

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

CARLOS FERNANDO PSIBIOVSKI

OCORRÊNCIAS DE DOWNBURSTS E IMPACTOS DE VENDAVAIS NA CIDADE
DE PONTA GROSSA/PARANÁ

PONTA GROSSA

2026

CARLOS FERNANDO PSIBIOVSKI

OCORRÊNCIAS DE DOWNBURSTS E IMPACTOS DE VENDAVALS NA CIDADE
DE PONTA GROSSA/PARANÁ

Dissertação apresentada para obtenção
do título de mestre em Gestão do
Território na Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Área de Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Karin Linete
Hornes

PONTA GROSSA

2026

P974 Psibiovski, Carlos Fernando
Ocorrências de downbursts e impactos de vendavais na cidade de Ponta Grossa/Paraná / Carlos Fernando Psibiovski. Ponta Grossa, 2026.
171 f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração: Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Karin Linete Hornes.

1. Vendavais. 2. Análises sinóticas. 3. Danos. I. Hornes, Karin Linete. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Gestão do Território: Sociedade e Natureza. III.T.

CDD: 551

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

CARLOS FERNANDO PSIBIOVSKI,

OCORRÊNCIAS DE DOWNBURSTS E IMPACTOS DE VENDAVAIS NA CIDADE DE PONTA GROSSA/PARANÁ

Ponta Grossa, 10 de fevereiro

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Karin Linete Hornes – UEPG

Documento assinado digitalmente
KARIN LINETE HORNES
Data: 24/04/2026 15:07:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leandro Redin Vestena – UNICENTRO

Documento assinado digitalmente
LEANDRO REDIN VESTENA
Data: 23/04/2026 17:32:01-0300
Documento assinado digitalmente
VICTOR DA ASSUNÇÃO BORSATO
Data: 24/04/2026 13:03:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Victor da Assunção Borsato – UNESPAR/Campo Mourão

25.000093359-6

3091600v4

Dedico este trabalho a todas as pessoas que incentivaram
a realização dessa pesquisa, aos meus pais, minha irmã,
e aos professores.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais e a minha irmã, por todos os incentivos.

À professora Karin Linete Hornes pelas orientações, que proporcionaram muitos aprendizados.

Aos colegas que estiveram presentes durante o mestrado.

À Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa, por disponibilizar as imagens analisadas na pesquisa.

Aos profissionais da Estação Meteorológica Fazenda Escola Capão da Onça por fornecer dados para a pesquisa.

À CAPES pela bolsa fornecida.

À estação meteorológica da Fazenda Escola Capão da Onça

Conhecer a si próprio é o primeiro passo de um povo no caminho de
sua riqueza.

(Victor Civita, 1971)

RESUMO

Durante os anos de 2023 e 2024, no município de Ponta Grossa, ocorreram episódios de tempestades locais convectivas – vendavais, termo utilizado pela Defesa Civil (Brasil, 2012a) para os registros. Muitos desses eventos provocaram elevada perda econômica, pois atingiram diversas regiões da cidade. As tempestades severas são comuns na Região Sul do Brasil, entre elas, os *downbursts*, um tipo específico de tempestade, com padrões de danos de vento divergentes, que acarreta danos severos. O objetivo geral da presente pesquisa foi verificar se os eventos severos registrados como vendavais pela Defesa Civil durante o ano de 2023 e 2024 em Ponta Grossa podem ser classificados como *downbursts* (micro e macroexplosões). Para tanto, foram analisadas as condições sinóticas de nove eventos, incluindo as imagens de satélite GOES 16 e Meteosat 9, cartas da marinha brasileira e o índice CAPE. Os valores do índice CAPE foram adquiridos através do site *Earth Nullschool*, referentes aos dias de ocorrências registrados, selecionando o horário mais próximo. Estas informações foram confrontadas com as fotografias de danos disponibilizadas pela Defesa Civil e dados obtidos em jornais locais a fim de identificar padrões correspondentes aos *downbursts*. Os resultados indicaram a presença de vendavais do tipo *downburst* em Ponta Grossa. Assim, como a presença de dois *downbursts*, analisados através dos registros de vendavais da Defesa Civil. As rajadas de ventos provocaram principalmente a queda de árvores e destelhamentos, mas, alguns pontos foram impactados por conterem uma frágil infraestrutura ou estavam em construção. Alguns locais foram impactados por alagamentos, com os vendavais gerando poucos danos. Os resultados do presente trabalho verificaram que sete ocorrências não tiveram disposição de danos ou condições sinóticas semelhantes à *downbursts*, mas duas delas como a de 12 de outubro de 2023 apresentavam os requisitos necessários para a identificação do fenômeno.

Palavras-chave: vendavais; análises sinóticas; danos.

ABSTRACT

During 2023 and 2024, the municipality of Ponta Grossa experienced episodes of local convective storms—windstorms, a term used by the Civil Defense (Brasil, 2012a) in its records. Many of these events caused significant economic losses, as they affected various parts of the city. Severe storms are common in southern Brazil, including downbursts, a specific type of storm characterized by divergent wind damage patterns that cause severe damage. The overall objective of this study was to determine whether the severe events recorded as windstorms by the Civil Defense during 2023 and 2024 in Ponta Grossa can be classified as downbursts (micro and macrobursts). To this end, the synoptic conditions of nine events were analyzed, including GOES 16 and Meteosat 9 satellite images, Brazilian Navy charts, and the CAPE index. CAPE index values were obtained from the Earth Nullschool website for the days of the recorded events, selecting the closest time. This information was compared with photographs of damage provided by the Civil Defense and data obtained from local newspapers in order to identify patterns corresponding to downbursts. The results indicated the presence of downburst-type windstorms in Ponta Grossa, specifically two downbursts, as analyzed using windstorm records from the Civil Defense. The wind gusts primarily caused trees to fall and roofs to be torn off, but some areas were particularly affected because they had fragile infrastructure or were under construction. Some locations were affected by flooding, with the windstorms causing little damage. The results of this study found that seven events did not exhibit damage patterns or synoptic conditions similar to downbursts, but two of them, such as the one on October 12, 2023, met the necessary criteria for identifying the phenomenon.

