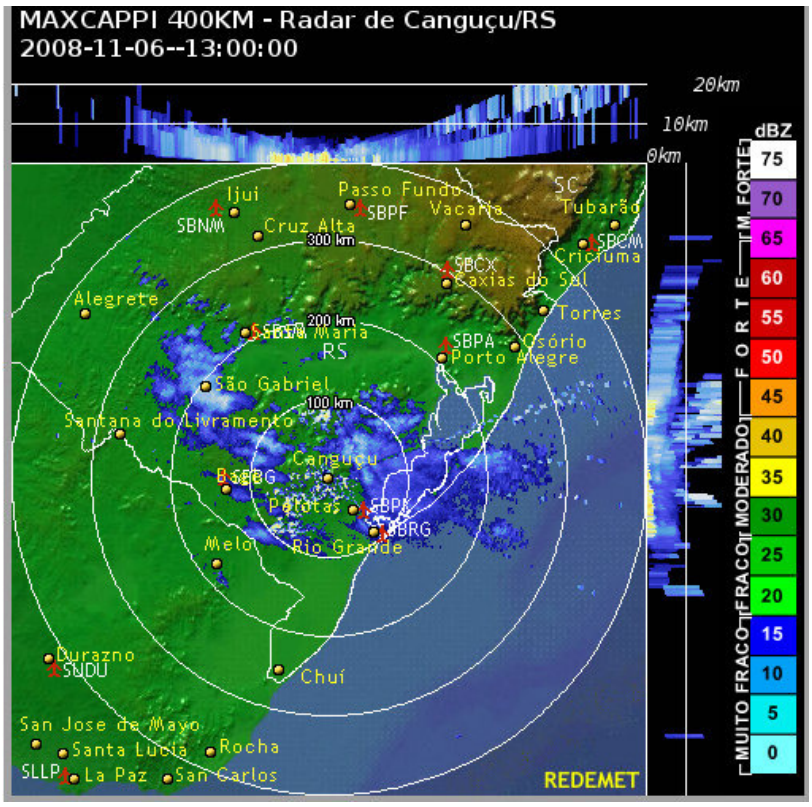


Figura 44 – Imagem de Radar – 06-11-2008 – Município de São Gabriel - RS.
Fonte: (REDEMET, 2012)

Nas imagens no campo visível (Figura 45) e realçada (Figura 46) são indicados fortes tempestades que ocasionaram na formação do tornado em São Gabriel.

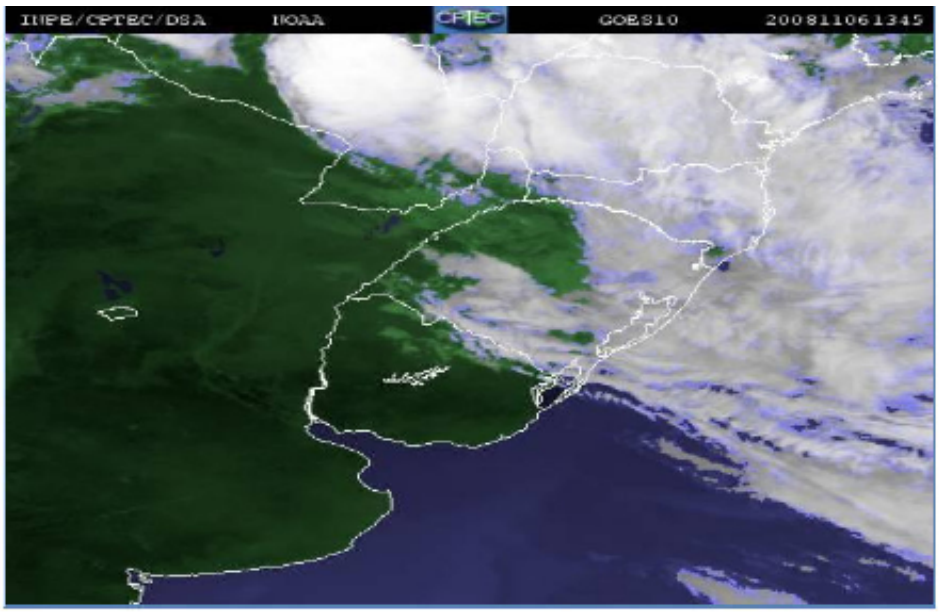


Figura 45 – Imagem GOES 10 – Visível – Formação de Nuvens na região
Fonte: (CPTEC, 2013).

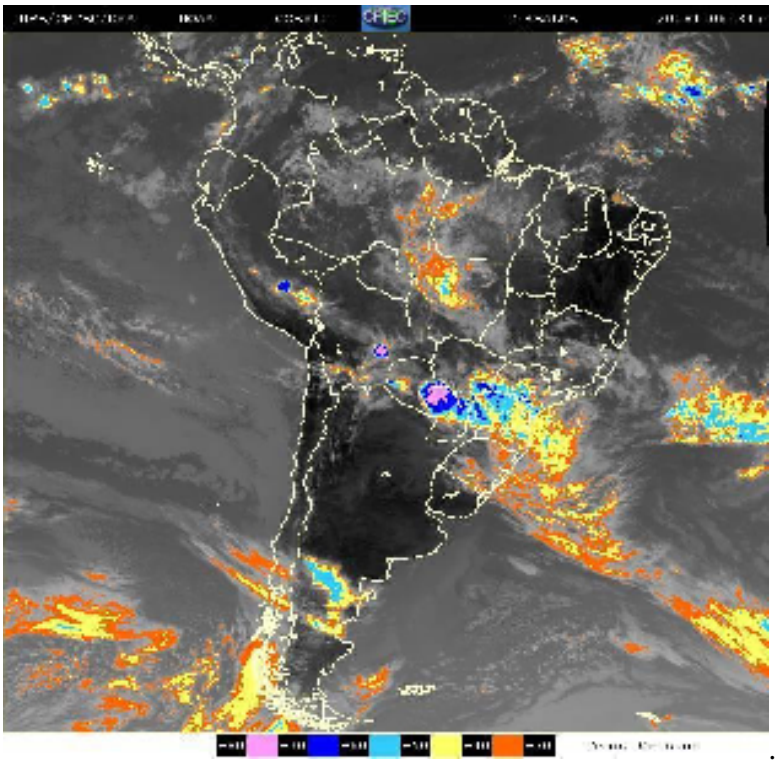


Figura 46 – Imagem realçada de topo de nuvem indicando trechos de instabilidades na data e local do evento – São Gabriel – RS – 07/09/2009
Fonte: (CPTEC, 2013).

Segundo Boletins Climanálise foram relatados vários episódios de chuvas intensas na Região Sul no decorrer de novembro. A formação de um centro de baixa pressão no oeste da Região, no primeiro dia de novembro, ocasionou elevados totais diários de precipitação.

Foi relatada a formação de um sistema frontal que atuou no Brasil e se deslocou até o litoral da Região Sudeste. A climatologia para este mês é de sete sistemas entre as latitudes 25° S e 35° S. De modo geral, os sistemas frontais com características subtropicais atuaram sobre o oceano, próximo à faixa litorânea da Região Sudeste até o sul da Bahia, dando suporte dinâmico aos três episódios de ZCAS

No dia 06, mais um centro de baixa pressão configurou-se no leste da Região Sul, originando um novo sistema frontal com características subtropicais, o qual se deslocou pelo oceano. Ressalta-se que a formação deste sistema próximo ao leste do Estado de São Paulo, também contribuiu para a formação de células convectivas na grande área de convergência de umidade que se formou entre as Regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e o Oceano Atlântico. No dia seguinte, houve a formação do primeiro episódio de ZCAS.

4.8.1 Análise da trajetória do Tornado em São Gabriel – RS

Segundo relatos de site especializado da região de São Gabriel e a estação localizada próxima ao Rio Vacaria registrou apenas 30 km/h de velocidade do vento no momento do evento. A área afetada se inicia no trecho urbano agroindustrial, seguindo pelo Bairro Trinidade e Cidade Nova. Atingindo. Esta trajetória pode ser observada pela Figura 47.

Figura 47 – Trajetória elaborada por site especializado na data do ocorrido – MetSul.
Fonte: (MetSul, 2009).

Segundo a classificação efetuada no local os danos foram condizentes a um tornado categoria EF0 (65 a 118 km/h), alguns relatos indicaram que o cone do evento tocou o solo em diversos momentos.

A Figura 48 apresenta o perfil transversal da passagem do tornado na área do município de São Gabriel. Nota-se que a variação do relevo não passa de 20 metros. Segundo o perfil apresentado as regiões onde mais ocorreram danos foram os trechos de menor altimetria, caracterizados redes de drenagem.