Keywords: windstorms; synoptic analysis; damage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de desastres por categoria, de 1970 a 2025 ao redor do mundo.....	27
Figura 2 – Eventos de desastres de tempo extremo por ano, de 1970 a 2025 ao redor do mundo.....	28
Figura 3 - Número de mortes por desastre, de 1900 a 2025 no mundo.....	29
Figura 4 - Porcentagem de pessoas afetadas por tipo de desastre no Brasil, de 1991 a 2012.....	30
Figura 5 - Porcentagem de mortes por tipo de evento, nos EUA.....	32
Figura 6 - Esquema explicativo da evolução de uma linha de instabilidade.....	38
Figura 7 – Exemplo do NOAA de Linha de Instabilidade em imagem de satélite nos EUA.....	39
Figura 8 – Queda de árvore por ação das rajadas de ventos.....	39
Figura 9 – Queda de árvore à beira da rodovia, com troncos quebrados.....	39
Figura 10 - Queda de um avião durante um <i>downburst</i>	45
Figura 11 - Distribuição de <i>downbursts</i> de 2000 a 2019 nos Estados Unidos.....	48
Figura 12 - Diferença entre <i>downburst</i> e tornado, segundo Climatempo.....	52
Figura 13 - Vorticidade de microexplosões e tornados.....	54
Figura 14 – Exemplo de disposição de danos de tornados.....	54
Figura 15 - Exemplo de disposição de danos de <i>downbursts</i>	55
Figura 16 - Destruição causada por <i>microburst</i> , com movimento induzido pelo telhado da construção, em 1977.....	56
Figura 17 - Danos provocados pelas rajadas de ventos em uma única direção, do <i>microburst</i> Danville em um campo de milho.....	56
Figura 18 - Nuvem bigorna (<i>anvil cloud</i>), indica a formação de tornado, satélite Suomi-NPP VIIRS, na Baía de Bengala, em 2019.....	57
Figura 19 – Esquema ilustrativo de nuvens <i>hook echo</i> e <i>bow echo</i>	58
Figura 20 - Desabrigados e desalojados por vendavais e ciclones no Brasil de	

1991 a 2024.....	59
Figura 21 - Danos por categoria vendavais e ciclones no Brasil de 1991 a 2024.....	59
Figura 22 - Municípios que registraram ocorrências de desastres em 2023.....	63
Figura 23 - Mapa de ocorrência de vendavais no estado do Paraná em 2023.....	64
Figura 24 - Municípios que registraram ocorrências de desastres no estado do Paraná em 2024.....	64
Figura 25 - Mapa de ocorrência de vendavais no estado do Paraná em 2024.....	65
Figura 26 - Ocorrência de Vendavais no Paraná em 2023.....	66
Figura 27 - Ocorrência de Vendavais no Paraná em 2024 no estado do Paraná.....	67
Figura 28 - Ocorrências de Tempestade Convectiva – Vendaval, no Paraná, nos anos de 2023 e 2024.....	68
Figura 29 - Relatório de ocorrências de vendavais em Ponta Grossa em 2023.....	69
Figura 30 - Relatório de ocorrências de vendavais em Ponta Grossa em 2024.....	69
Figura 31 - Mapa político-administrativo do município de Ponta Grossa/Paraná.....	70
Figura 32 - Imagem de Satélite GOES-16 (canal 13) para a América Latina, em 18 de janeiro de 2023.....	71
Figura 33 – Imagem de Radar meteorológico em 18/01/2023 no Paraná.....	72
Figura 34 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 16 a 18 de janeiro de 2023 no Brasil.....	73
Figura 35 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 16 a 18 de janeiro de 2023 no Brasil.....	73
Figura 36 - Cartas de pressão atmosférica ao nível do mar da América do Sul no dia 16/01/2023 às 00Z (a) e 12Z (b) e 17/01/2023 às 00Z e 12Z.....	74
Figura 37 – Cartas sinóticas da América do Sul no dia 18/01/2023 às 00Z (a) e 12Z (b).....	75
Figura 38 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da	

América do Sul em 18 de janeiro de 2023.....	76
Figura 39 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de janeiro de 2023.....	77
Figura 40 - Danos registrados em 18 de janeiro de 2023, Ponta Grossa/PR (1).....	78
Figura 41 - Danos registrados em 18 de janeiro de 2023, Ponta Grossa/PR (2).....	78
Figura 42 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	79
Figura 43 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 09 de março de 2023.....	82
Figura 44 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 07 a 09 de março de 2023 no Brasil.....	83
Figura 45 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 07 a 09 de março de 2023 no Brasil.....	83
Figura 46 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 07/03/2023 às 00Z e 12Z e no dia 08/03/2023 às 00Z e 12Z.....	84
Figura 47 – Cartas sinóticas da América do Sul no dia 09/03/2023 às 00Z e 12Z.....	85
Figura 48 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 09 de março de 2023.....	85
Figura 49 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 09 de março de 2023.....	86
Figura 50 - Danos registrados em 09 de março de 2023, Ponta Grossa/PR (1).....	87
Figura 51 - Danos registrados em 09 de março de 2023, Ponta Grossa/PR (2).....	87
Figura 52 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 12 de julho de 2023.....	89
Figura 53 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 10 a 12 de julho de 2023 no Brasil.....	90
Figura 54 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 10 a 12 de julho de 2023 no Brasil.....	90

Figura 55 - Radar meteorológico do dia 12/07/2023 no Paraná.....	91
Figura 56 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 10/07/2023 às 00Z e 12Z e do dia 11/07/2023 às 00Z e 12Z.....	92
Figura 57 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 12/07/2023 às 00Z e 12Z.....	93
Figura 58 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de julho de 2023.....	94
Figura 59 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de julho de 2023.....	94
Figura 60 - Danos registrados em 12 de julho de 2023, Ponta Grossa/PR (1).....	95
Figura 61 - Danos registrados em 12 de julho de 2023, Ponta Grossa/PR (2).....	95
Figura 62 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	96
Figura 63 - Imagem de Satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 04 de setembro de 2023.....	98
Figura 64 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 02 a 04 de setembro de 2023 no Brasil.....	99
Figura 65 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 02 a 04 de setembro de 2023 no Brasil.....	100
Figura 66 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 02/09/2023 às 00Z e 12Z e no dia 03/09/2023 às 00Z e 12Z.....	100
Figura 67 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 04/09/2023 às 00Z e 12Z.....	101
Figura 68 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 04 de setembro de 2023.....	102
Figura 69 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 04 de setembro de 2023.....	102
Figura 70 - Danos registrados em 04 de setembro de 2023, Ponta Grossa/PR (1).....	103
Figura 71 - Danos registrados em 04 de setembro de 2023, Ponta Grossa/PR (2).....	104

Figura 72 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	104
Figura 73 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 12 de outubro de 2023.....	108
Figura 74 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 10 a 12 de outubro no Brasil.....	109
Figura 75 - Imagem de satélite Meteosat Realçada, de 10 a 12 de outubro no Brasil.....	107
Figura 76 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 10/10/2023 às 00Z e 12Z e do dia 11/10/2023.....	110
Figura 77 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 12/10/2023 às 00Z e 12Z.....	111
Figura 78 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de outubro de 2023.....	112
Figura 79 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de outubro de 2023.....	112
Figura 80 - Danos registrados em 12 de outubro de 2023, Ponta Grossa/PR (1).....	113
Figura 81 - Danos registrados em 12 de outubro de 2023, Ponta Grossa/PR (2).....	114
Figura 82 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	114
Figura 83 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 18 de novembro de 2023.....	116
Figura 84 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 16 a 18 de novembro no Brasil.....	117
Figura 85 - Imagens de satélite Meteosat Realçada, de 16 a 18 de novembro de 2023 no Brasil.....	117
Figura 86 - Radar meteorológico do dia 18/11/2023 no Paraná.....	118
Figura 87 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 16/11/2023 às 00Z e 12Z e do dia 17/11/2023.....	119
Figura 88 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 18/11/2023 às 00Z e 12Z.....	120

Figura 89 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de novembro de 2023.....	121
Figura 90 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de novembro 2023.....	121
Figura 91 - Danos registrados em 18 de novembro de 2023, Ponta Grossa/PR (1).....	121
Figura 92 - Danos registrados em 18 de novembro de 2023, Ponta Grossa/PR (2).....	122
Figura 93 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	123
Figura 94 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 23 de dezembro de 2023.....	125
Figura 95 - Imagens de satélite NOAA 19 (canal 4), de 21 a 23 de dezembro de 2023 no Brasil.....	126
Figura 96 - Radar meteorológico do dia 23/12/2023 no Paraná.....	127
Figura 97 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 21/12/2023 às 00Z e 12Z e no dia 22/12/2023 às 00Z e 12Z.....	128
Figura 98 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 23 de dezembro de 2023 às 00Z e 12Z.....	129
Figura 99 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 23 de dezembro 2023.....	129
Figura 100 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 23 de dezembro de 2023.....	130
Figura 101 - Danos registrados em 23/12/2023, Ponta Grossa/PR.....	131
Figura 102 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	131
Figura 103 - Imagem de satélite GOES-16 (canal 13) para a América Latina em, 21 de março de 2024.....	133
Figura 104 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 19 a 21 de março no Brasil.....	134
Figura 105 - Imagens de satélite Meteosat Realçada, de 19 a 21 de março de 2024 no Brasil.....	134
Figura 106 - Radar meteorológico do dia 21/03/2024 no Paraná.....	135