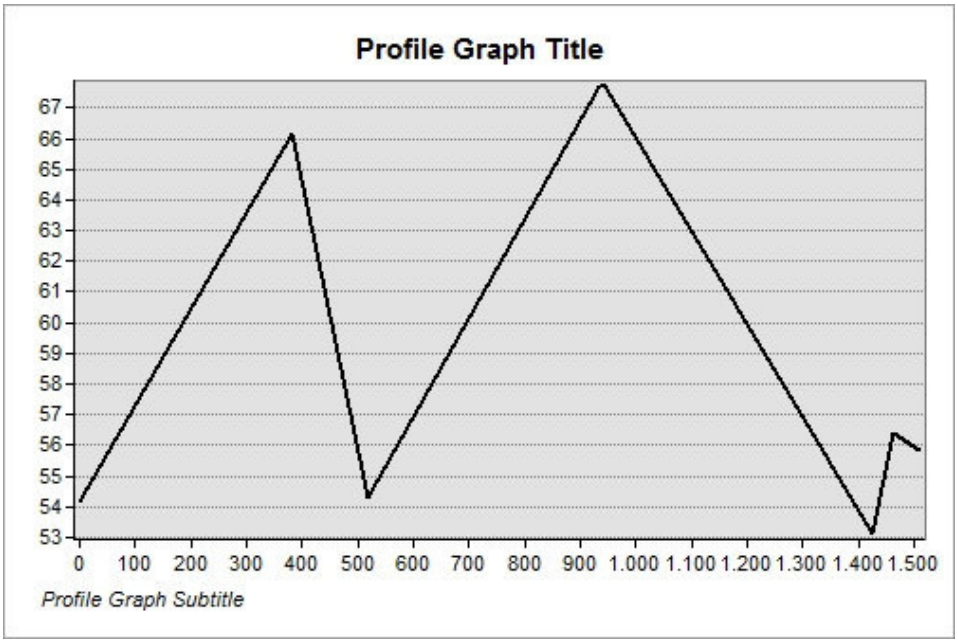


Figura 48 – Perfil Transversal do relevo em relação à passagem do tornado de São Gabriel – RS.
Fonte: (INPE, 2012)

A Figura 49 apresenta o modelo digital de terreno associado à trajetória do tornado ocorrido em São Gabriel.

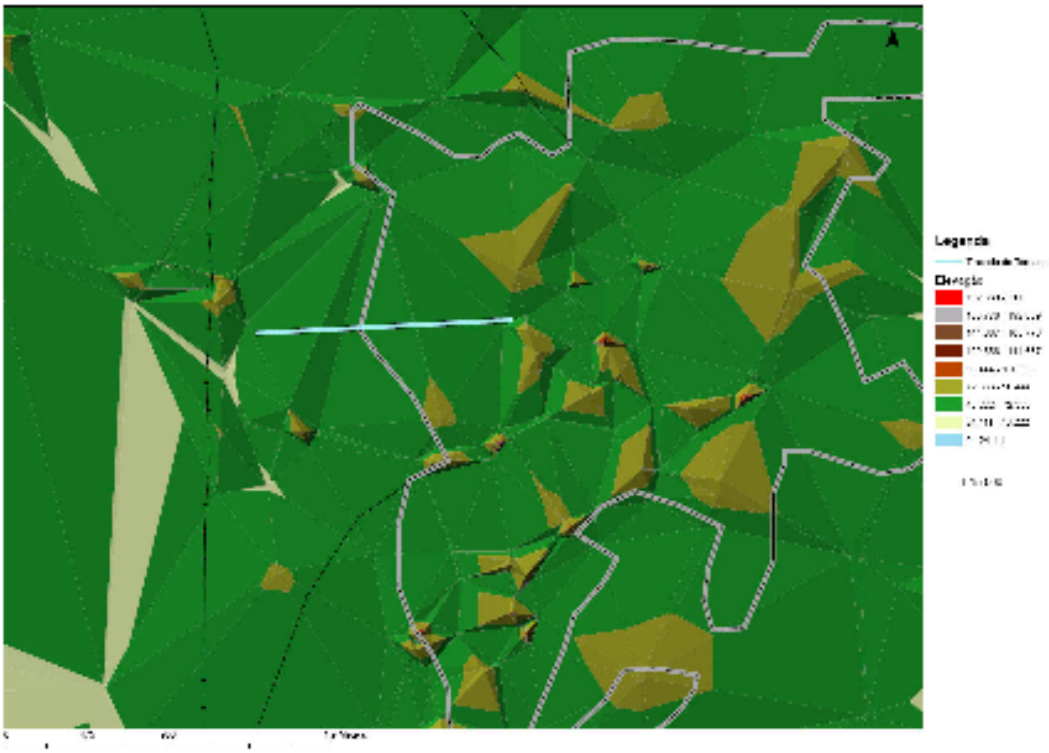
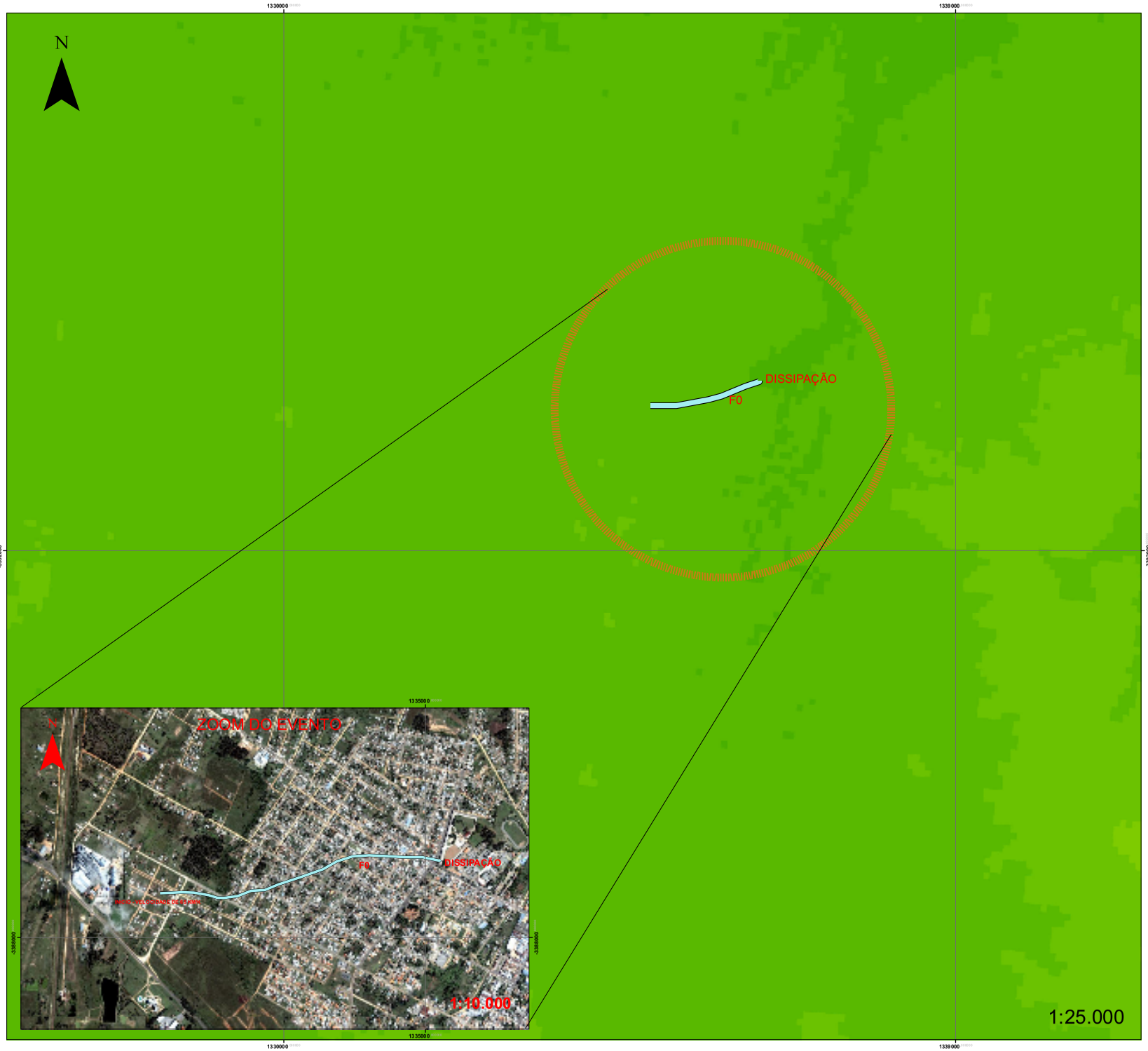
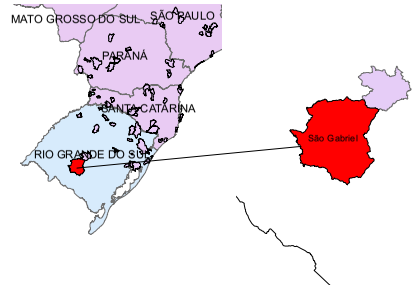


Figura 48 – Modelo Digital de Terreno e trajetória do tornado.
Fonte: (INPE, 2012)



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- F1 F3 F2 Traçado do Tornado e Escala Fujita
- Ampliação do evento

VALORES - COTAS

0 - 36	574,0000001 - 650
36,0000001 - 90	650,0000001 - 728
90,0000001 - 137	728,0000001 - 809
137,0000001 - 186	809,0000001 - 883
186,0000001 - 242	883,0000001 - 953
242,0000001 - 303	953,0000001 - 1.034
303,0000001 - 366	1.034,000001 - 1.138
366,0000001 - 431	1.138,000001 - 1.265
431,0000001 - 500	1.265,000001 - 1.424
500,0000001 - 574	1.424,000001 - 1.776

ESCALA ORIGINAL (A3): 1:300.000
ESCALA ORIGINAL (A1): 1:25.000

REFERÊNCIA

1 - DATUM - ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69
PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ESRI - DIGITAL GLOB 2009

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6 - TRAÇADO DO TORNADO EXTRAÍDO SEGUNDO PORTAL DO METSUL, 2010

7- ESCALA FUJITA 1981

8- MODELO DIGITAL DE TERRENO E TRAÇADO ELABORADO POR GEÓGR. BRUNO BERTONI 2013

TÍTULO:
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE TORNADOS - REGIÃO SUL e SUDESTE DO BRASIL

PLANTA - TOPOGRAFIA ASSOCIADA
AO EVENTO DE TORNADO - SÃO GABRIEL - RS -
6/11/2008

4.9 Guaraciaba – SC - data de ocorrência 07/09/2009.

A ocorrência do tornado em Guaraciaba-SC, município localizado no extremo-oeste de Santa Catarina foi classificado em trechos alguns trechos EF1 e EF0, segundo relatos de moradores e fotografias locais da passagem do evento houve a classificação e elaboração de uma planta que indica os graus de destruição do evento, esta classificação pode ser analisada a partir da Figura 50.