Figura 107 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 19/03/2024 às 00Z e 12Z e no dia 20/03/2024 às 00Z e 12Z.....	136
Figura 108 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 21/03/2024 às 00Z e 12Z.....	136
Figura 109 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 21 de março de 2024.....	137
Figura 110 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 21 de março de 2024.....	138
Figura 111 - Danos registrados em 21/03/2024, Ponta Grossa/PR.....	139
Figura 112 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	139
Figura 113 - Imagem de satélite GOES-16 (canal 13) para a América Latina, em 28 de novembro de 2024.....	141
Figura 114 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 26 a 28 de novembro de 2024 no Brasil.....	142
Figura 115 - Imagens de satélite Meteosat Realçada, de 26 a 28 de novembro de 2024 no Brasil.....	142
Figura 116 - Radar meteorológico do dia 28/11/2024 no Paraná.....	143
Figura 117 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 26/11/2024 às 00Z e 12Z.....	144
Figura 118 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 27/11/2024 às 00Z e 12Z.....	145
Figura 119 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 28 de novembro de 2024.....	146
Figura 120 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 28 de novembro de 2024.....	146
Figura 121 - Danos registrados em 28 de novembro de 2024, Ponta Grossa/PR (1).....	147
Figura 122 - Danos registrados em 28 de novembro de 2024, Ponta Grossa/PR (2).....	147
Figura 123 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa.....	148
Figura 124 - Jatos Subtropicais em 250 hPa dos eventos de 2023 e 2024 na	

região sul da América do Sul.....	151
-----------------------------------	-----

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Tempo severo (<i>severe weather</i>) no Brasil, segundo o EM-DAT.....	30
Quadro 2 - Tempestades gerais (<i>storm (general)</i>) no Brasil, segundo o EM-DAT.....	31
Quadro 3 - Potencial convectivo de índice CAPE.....	76
Quadro 4 - Informações de danos referentes ao dia 18 de janeiro de 2023.....	80
Quadro 5 - Informações de danos referentes ao dia 09 de março de 2023.....	88
Quadro 6 - Informações de danos referentes ao dia 12 de julho de 2023.....	97
Quadro 7 - Informações de danos referentes ao dia 04 de setembro de 2023.....	105
Quadro 8 - Informações de danos referentes ao dia 12 de outubro de 2023....	115
Quadro 9 - Informações de danos referentes ao dia 18 de novembro de 2023.....	124
Quadro 10 - Informações de danos referentes ao dia 23 de dezembro de 2023.....	132
Quadro 11 - Informações de danos referentes ao dia 21 de março de 2024....	140
Quadro 12 - Informações de danos referentes ao dia 28 de novembro de 2024.....	148
Quadro 13 - Informações gerais sobre as nove ocorrências analisadas, durante os anos de 2023 e 2024 em Ponta Grossa.....	153
Quadro 14 - Síntese da Caracterização de Eventos Severos em Ponta Grossa (2023-2024).....	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CAPE	Energia Potencial Convectiva Disponível.
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Eventos Climáticos
CNM	Confederação Nacional de Municípios
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres.
CRED	Centro de Pesquisa de Epidemiologia e Desastres
EUA	Estados Unidos da América
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAWS	<i>Joint Airport Weather Studies</i>
JBN	Jatos de Baixos Níveis
LI	Linha de Instabilidade
MIST	<i>Microburst and Severe Thunderstorm</i>
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIMROD	<i>Northern Illinois Meteorological Research on Downburst</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NWS	<i>National Weather Service</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PAM	<i>Portable Automated Mesonet</i>
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
SINPDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
UC-Louvain	<i>Université Catholique de Louvain</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	METODOLOGIA	22
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1	DESASTRES.....	25
3.2	TEMPESTADES SEVERAS.....	36
3.3	LINHAS DE INSTABILIDADE / <i>SQUALL LINES</i>	37
3.4	TORNADOS	39
3.5	<i>DOWNBURSTS</i>	42
3.6	DIFERENÇAS ENTRE TORNADOS E <i>DOWNBURSTS</i>	51
3.7	<i>DOWNBURSTS</i> : UM FENÔMENO PRESENTE NO BRASIL	58
4	RESULTADOS.....	63
4.1	TEMPESTADES CONVECTIVAS EM PONTA GROSSA	63
4.2	CARACTERIZAÇÃO DE <i>DOWNBURSTS</i> EM PONTA GROSSA.....	70
4.2.1	Ocorrência do dia 18 de janeiro de 2023.....	71
4.2.2	Ocorrência do dia 09 de março de 2023	81
4.2.3	Ocorrência do dia 12 de julho de 2023.....	89
4.2.4	Ocorrência do dia 04 de setembro de 2023	97
4.2.5	Ocorrência do dia 12 de outubro de 2023	107
4.2.6	Ocorrência de 18 de novembro de 2023	116
4.2.7	Ocorrência do dia 23 de dezembro de 2023	124
4.2.8	Ocorrência do dia 21 de março de 2024	132
4.2.9	Ocorrência do dia 28 de novembro de 2024	140
5	PREDOMINÂNCIA DE JATOS SUBTROPICAIS DURANTE OS EVENTOS SEVEROS.....	151
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	153
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	158

REFERÊNCIAS.....	160
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	169
ANEXO A - TERMO DE VISTORIA DA DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE PONTA GROSSA/PR.....	171

1 INTRODUÇÃO

As tempestades severas são uma realidade persistente na Região Sul do Brasil, onde está localizado o município de Ponta Grossa, no estado do Paraná, na região dos Campos Gerais. A *America's Cyber Defense Agency* (2025) define tempestades severas quando há ventos com velocidades que atingem pelo menos 58 mph (93 km/h), granizo de 1 polegada (2,54 cm) ou mais, ou atividade de tornados.

Segundo o *The International Disaster Database* (EM-DAT, 2025), os desastres naturais que mais ocorrem no mundo se referem às inundações. O Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED UFSC), afirma que no Brasil os desastres com maior número de afetados são as secas e as estiagens, e na Região Sul os vendavais (CEPED UFSC, 2013). O estado do Paraná e o município de Ponta Grossa, que estão localizados nessa região, também registram os vendavais como os desastres mais recorrentes em seus territórios (Paraná, 2023a; Paraná, 2024a).

Como o estado do Paraná está localizado em uma faixa latitudinal meteorologicamente suscetível a instabilidades atmosféricas, algumas áreas contêm maior predominância e probabilidade de ocorrência de tempestades severas. Balicki, Andrade e Hornes (2020) explicitam que as chuvas intensas, com potencial para danos são frequentes no estado do Paraná.

Os tornados e os *downbursts* muitas vezes são confundidos, pois ambos produzem rajadas de ventos violentas. Mas há diferenças conforme *Western University Canada* (2025), os ventos de um tornado são rotativos, convergem na superfície e, em seguida, sobem para o interior da tempestade, frequentemente resultando em trajetórias estreitas de danos caóticos. Já os ventos de *downbursts* descem e divergem abaixo da tempestade e resultam em padrões de rajadas externas de danos ou áreas amplas com danos principalmente na mesma direção.

Múltiplos *downbursts* também podem se combinar e ajudar a organizar linhas de instabilidade, ou até mesmo um fenômeno conhecido como *derecho*, que causa danos generalizados ao longo de uma trajetória de centenas de quilômetros. Ambos podem surgir de supercélulas (Fujita, 1985).

Tempestades de vendavais já aconteceram na cidade de Ponta Grossa, resultando principalmente em destelhamentos. Sobrinho e Melo (2018), fizeram um levantamento de ocorrências de 2005 a 2015, com produção de mapas de áreas afetadas e entrevistas com os moradores que tiveram suas casas impactadas pelo destelhamento resultante de vendavais.

A fim de verificar a presença e ocorrência de tempestades do tipo *downburst* em Ponta Grossa. A presente pesquisa se dedicou a seguinte pergunta de partida: A maioria tempestades de vendavais ocorridas em Ponta Grossa durante 2023 e 2024 são consideradas incidências de *downbursts*?

Desse modo o objetivo de pesquisa é analisar os eventos severos considerados como vendavais pela Defesa Civil entre os anos de 2023 e 2024 em Ponta Grossa, a fim de caracterizá-los sinoticamente, buscando imagens de satélite para elucidação dos padrões de tempestades; bem como registro de danos, com propósito de identificar a ocorrência de *downbursts*.

A motivação se deve ao reconhecimento de atividades de *downbursts* já registradas em outros países e no Brasil (Fujita, 1977; Fujita, 1985; Forbes; Wakimoto, 1983; Moreira *et al.* 2017; Loredou-Souza *et al.* 2016) e a necessidade de caracterização deste fenômeno, que não é mencionado na Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) e, portanto, não é registrado. Essas informações permitirão compreender melhor a gênese e a dinâmica das tempestades severas na região, possibilitando a criação de estratégia para minimização dos impactos.

Como metodologia fundamentou-se do trabalho de Fujita (1978) e de Fujita (1985), precursores em diferenciar tornados de *downbursts*. Para o cumprimento dos objetivos analisou-se nove ocorrências de desastres por vendaval, em Ponta Grossa, a partir de dados da Defesa Civil Municipal.

Foram analisadas fotos dos danos disponibilizadas pela Defesa Civil, bem como imagens de satélites GOES 16 e Meteosat 9, cartas da marinha brasileira e do *Earth Nullschool* para a verificação dos tipos de danos e da situação sinótica presente no momento destes eventos.

2 METODOLOGIA

Para o recorte temporal da presente pesquisa foram utilizados os dados de registro de desastres disponibilizados no *site* da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná. Nesse *site* foi possível identificar os desastres que mais ocorreram em Ponta Grossa, bem como a sua categorização conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), que definem todos os tipos de desastres. A COBRADE, criada em 2012, divide em naturais e tecnológicos, separando em grupos e subgrupos de acordo com o tipo de desastre, trazendo uma definição para cada uma (Brasil, 2012a).

Para responder aos objetivos da pesquisa foram delimitados os desastres de origem meteorológica denominado de Tempestade Convectiva – Vendaval, dos anos de 2023 e 2024. Esta delimitação ocorreu porque não há na Codificação uma categorização que contemple *downbursts*, sendo estes inclusos na categoria de vendaval. A escolha deste período deve-se à viabilidade metodológica proporcionada pelo acervo de imagens de satélite e fotografias disponíveis, os quais permitem uma investigação precisa tanto dos mecanismos de formação (gênese) quanto dos impactos causados por esses fenômenos.

O *site* da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná possui um banco de dados com uma interface que abrange todo estado de maneira intuitiva, com a plataforma GeoDC onde é possível verificar os dias, horários e anos de ocorrência das tempestades, bem como os protocolos de estado de calamidade pública e situação de emergência. Neste levantamento foi possível identificar sete ocorrências de desastre por vendaval no ano de 2023 e duas ocorrências no ano de 2024. Dentre estas nenhuma teve protocolo de calamidade pública e de situação de emergência acionado.

De posse dos horários e dias de ocorrência procedeu-se a busca de boletins meteorológicos que descrevessem os sistemas atuantes, bem como imagens de satélite. A caracterização sinótica contou com a disponibilização das cartas da marinha brasileira, disponíveis para *download* nos intervalos de tempo de 00Z e 12Z. As cartas permitiram compreender a situação dos sistemas atuantes na América do Sul e no Paraná no dia das ocorrências.