Figura 50 – Comunidades atingidas e classificação das destruições causadas segundo relatos – Guaraciaba – SC.
Fonte: (Prefeitura Municipal de Guaraciaba – SC, 2009)

De acordo de os levantamentos realizados pela Prefeitura Municipal foram estimados cerca de R$ 1,2 milhões em prejuízos pelo evento em Santa Catarina. As figuras a seguir indicam o grau de destruição dos eventos.

Figura 51 – Destruição em escola estadual em Guaraciaba - SC, 2009.
Fonte: (VALANDRO, 2009)

Figura 52 – Árvores destruídas pelo evento ocorrido em Guaraciaba - SC, 2009.
Fonte: (SDR São Miguel do Oeste, 2009)

Figura 53 – Árvores totalmente destruídas pelo evento ocorrido em Guaraciaba - SC, 2009.
Fonte: (Carla Valandro, 2009).

De acordo com o Boletim Climanálise no período de setembro houve forte influência do fenômeno El Niño, provocando ocorrência de chuvas acima da média no centro-sul e abaixo da média no norte do Brasil. A incursão de sistemas frontais e a atuação de cavados na média e alta troposfera e do jato em baixos níveis, a leste do Andes, foram os principais mecanismos responsáveis pela formação de áreas de instabilidade sobre a Região Sul.

A ocorrência do tornado em Guaraciaba foi detectada a partir da atuação de sistemas frontais que atuaram sobre o território brasileiro. O sistema originário da ocorrência do evento se deu a partir do sistema formado no nordeste da Argentina e o sul do Brasil, no dia 07, neste período foram evidenciados temporais em toda a Região Sul, com rajadas de vento e descargas elétricas, além de ocorrência de granizo.

No mesmo período foram detectadas pelas análises realizadas pelo Boletim Climanálise houve a atuação de jatos subtropicais sobre o norte da Argentina, sul do Paraguai, sul do Brasil e Uruguai, com magnitude média entre 40 m/s e 50 m/s este jato subtropical no dia 03, quando atingiu magnitude superior a 70 m/s sobre o Uruguai e influenciando a formação até a data do tornado no dia 7 de setembro de 2009.

Na imagem realçada GOES 10 podem ser observados padrões entre -40 e -30 de topos de nuvens durante a passagem do tornado indicando padrões de instabilidades associadas nesta data (Figura 53).

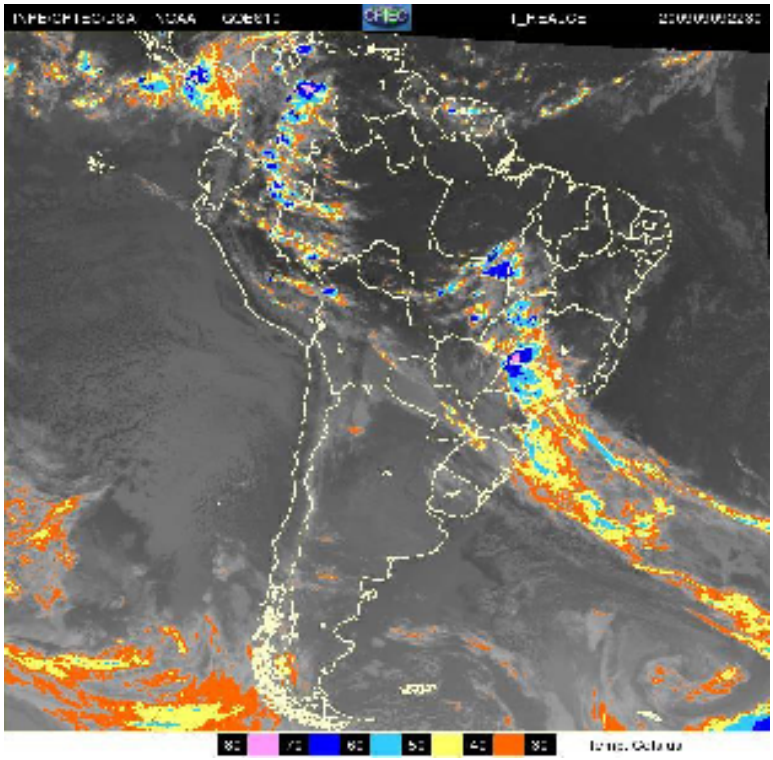


Figura 54 – Imagem realçada GOES 10 – 7/9/2009 – Guaraciaba - SC
Fonte: (CPTEC, 2013).

4.9.1 Análise da trajetória do Tornado em Guaraciaba-SC

De acordo com relatos de munícipes da região, fotografias e análise de campo foram detectadas estruturas de 3 tornados distintos que atingiram o município causando diferentes impactos. Estes impactos foram descritos pela Figura 55 e após análise destes impactos foram geradas as classificações segundo a escala Enhanced Fujita (2007). Para a análise do Modelo Digital de Terreno foi elaborado apenas a caracterização do evento principal entre as localidades de Sanga Bonita até o trecho de Linha Índio.

O relevo da região Oeste, onde está inserido o município de Guaraciaba, é caracterizado por formação de planaltos, apresentando súbita alteração dos níveis altimétricos. Neste Planalto Ocidental, o horizonte retilíneo contrasta bastante com as formas de relevo dos vales que os rios entalharam no material arenítico-eruptivo. Alguns rios escavaram profundamente o material rochoso, formando vales fechados.

Para a trajetória do tornado foi utilizada a base disponibilizada pela missão SRTM indicando em trechos de topografia mais acidentadas um aumento de intensidade do evento, principalmente em vertentes de drenagem existentes no trajeto do tornado.

Nestes casos, foram detectados maiores intensidades conforme a Figura 55 a seguir:

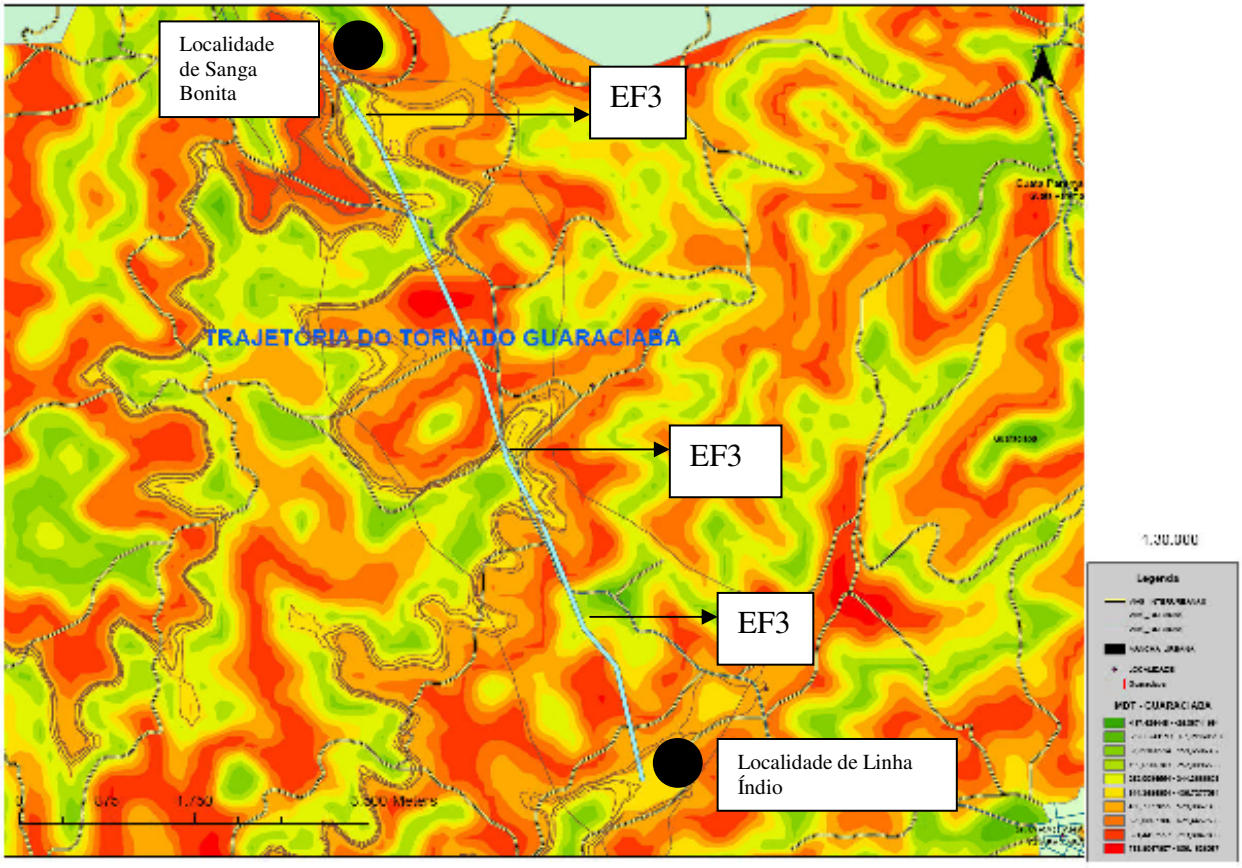
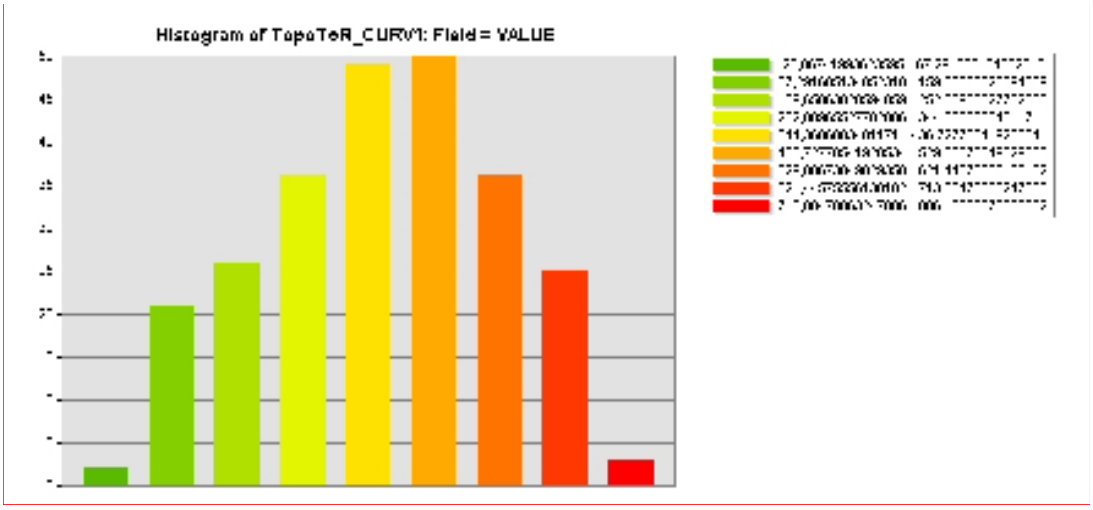
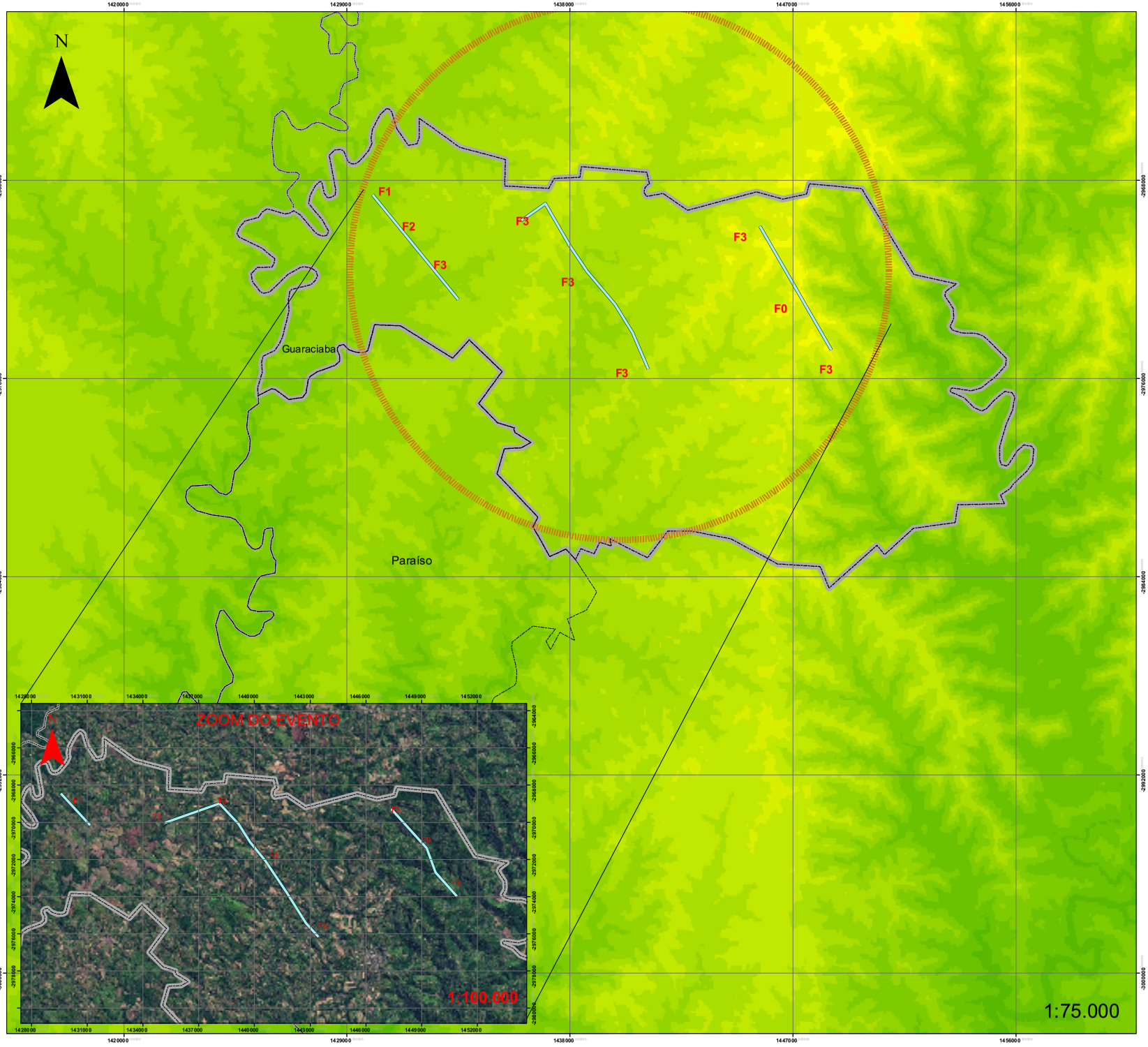


Figura 55 – Topografia associado ao traçado do tornado
Fonte: (EPAGRI/CIRAM, 2012).

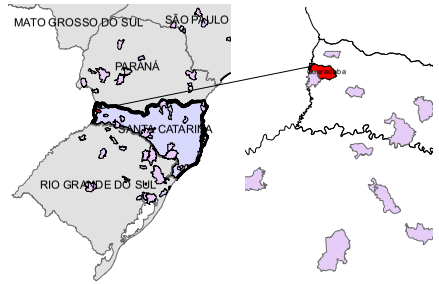
Tabela 12 – Histograma indicando perfil de cada trecho de passagem do tornado em Guaraciaba – SC.



Segundo a interpretação do Modelo Digital de Terreno elaborado segundo a trajetória apresentada pela prefeitura de Guaraciaba foram detectadas intensidades maiores nas regiões mais baixas e menores intensidades nos trechos mais altos do ponto de vista altimétricos.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- F1 F3 F2 Traçado do Tornado e Escala Fujita
- Ampliação do evento

VALORES - COTAS

0 - 51	800,0000001 - 856
51,0000001 - 159	856,0000001 - 908
159,0000001 - 273	908,0000001 - 961
273,0000001 - 369	961,0000001 - 1.019
369,0000001 - 451	1.019,000001 - 1.083
451,0000001 - 526	1.083,000001 - 1.153
526,0000001 - 597	1.153,000001 - 1.230
597,0000001 - 666	1.230,000001 - 1.329
666,0000001 - 735	1.329,000001 - 1.473
735,0000001 - 800	1.473,000001 - 1.831

ESCALA ORIGINAL (A3): 1:300.000
ESCALA ORIGINAL (A1): 1:75.000

REFERÊNCIA

1 - DATUM - ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69
PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ESRI - DIGITAL GLOB 2009

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6 - TRAÇADO DO TORNADO EXTRAÍDO SEGUNDO PORTAL DO G1 - 9/9/2009 - PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARACIABA-SC

7- ESCALA FUJITA 1981

8- MODELO DIGITAL DE TERRENO E TRAÇADO ELABORADO POR GEÓGR. BRUNO BERTONI 2013

TÍTULO:
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE TORNADOS - REGIÃO SUL e SUDESTE DO BRASIL

PLANTA - TOPOGRAFIA ASSOCIADA
AO EVENTO DE TORNADO - GUARACIABA - SC -
7/9/2009

4.10 Análise dos dados de caracterização meteorológica e padrões sinóticos associados à ocorrência de tornados

Após a análise dos boletins Climanálise e a consulta a bibliografia e autores que efetuaram diversos estudos sobre a ocorrência de tornados estes eventos podem estar associados diretamente a componentes climáticos e meteorológicos, desta forma, segundo estudos apontados por Marcelino (2004) os tornados podem estar associados a três características sinóticas principais, estas característica podem influenciar sobre maneira a ocorrência de tempestades severas que por sua vez são associadas à formação de tornados:

- Tornados Associados a Complexos Convectivos de Mesoescala;
- Tornados por Convecção Associada a Sistemas Frontais;
- Tornados associados à difluência no Escoamento Zonal em Altos Níveis.