Posteriormente buscou-se as imagens de satélite para a identificação das tempestades provenientes do satélite *Geostationary Operational Environmental*

Satellite (GOES 16), canal 13 dos horários mais próximos de cada um dos eventos, disponíveis para *download* no *site* do Centro de Previsão de Tempo e Eventos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). A análise das imagens GOES seguiram a metodologia de reconhecimento de Ribeiro *et al.* 2019 que consistiu em verificar imagens do satélite GOES 16, que possibilitam analisar nuvens com potencial para a queda de granizo e ocorrências de tempestades na América do Sul. A vantagem de utilizar as imagens GOES 16, também possibilita identificar as características do topo das nuvens, sua temperatura e consequentemente seu potencial severo.

As imagens de satélite Meteosat 9 foram utilizadas para observar a presença de nebulosidade de dias anteriores do evento, necessárias para observar o desenvolvimento das tempestades. As imagens de satélites analisadas correspondiam no modo visível e infravermelho, que foram aporte de análise com as cartas da Marinha do Brasil para a verificação do desenvolvimento de nebulosidade e potencial severo.

Imagens de radar do SIMEPAR foram utilizadas, no entanto, elas foram obtidas perante a realização de *prints* das imagens de radar para acompanhamento das tempestades durante o período da pesquisa.

Foram analisadas imagens provenientes da plataforma *Earth Nullschool*, a fim de verificar as condições sinóticas relacionadas à presença de jatos subtropicais em 250 hPa e do índice de energia potencial (CAPE) em 700 hPa de pressão, para verificar o nível de instabilidade na atmosfera. Também, foram verificados os Jatos de baixos níveis, que segundo Marengo e Soares (2002) atuam com frequência a leste da Cordilheira dos Andes, no nível de pressão de 850 hPa. Os dados foram obtidos através do endereço eletrônico: <https://earth.nullschool.net/>.

O índice CAPE é um dos parâmetros utilizados para avaliar o potencial de convecção de tempestades, segundo o *National Weather Service* (NWS, 2025a), a dinâmica convectiva ocorre pela interação entre as trocas de temperaturas opostas (quentes e frias), provocando de modo vertical ascendente elevada convecção. A análise da presença de intensos sistemas de instabilidade na atmosfera pode indicar o surgimento de tempestades severas, dentre elas os *downbursts*.

Os dados do índice CAPE disponibilizados pela plataforma *Earth Nullschool*, são fornecidos a cada hora. Nem sempre os horários de ocorrência dos fenômenos são compatíveis com o horário das imagens, nestas situações optou-se por utilizar

horários mais próximos. Desse modo, se a tempestade ocorreu às 18:30 horas, as imagens analisadas foram as das 18:00 horas.

Por fim, observou-se as fotografias cedidas pela Defesa Civil Municipal que se encontram arquivadas no termo de vistoria presente no Anexo A, na página 171. Utilizou-se também de imagens de reportagens de jornais locais, para a caracterização dos danos. Em conjunto com estes foram verificadas às disposições dos danos a fim de verificar as direções geográficas predominantes.

Após a análise das fotografias de danos, procedeu-se a construção de mapas que indicam a direção de vento predominante para cada ocorrência, que foram confeccionados com a utilização do *software* QGIS. Seguindo a metodologia de Fujita (1985), utilizando-se de fotografias aéreas de áreas afetadas por *downbursts*, nas quais setas eram inseridas para indicar a orientação dos danos, e descrição de vestígios oriundos da tempestade. A representação espacial da direção das rajadas de vento, bem como a construção de mapas de danos, constituem a base metodológica deste estudo, em consonância com o modelo clássico de Fujita (1985).

Para averiguar a possibilidade de *downburst* e a representação dos danos levou em consideração a orientação de sua disposição. Desse modo foi utilizado o *Google Maps* para obter as coordenadas geográficas, e o *Street View* para determinar a direção dos danos, com o apoio das fotografias.

As imagens foram essenciais para averiguar a direção de disposição de danos, metodologia utilizada por Fujita (1978) e colabora para a identificação do fenômeno como *downburst*.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DESASTRES

A presente dissertação se dedica a desastres gerados por *downburst* no município de Ponta Grossa, neste sentido torna-se essencial verificar o estado da arte dos desastres existentes no mundo e no Brasil, a fim de contextualizar a situação dos desastres envolvendo tempestades severas.

Conforme Castro (2025) desastres são eventos adversos que geram grandes impactos e danos na população em uma localidade vulnerável. De acordo com a COBRADE estes eventos podem ser classificados de acordo com a origem, entre naturais ou tecnológicos.

Os desastres vêm assolando a humanidade desde a antiguidade, provocando calamidades. Desde a edificação das primeiras cidades, haviam evidências de que os seres humanos se estabeleciam em locais que propiciavam riscos e consequentemente desastres, como próximo a corpos hídricos ou vulcões (Marcelino, 2008). A exemplo no Egito Antigo, houve períodos de seca e inundações do Rio Nilo, impactando várias famílias.

Gill (2025) explicita em seu referencial teórico, que o Rio Nilo era suscetível a inundações, sendo necessárias obras de engenharia, aplicadas para amenizar os impactos resultantes dos períodos de cheia. Hassan (2007) relata que existiam registros de medições na capital do Egito na Idade Média, do século VII ao XV, estas mensurações permitiam verificar a dinâmica de mudanças do nível da água.

Toda esta coleta de dados a respeito das inundações, bem como as obras de engenharia realizadas, tinha como objetivo garantir a resiliência daquela população e minimizar o risco de perdas.

Torna-se fundamental o registro dos eventos catastróficos a fim, de garantir memória dos elementos envolvidos responsáveis pela geração da catástrofe. Com essa prática é possível realizar um planejamento para minimização dos impactos.