No presente trabalho houve a caracterização da formação de tornados entre 1960 a 2010 e a distribuição espacial destes eventos, possibilitando a determinação das quatro regiões onde se identifica a maior ocorrência destes fenômenos. Inferindo que estes eventos atmosféricos ocorrem nas regiões mais interiores dos estados localizados no sul e sudeste brasileiro, em grande medida nas áreas planálticas e de topografia menos acidentada.

As ocorrências no litoral estão associadas aos elevados índices de umidade local devido à proximidade com o oceano e a Serra do Mar, propiciando a formação de nuvens convectivas. No trecho mais oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná a ocorrência de tornados esta associada com as passagens dos sistemas frontais, mais freqüentes e intensos no inverno, e com os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que são áreas de instabilidade que se formam sobre o Paraguai deslocando-se sobre o Estado de Santa Catarina (Marcelino et al., 2002).

Segundo Marcelino (2004) durante a estação do verão, a Massa Tropical Atlântica atua significativamente nas regiões sul e sudeste do Brasil, responsáveis por elevar as temperaturas e pressões atmosféricas. Neste período, as massas polares não atingem com grande intensidade e freqüência latitudes inferiores a 35º Sul (Monteiro e Furtado, 1995).

Ainda segundo Marcelino (2004) a Massa Tropical Continental (mTc), forma-se devido ao aquecimento do continente durante os períodos sazonais mais quentes, favorecendo condições de tempo quente e seco.

A atuação dessa massa resulta em temperaturas elevadas, pouca intensidade dos ventos e sensações térmicas desagradáveis, mesmo tratando-se de uma massa seca. Já a Massa

Equatorial Continental (mEc), ligada as áreas de baixas pressões e formada na região amazônica, caracteriza-se por forte instabilidade e umidade elevada do ar formando faixas alongadas de nuvens do tipo cumulonimbus, denominadas por Assíntotas de Convergência (Monteiro e Furtado, 1995) ou Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Kodama, 1992).

Outro fator primordial para melhor entendimento das dinâmicas associadas ao clima nas regiões Sul e Sudeste do país são os CCM. Segundo Silva Dias (1996) esta teoria se basea nos estudos realizados por Madoxx (1980).

Segundo Silva Dias (1996) os CCM são compostos por aglomerados de nuvens convectivas que tenham forma linear ou circular e que se desenvolvem nas proximidades do Paraguai e Argentina, e se deslocam para norte e nordeste em direção ao Brasil.

4.11 Análise de eventos ocorridos na Argentina

Em 1987 a pesquisadora Maria Luisa A. de Schwarzkopf executando os levantamentos de ocorrências de tornados na Argentina foi identificado no Boletim (Tormentas Severas y Tornados – Estúdios de los tornados em la Republica Argentina – 1987) a ocorrência de um evento na Província de Misiones, mais precisamente o relato de chuvas de granizo que afetaram as cidades de Pousadas e Apostoles, danificando fazendas de cultivo de erva mate, cana de açúcar e tabaco detectada até a área rural de Mojón Grande a cerca de 85 km de distância da cidade de Posadas. Esta ocorrência de granizo foi indicada no dia 6/7/1987.

No dia seguinte, 7/7/1987 foi registrado de acordo com o levantamento desta dissertação a ocorrência do tornado na cidade de Xanxerê no oeste de Santa Catarina, segundo levantamento efetuado por Marcelino (2003), conforme indicado na Tabela 13. Este evento foi classificado em escala de intensidade Fujita F2, que apresenta uma grande capacidade de destruição.

Tabela 13 – Ocorrência de tornados e correlação com eventos originados na Argentina.

Estado	Município	Dia	Mês	Ano	Tipo	Fonte
SC	Xanxerê	7	7	1987	Tornado F2	Marcelino
	Paraíso	5	4	1997	Tornado	Marcelino

Fonte: Adaptado de SILVA DIAS, 2011

Na Figura 56 é apresentado um esquema de passagem deste evento até a chegada no município de Xanxerê – SC.

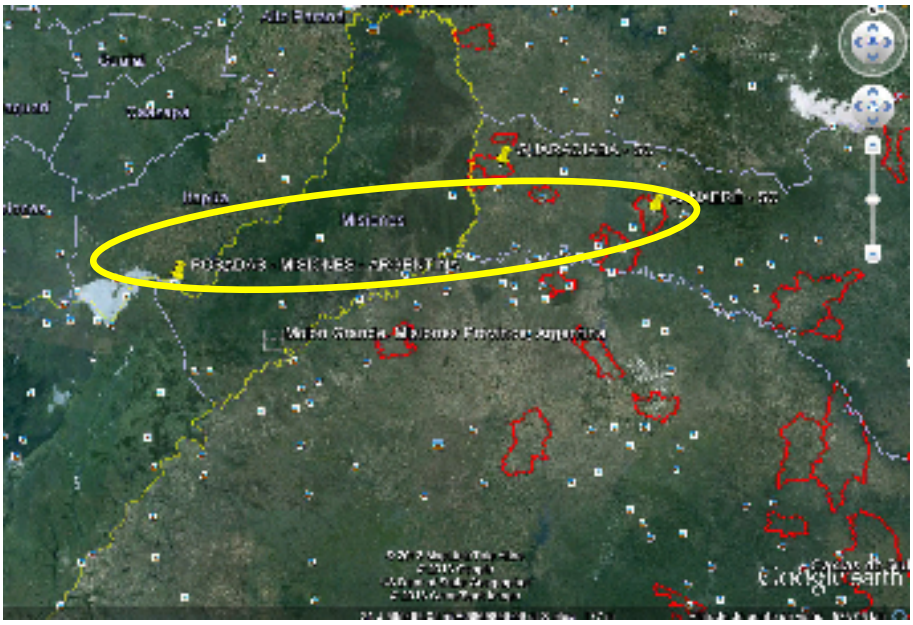


Figura 56 – Passagem de chuva de grande intensidade (com granizo) na Argentina e no dia seguinte a ocorrência do tornado em Xanxerê - SC.

Em 5/4/1997, a mesma pesquisadora Schwarzkopf descreve a ocorrência de chuvas fortes e ventos acima da média na província de Mar Chiquita, próximo a Mar Del Plata no trecho mais leste da Argentina próximo ao Uruguai. Nesta data foram relatadas ondas de até 4 metros. Neste mesmo dia, foi detectada, segundo Marcelino (2003), a ocorrência de um tornado na cidade de Paraíso estado de Santa Catarina cerca de 1260 km de distância, segundo a Figura 57 apresentada abaixo:

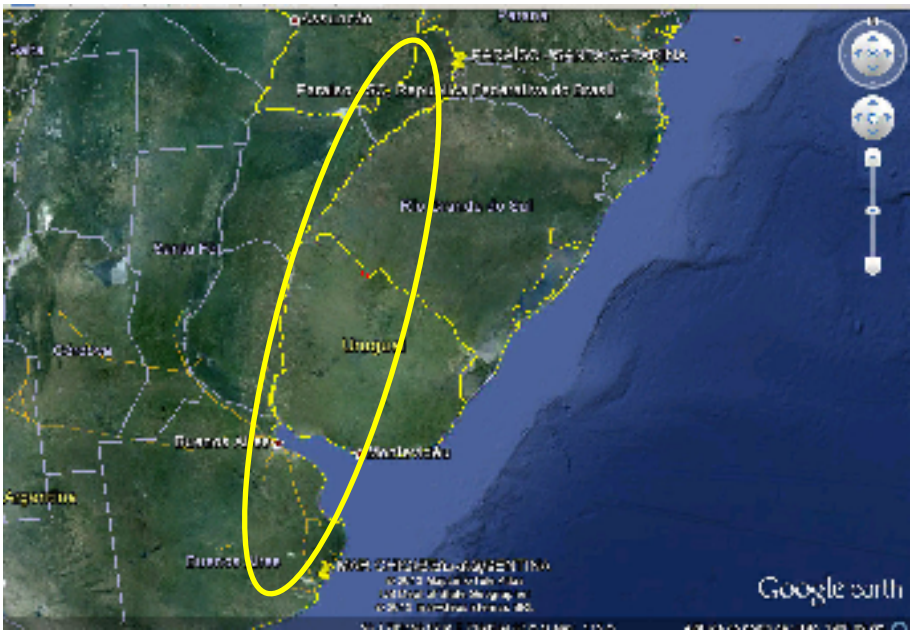


Figura 57 – Passagem de chuva de grande intensidade em Mar Chiquita na Argentina e no mesmo dia a ocorrência de um tornado em Paraíso – SC.