Atualmente o órgão em nível mundial, responsável pela sistematização dos desastres é o EM-DAT. Ele sistematiza desastres que ocorrem em várias regiões do mundo, consultando diversas fontes, “[...] incluindo agências da ONU, organizações não governamentais, companhias de resseguros, institutos de pesquisa e agências

de imprensa.” (EM-DAT, 2025, tradução própria), e gerando relatórios para que sejam utilizados para diversas finalidades.

O EM-DAT (2025) explicita que, atualmente o banco de dados está sendo gerenciado por uma iniciativa conjunta da Universidade de Louvain e pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED) e a Organização Mundial da Saúde. “O EM-DAT define desastres como situações ou eventos os quais sobrecarregam a capacidade local de se reestabelecer, necessitando de um pedido de assistência externa a nível nacional ou internacional” (EM-DAT, 2025, tradução própria).

Segundo o EM-DAT, os critérios utilizados para a contabilização são no mínimo 10 óbitos, 100 pessoas afetadas, quando há a declaração de estado de emergência ou pedido de assistência internacional. O banco de dados do EM-DAT classifica os desastres em dois grupos de perigos: **naturais** e **tecnológicos**. Os desastres climáticos ou meteorológicos estão incluídos nos desastres naturais, exercendo influência na superfície terrestre (EM-DAT, 2025).

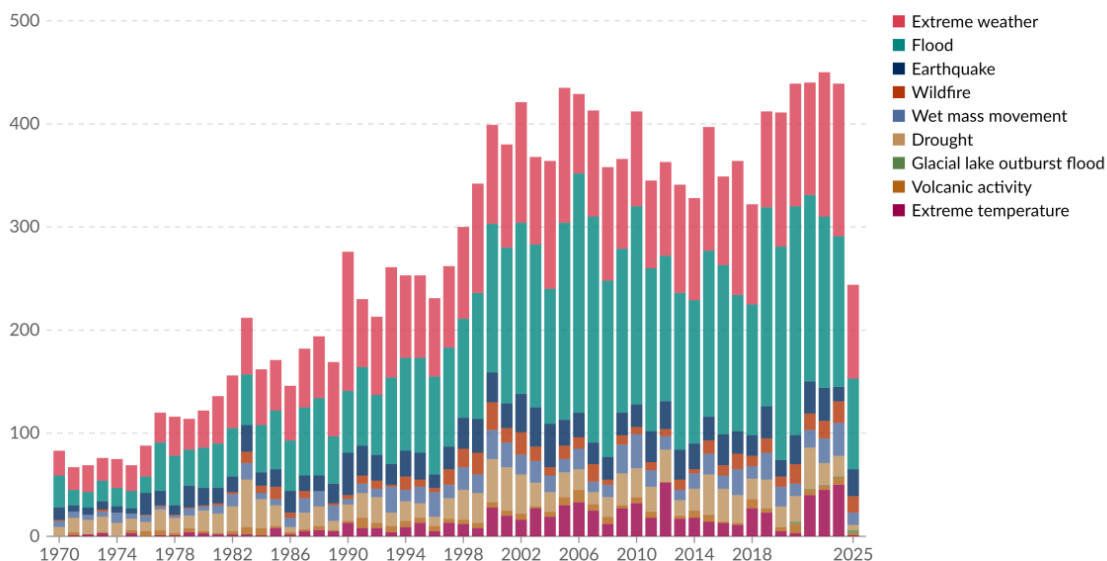
Segundo o EM-DAT (2025), de 1970 a 2025 os desastres naturais mais comuns no mundo estão relacionados às inundações. O segundo fenômeno que mais gera desastres conforme as informações deste relatório (Figura 1) se referem ao *Extreme Weather* (Tempo Extremo) que correspondem a “[...] tornados, tempestades de granizo, tempestades de trovoadas, tempestades de areia, nevascas e eventos de vento extremos” (Our World in Data, 2025a), no qual subentende-se que os *downbursts*, objeto dessa pesquisa, estão incluídos.

Figura 1 - Tipos de desastres por categoria, de 1970 a 2025 ao redor do mundo

Global reported natural disasters by type, 1970 to 2025



The annual reported number of natural disasters, categorised by type. The number of global reported natural disaster events in any given year. Note that this largely reflects increases in data reporting, and should not be used to assess the total number of events.



Data source: EM-DAT, CRED / UCLouvain (2025)

OurWorldinData.org/natural-disasters | CC BY

Note: Data includes disasters reported up to October 2025.

Fonte: Our World in Data (2025a)