De acordo com o Boletim Climanálise da data de abril de 1997 os aspectos que podem ser apontados para estes eventos estão indicados nos seguintes aspectos:

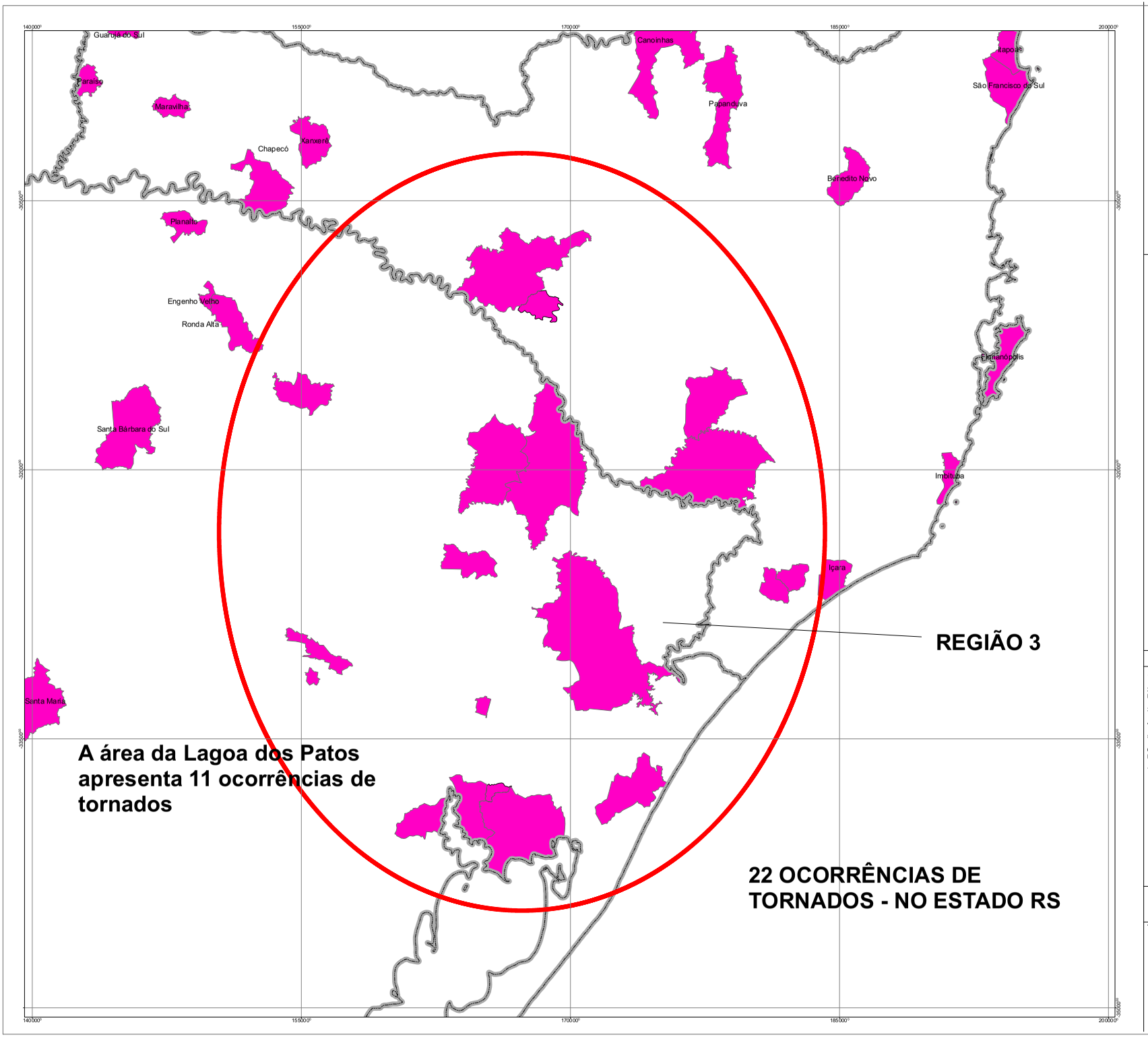
- Os sistemas frontais sobre as Regiões Sul e Sudeste tiveram um rápido deslocamento, causando poucas chuvas. O número de frentes frias ficou dentro da média climatológica (que são quatro frentes). O quarto sistema frontal do mês e um vórtice ciclônico, foram os responsáveis pelas chuvas ocorridas nos setores oeste e sul do Rio Grande do Sul. Porém, apesar das chuvas ocorridas sobre este Estado, ainda foram observadas anomalias negativas de precipitação,
- SISTEMAS FRONTAIS E FRONTOGÊNESE - Durante a trajetória do vórtice ocorreram ventos fortes, principalmente no litoral do Rio Grande do Sul, quando o ciclone estava próximo à costa deste Estado. As chuvas que ocorreram na fronteira entre o Rio Grande do Sul, no Brasil, e o Uruguai, foram de 51 mm em Uruguaiana, e de 45 mm em Bagé,
- TSM - Na costa da Região Sul, as TSM's mantiveram-se próximas à média climatológica.

Analisando estes dois eventos nota-se que a relação de levantamentos entre os institutos e órgãos de pesquisa e mesmo outros tipos de base de dados, por meio de convênios ou planos cooperativos poderiam auxiliar o melhor entendimento das formações dos tornados

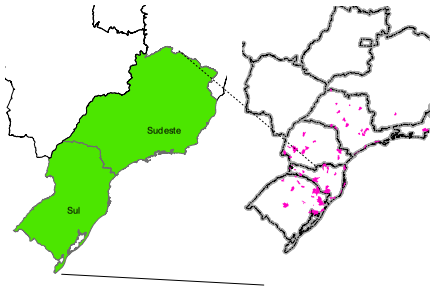
na região Sul e Sudeste do Brasil, além de criar uma rede de troca de informações internacional no Cone Sul contribuindo ainda mais para futuras pesquisas.

5. CONSIDERAÇÕES NÃO CONCLUSIVAS

- A relação de eventos como chuvas mais severas em países como Argentina, Paraguai e Uruguai poderiam auxiliar na emissão de informativos de emergência para a retirada de populações que podem ser atingidas por tornados;
- Na região da Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul de acordo com a Planta de Regionalização de Eventos na região da Lagoa dos Patos – RS nota-se uma grande freqüência na ocorrência de tornados principalmente na área do cinturão Orogênico que cria uma barreira orográfica e de circulação criando tendências para formação de tempestades mais concentradas.



LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS - TORNADOS



LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Capital
- Sedes Municipais
- Povoados
- Outras Localidades
- Limite Internacional
- Limite Estadual
- Município de Ocorrência de Tornado
- Regiões de Maior Quantidade de Casos de Tornados

ESCALA GRÁFICA

0 30 60 90 120 150 Km

ESCALA ORIGINAL (A3): 1:3.000.000

ESCALA ORIGINAL (A1): 1:1.000.000

REFERÊNCIAS

1 - DATUM DE REFERÊNCIA ELIPSÓIDE: SOUTH AMÉRICA 69 / PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR.

2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - BASE CARTOGRÁFICA INTEGRADA DIGITAL DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, 2003.

3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MALHA MUNICIPAL DO BRASIL, 2005.

4 - ELETROBRÁS - SIPOT-SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO, 2006.

5 - IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, CENSO 2000.

6- An increase in the number of tornado reports in Brazil - SILVA DIAS no prelo (2011)

7- ESRI Imagery, 2011

TÍTULO:

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE TORNADOS - REGIÃO SUL e SUDESTE DO BRASIL

OCORRÊNCIAS DE TORNADOS NA REGIÃO DA LAGOA DOS PATOS - RS

1:1.000.000

6. CONCLUSÕES

Com base nas descrições contidas nesta dissertação conclui-se que:

- Os tornados não podem ser associados apenas ao relevo, topografia ou de uso e ocupação do solo, mas principalmente a características sinóticas e climáticas específicas que formam tempestades severas e possibilitam a formação destes eventos;

- Os tornados ocorrem principalmente em quatro regiões específicas dos estados de São Paulo, Oeste de Santa Catarina e Paraná e próxima a região da Lagoa dos Patos e extremo Sul do estado do Rio Grande do Sul;

- O uso e ocupação do solo predominante na formação de tornados no sul e sudeste do Brasil pode ser caracterizado por lavouras ou regiões de plantações e manejo agropecuários, porém as classes de vegetação nativa apresentam grande parcela nos índices de ocupação nos casos de tornados analisados, desta forma, o uso e ocupação não pode ser associado diretamente a ocorrência deste tipo de fenômeno nas áreas estudas por esta dissertação;

- Os tornados ocorrem principalmente em áreas de planalto e características de relevo pouco acidentadas, conforme anaálisado nos mapas de topografia e geomorfologia;

- A topografia influencia na intensidade dos eventos estudados (Indaiatuba, Lins, São Gabriel e Guaraciaba), porém apresenta intensidades de acordo com a escala Fujita diferentes, não podendo assim ser fator determinante na classificação dos eventos;

- De acordo com a análise sobre a sazonalidade os tornados ocorrem nos períodos principalmente entre primavera, verão, outono e inverno, atendendo esta ordem crescente de ocorrências,

- Os tornados foram identificados ao longo da Calha do Rio Tietê, na região de Lins, Lençóis Paulistas e Bauru e na região de Campinas são delimitados nas regiões adjacentes as serras do Japi, Mantiqueira e de São Pedro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A.N. **Os domínios de Natureza no Brasil**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005. 152p.

AB'SABER. A.N. Contribuição à Geomorfologia do Estado do Maranhão. Notícia Geomorfológica. Departamento de Geografia da UNICAMP. Campinas. São Paulo, 1960.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v.47, n.2-4, p.107-124, 2002.

ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia (DNPM), 24: 1-36.

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, **7**: 349-364.

ALMEIDA, F.F.M. 1986. Substratos utilizados para a criação de dípteros caliptratos em uma área rural do Estado do Rio de Janeiro. Arq. Univ.Fed. Rur.Rio de Janeiro, 9:13-22.

ALMEIDA, F.F.M. & Hasui, Y. 1986, O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blücher, 378 p.

ALMEIDA, F. F. M. DE; AMARAL, G.; CORDANI U. G.; KAWASHITA, K. The precambrian evolution of the South American Cratonic Margin south of Amazonas River. In: NAIRN, A. E. M.; STEHLI, F. G. (Ed.). The ocean basin and margins. New York: Plenum Press, 1973. p. 411-446. v. 1.

ALMEIDA, F.F.M. 1976. The system of continental rifts borderingthe Santos basin, Brazil. In: F.F.M. Almeida (ed.) Continental Margins of Atlantic Type. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 48 (suplemento): 15-26.

ANDRÉ, I.R.N. Algumas considerações sobre mudanças climáticas e eventos atmosféricos severos no Brasil. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v.1, n.1-2, p.1-9, 2006.

ANTÔNIO, Mauricio de Agostinho; ANTÔNIO, Carlos Alberto de Agostinho; FIGUEIREDO, José Carlos. Tornados do Outono de 2004 no Interior Paulista (CD-ROM). In:

XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2005. p.2819-2826.

ANTÔNIO, M.A. Ocorrência de tornado na região tropical do Brasil. **Boletim Climatológico**, n.3, p.136-141, 1997.

BARBOSA, O. (1934). Resumo da Geologia do Estado de Minas Gerais. Serviço Geológico, 3: 1-44.

BERROCAL, J., ASSUMPÇÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO,C.M., ORTEGA, R., FRANÇA, H. & VELOSO, J. - 1984 - Sismicidade do Brasil, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, Brazil, 320p.

BERTONI, B.G.L. Um estudo de caso de eventos atmosféricos severos no estado de São Paulo no ano de 2005 (Trabalho de Conclusão de Curso). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 68 p. 2007.

BERTONI, Bruno Gomez Leguizamon, ANDRÉ, Iara Regina Nocentini, AZEVEDO, Thiago Salomão de. Análise da ocorrência do Tornado no Município de Indaiatuba (2005) e a correlação entre o relevo e a topografia da região. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2010, Belém. **Anais**. Rio de Janeiro: SBMET, 2010. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/1a.html>. Acesso em: 11 dez 2012.

BETTS, N. Extreme rainfall and its hidrological impact in north-east Ireland, october 1990. **Geography**, v.84, n.3, p.241-250, 1999.

BLYTH, E.M.; DOLMAN, A.J.; NOILHAN, J. The effect of forest on mesoescale rainfall: an example from HAPEX-MOBILHY. **Journal of Applied Meteorology**, v.33, n.4, p.445-454, 1994.

Boletim Climanálise, 2012. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>.Acesso em: 13 dez 2012

Boletim Climanálise, 2011. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>.Acesso em: 13 dez 2012

BRITO NEVES, B.B. - Proterozoic passive continental margin of Brazil - Africa. In: COLLOQUE DE GÉOLOGIE AFRICAINE, 15., 1990, Nancy, Abstracts. Nancy, 1990. p.168.

CEBOLLADA, Roberto. Foto de tornado nos EUA em 2003. Disponível em: <www.cazatormentas.net>. Acesso em: 13 ago 2012.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Divisão de Satélites e Estudos Ambientais. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/pedidoweb/pedido.formulario.logic>. Acesso em: 19 jan 2013.

CHAVES, Rosane Rodrigues; RODRIGUEZ, Daniel Andrés. **Apostila de GrADS**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CORDANI, U.G.; KAWASHTTA, K; SATO, K.; TAYLOR, P.N. 1986. Pb-Pb, Rb-Sr and K-Ar systematics of rock types in the Lagoa Real Uranium Province, South Central Bahia, Brazil, In: INTERN. GEOL. CONGR., 28. Washington, 1986. Abstract.. Washington, v. 1, p. 327

COSTA, S.; MEZZASALMA, P.; LEVIZZANU, V.; ALBERONI, P.P.; NANNI, S. Deep convection over Northern Italy: synoptic and thermodynamic analysis. **Atmospheric Research**, v.56, n.1-4, p.73-88, 2001.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **O fenômeno morfogenético no Munícipio de Campinas (SP)**. 1968. 209 f. Campinas. 209 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filósofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1968.

CUNHA, G.R. **Meteorologia**: fatos e mitos. Passo Fundo: Embrapa, 1997, p. 80-83.

DAVIES-JONES, R., J. R. TRAPP, AND H. B. BLUESTEIN, 2001: Tornadoes and tornadic storms. Severe Convective Storms, Meteor. Monogr., No. 50, Amer. Meteor. Soc., 167–221.

Defesa Civil do Município de Lins (2008) Disponível em: <http://www.lins.sp.gov.br/> Acesso em 10/12/2008

DOSWELL, C.A. **What is a tornado?** In: NOAA/ERL/National Severe Storms Laboratory, 2001, Norman. Disponível em: <http://www.cimms.ou.edu/~doswell/a_tornado/atornado.html>. Acesso em: 21 jul 2011.

DOSWELL III, C.A.; BOSART, L.F. Extratropical synoptic-scale processes and severe convection. In: DOSWELL III, C.A. (Ed.) **Severe Convective Storms**. Boston: American Meteorological Society, 2001, Cap.2, p.27-69.

DOTY, Brian; KINTER III, James; FIORINO, Michael; HOOPER, Don; BUDICH, Reinhard; WINGER, Katja; SCHULZWEIDA, Uwe; CALORI, Luigi; HOLT, Tom; MEIER, Karin. The grid analysis and display system (GrADS): An update for 1997. In: 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON IIPS FOR METEOROLOGY, OCEANOGRAPHY AND HIDROLOGY, 1997, Longbeach. **Proceedings.** Longbeach: American Meteorological Society, 1997. p.117.

DYER, Robert C. Rastros de tornados no sudoeste do Brasil, leste do Paraguai e nordeste da Argentina. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1986, Gramado. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 1986. p.589-603.

DYER, R.C. Remote Sensing Identification of tornado tracks in Argentina, Brazil and Paraguay. **Photogrammetric Engineering Remonte Sensing**, v.54, n.10, p.1429-1435, 1988.

DYER, Robert C. A review of tornado activity in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 1994, Rio de Janeiro. **Proceedings.** São José dos Campos: INPE, 1994. v.30, p.203-213.

EBERT, H.; 1956. Relatório sobre a atividade durante o ano de 1956. Tectônica do Pré-Cambriano (São João del Rei). In: Relatório Anual do Diretor ano 1955, DGM, Rio de Janeiro : p. 69-81.

EBERT H. 1968. Ocorrencia da fácies granultica no sul de Minas Gerais e em areas adjacentes, em dependeência de sua estrutura orogênica: Hipótese sobre sua origem. An.Acad. Bras.Cien., 40{supl):215-229

EBERT, H. 1971. Observações sobre a litologia e subdivisão do Grupo Setuva no Estado do Paraná, com sugestões a tectônica geral do geossinclíneo do Açungui. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, SBG, São Paulo, **Anais**. 1:131-
165.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2007 Disponível em: <http://www.encyclopediacenter.com/Encyclopedia-Britannica-2007-p/britannica-2007.htm> Acesso em:21/08/2007

ENHANCED FUJITA SCALE, 2007. Disponível em <http://www.spc.noaa.gov/efscale>. Acesso em 20 dez 2012.

EPAGRI/CIRAM - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br>. Acesso em: 19 dez 2012.

ESRL. Earth System Research Laboratory: Physical Sciences Division. Disponivel em <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html> Acesso em: 20 set 2012.

FERRAZ, J.S. Meteorological summary for Brazil. **Monthly Weather Review**, v.55, p.500-500, 1927.

FUJITA, T.T. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. **Journal of the atmospheric sciences**, v.38, p.1511-1524, 1981.

GEOEYE, 2010. Disponível em: <www.esri.com>Acesso em 12/09/2010

GONTIJO, A.H.F. (1999) Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Região da Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. 259p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, SP.

HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Rev. Bras. Geoc., 6(3): 180-200.

HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R. & COIMBRA, A.M. 1976. The Ribeira Fold Belt. Revista Brasileira de Geociências, 5: 257-266.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. 1978. Os granites e granitóides da região de dobramentos sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 30, Recife, 1978. **Anais.** Recife, SBG. v.6, p.2594-2606.

HUSHCKE, R.E. **Glossary of Meteorology**. Boston: American Meteorological Society, 1959. 585p.

IIBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística,, 2000 Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em 10/10/2010

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010 Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em 10/10/2010

IGC - Instituto de Geografia e Cartografia do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em: <www.igc.sp.gov.br> Acesso em: 20/12/2012

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponivel em <http://reia.inmet.gov.br/html/prev_clima_tempo/previsao.html>. Acesso em: 20 jan 2013.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012 – Banco de Imagens CBERS Disponível em: <www.inpe.br> Acesso em:21/12/2012

IPMet - Instituto de Pesquisas Meteorológicas. Disponivel em <http://www.ipmet.unesp.br/tornado_Lins>. Acesso em: 20 jan 2013.
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo. 2 v, (Monografias, 6), 126p.

KODAMA, Y-M., 1992: Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of subtropical frontal zones. J. Meteor. Soc. Japan, 70, 813-835.

LAMEGO, A. R. (1936). O Massiço do Itatiaya e Regiões Circundantes. Boletim do Serviço Geológico e Mineralogico n. 88, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro.

LEONARDOS, OTHON HENRY. 1940. Geologia do Brasil. Rio de Janeiro: 1940. 472p

MADDOX, R. A. 1980. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in Meteorological data. Monthly Weather Review, 108: 1108-1121.

MAHFOUF, J.F.; RICHARD, E.; MASCART, P. The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulations. **Journal of Applied Meteorology**, v.26, n.11, p.1483-1495, 1987.

MARCELINO, I.P.V.O.; HERRMANN, M.L.P; FERREIRA, N.J. The occurrence of tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. **Australian Meteorological Magazine**, 2002 (submetido).

MARCELINO, Isabela Pena Viana de Oliveira. **Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados**. 2003. 214 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

MARCELINO, Isabela Pena Viana de Oliveira, NASCIMENTO, Ernani de Lima. **Eventos de tempo severo no Brasil: mudanças climáticas?** Instituto Tecnológico SIMEPAR.

Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental. Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.lemma.ufpr.br/ernani/>. Acesso em: 27 ago 2010.

MARCELINO, E. V; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. Caminhos de Geografia, v.6, n.19. p.130-149, 2006.

MARCELINO, E. V.; MARCELINO, I. P. V. O.; SOUSA JUNIOR, M. A.; LACRUZ, M. S. P.; Núcleo de Aplicação e Pesquisa de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos no Centro Regional Sul do INPE, ln: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 21-26 abril 2009, Florianópolis, Brasil. **Anais INPE**, p. 4401-4403

MASSAMBANI, Oswaldo; CARVALHO, Leila Maria Vespoli de; VAZQUEZ, Miguel Angel. Tornado ou microexplosão? Um diagnóstico via Radar do evento de Itú - São Paulo. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1992, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992. v.2, p.763-768.

MASTER IAG - em: <http://www.master.iag.usp.br/index.php?pi=N>acesso em: 10/01/2013

MENDONÇA; M. MONTEIRO, M.A; 1997. Precipitações anômalas concentradas e localizadas ocorridas na costa centro-sul do estado de Santa Catarina no período de 1990-1995. Boletim Climatológico. FCT/UNESP, Presidente Prudente, 2(3): 77-180.

MENEZES, W. F. E M. A. F. SILVA DIAS, 1998b: Simulação Numérica dos Casos "Itú" e "Ribeirão Preto": Comparação Entre Casos de Tempestades Imersas em Ambientes com Diferentes Padrões de Cisalhamento Vertical do Vento. **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 26 – 30 out. Brasília – DF.MENEZES, 1998}

MENEZES, W. F. Tempestades Severas: Um Modelo para Latitudes Subtropicais. Tese de Doutoramento, Dept. Ciências Atmosféricas, Inst. de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 174pp.,1998.

MetSul, 2009. Disponível em: <www.metsul.com> acessado em 11/08/2009

Minopar, 2010 Disponível em: <www.minopar.pr.gov.br>acesso em: 10/01/2010

MONTEIRO, M.A.; FURTADO, S.M.A. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. Geosul, v.10, n.19/20, 1995, p.117-133.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 1, p. 121-140, 2005.

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

NCEP/NCAR. Disponível em: <http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep_data/index.html>. Acesso em: 20 jan 2013.

NCEP, 2011. Disponível em: < http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/> Acesso em: 05/5/2011.

NCEP, 2012. Disponível em: < http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/> Acesso em: 09/12/2012

ORR, C.J. Entre a terra e o espaço. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1966, p.43-61.

PERLIN, N.; ALPERT, P. Effects of land-use modification on potential increase of convection: a numerical mesoescale study over south Israel. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n.D19, p.22621-22634, 2001.

GUARACIABA (Prefeitura). Mapa das comunidades atingidas e classificação das destruições causadas segundo relatos – Guaraciaba – SC, 2009. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL1299599-5598,00 PREFEITURA+DE+GUARACIABA+SC+DIVULGA+MAPA+DE+AREAS+ATINGIDAS +POR+TORNADO.html>. Acesso em: 10 nov 2012.

REDEMET - Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/radar/radar.php?chave=MjAxMzAxMjcwMjMzMDk=&ID_ REDEMET=1u91l4gi36hn7gi8ofs90p42v5&data=07/09/2009#>. Acesso em: 21 ago 2012.
REINKE, Donald. Image Interpretation. In: KIDDER, S.Q.; HAAR, T.H.V. **Satellite meteorology**: an introduction. San Diego: Academic Press, 1995. p.146-180.

RICCOMINI, C. (1989) O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

ROCHA, Humberto Ribeiro da. **Relações Funcionais de Clima e Biosfera no Brasil**. 2004. 79 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo, 2004.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxono mia do Relevo, Rev. do Depto. Geografia, FFLCH-USP, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992.

ROSS, J. Geomorfologia: Ambiente e planejamento. 7 ed. São Paulo: Contexto, 2002, p. 29.

ROSS, J. (org.). Geografia do Brasil. São Paulo, Edusp, 2008 pag 301.

SANTORO, J. Fenômenos erosivos acelerados na região de São Paulo – SP. Estudo da fenomenologia com ênfase geotécnica. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 140 p. 1991.

SCHOBBENHAUS, C. & CAMPOS, D.A. (1986). A evolução da Plataforma Sulamericana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: Schobbenhaus C. et al. Coords. Geologia do Brasil. Brasília, DNPM, p. 9-53.

SCHWARZKOPF, M.L.A. Tormentas Severas y Tornados. Universidad de Buenos Aires, 1987

SCHWARZKOPF, M.L.A. Tormentas Severas y Tornados. Universidad de Buenos Aires, 1997.

SCHWARZKOPF, M.L.A. Tormentas Severas y Tornados. Universidad de Buenos Aires, 1999

SDR São Miguel do Oeste - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional de São Miguel do Oeste. Imagem de destruição provocada por tornado em Guaraciaba em 2009. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Vestibular/0,,MUL1299767-5604,00-COM+ESCOLAS+ATINGIDAS+POR+TORNADO+GUARACIABA+SO+RETOMA+AULAS+EM+DIAS.html>. Acesso em: 10 nov 2012.

SEGAL, M.; AVISSAR, R.; MCCUMBER, M.C.; PIELKE, R.A. Evaluation of vegetation effects on generation and modification of mesoscale circulations. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.45, n.16, p.2268-2292, 1988.

SEGAL, M.; GARRATT, J.R.; PIELKE, R.A.; SCHREIBER, W.E.; RODI, A.; KALLOS, G.; WEAVER, J.A. The impact of crop areas in northeast Colorado on midsummer mesoscale thermal circulations. **Monthly Weather Review**, v.117, n.4, p.809-825, 1989.

SEGAL, M.; ARRITT, R.W. Nonclassical mesoscale circulations caused by surface sensible heat-fluxes gradients. **Bulletin American Meteorological Society**, v.73, n.10, p.1593- 1604, 1992.

SEGAL, M.; ARRITT, R.W.; CLARK, C.; RABIN, R., BROWN, J. Scaling evaluation of the effect of surface characteristics on potential for deep convection over uniform terrain. **Monthly Weather Review**, v.123, n.2, p.383-400, 1995.

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

SILVA DIAS, M. A. F. 1996. Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a Região Sul do Brasil. Climanálise Especial, 1: 173-179.

SILVA DIAS, M. A. F. E P. REGNIER, 1996: Simulation of Mesoscale Circulations in a Deforested Area of Rondonia in the Dry Season. In: Amazonian Deforestation and Climate. J. Gash, C. Nobre, J. Roberts, R. Victoria, Eds., John Wiley & Sons, pp. 531-547

SILVA DIAS, MARIA A. F., 2011: An Increase in the Number of Tornado Reports in Brazil. Wea. Climate Soc., 3, 209–217. Received: September 1, 2010; Accepted: August 8, 2011

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

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da. Storms in Brazil. In: PIELKE, R.Sr.; PIELKE, R.Jr. **Storms - Hazard and Disasters Series**. Londres: Routledge, 1999, v.2, p.207-219.

SIMEONOV, P.; GEORGIEV, C.G. A case of tornado-producing storm south of Rhodopes mountain in the Eastern Mediterranean. **Atmospheric Research**, v.57, n.3, p.187-199, 2001.

SIMIELLI, M.E. **Primeiros Mapas**: como entender e construir. São Paulo: Ática, 1998. v.1. 32p.

TV SOL - Passagem do tornado em Indaiatuba (SP) em 24/05/2005 (filme-vídeo) Brasil, 2005, 171seg. color.

VALANDRO, Carla. Imagem do Ginásio da Escola Estadual de Guaraciaba (SC) destruído pela tespestade em 2009. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Vestibular/0,,MUL1299767-5604,00-COM+ESCOLAS+ATINGIDAS+POR+TORNADO+GUARACIABA+SO+RETOMA+AULAS+EM+DIAS.html>. Acesso em: 10 nov 2012.

VESILIND, P.J. Chasing tornadoes. **National Geographic Magazine**, p.2-37, 2004.

ANEXOS