Nota: Para o ano de 2025, ainda não foram adicionados todos os registros

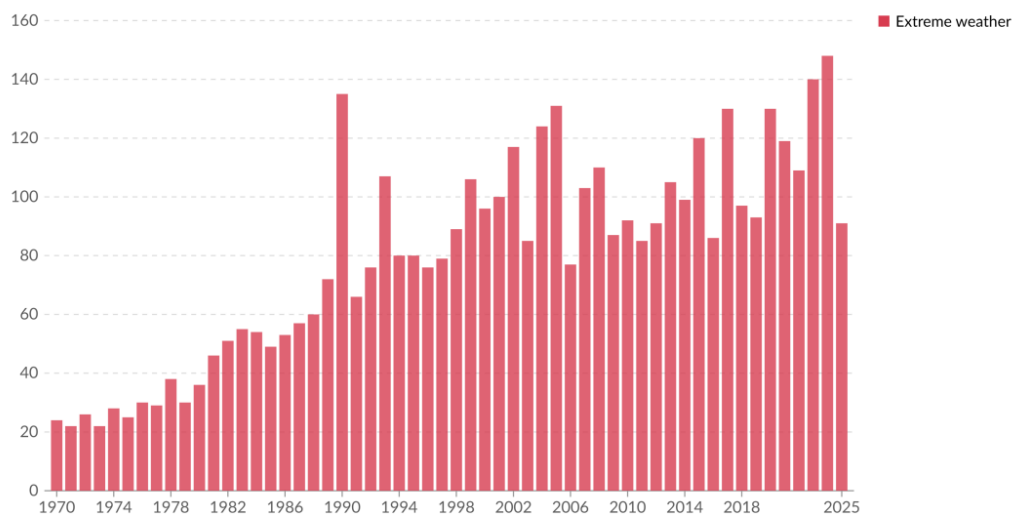
O gráfico da imagem (Figura 2) com dados do EM-DAT, elaborado pelo Our World in Data (2025a) ilustra a quantidade de registros referentes a fenômenos de tempo extremo, do período de 1970 a 2025. O ano de 2024 foi o que mais registrou ocorrências em todo o mundo (148 registros), seguido de 2023 (140) e 1990 (135). Para a categoria de *Extreme Weather* (Tempo Extremo) foram registradas 4.466 ocorrências de desastre, no período de 1970 a 2025.

Figura 2 – Eventos de desastres de tempo extremo por ano, de 1970 a 2025 ao redor do mundo

Global reported natural disasters by type, 1970 to 2025



The annual reported number of natural disasters, categorised by type. The number of global reported natural disaster events in any given year. Note that this largely reflects increases in data reporting, and should not be used to assess the total number of events.



Data source: EM-DAT, CRED / UCLouvain (2025)

Note: Data includes disasters reported up to October 2025.

OurWorldinData.org/natural-disasters | CC BY

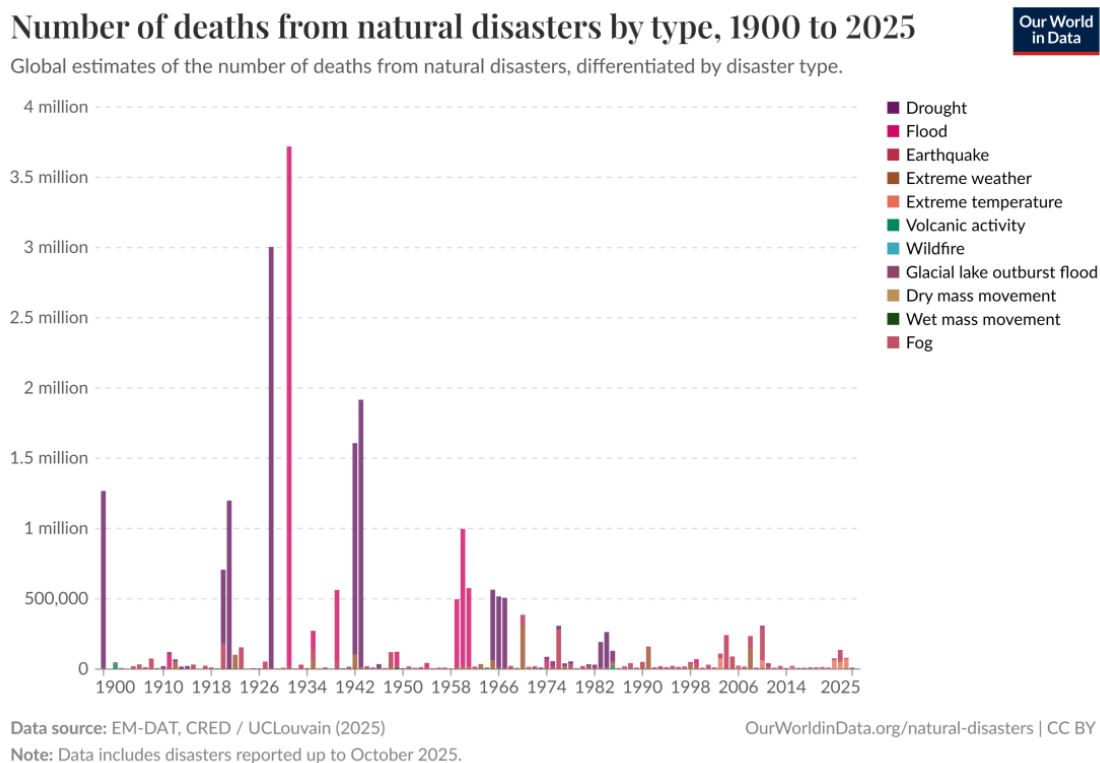
Fonte: Our World in Data (2025a)

Nota: Para o ano de 2025, ainda não foram adicionados todos os registros

Na Figura 3, o gráfico do EM-DAT está representando o número de mortes por tipo de desastre a cada ano, para o período de 1900 a 2025 no mundo, em que durante esse período, inundações e secas prevaleciam como os desastres que registravam maiores número de óbitos.

Os registros de óbitos indicam uma alternância na quantidade de mortes, como ilustra o gráfico elaborado pelo Our World in data (2025b), na figura 3, sendo mais recorrentes no início do século passado, sobretudo até a década de 1920, com elevada mortalidade, se destacando desastres como as inundações e seca. Apesar dos números elevados da atualidade, os desastres no início do século XX ocasionam mais mortes, comparados com os últimos anos.

Figura 3 - Número de mortes por desastre, de 1900 a 2025 no mundo

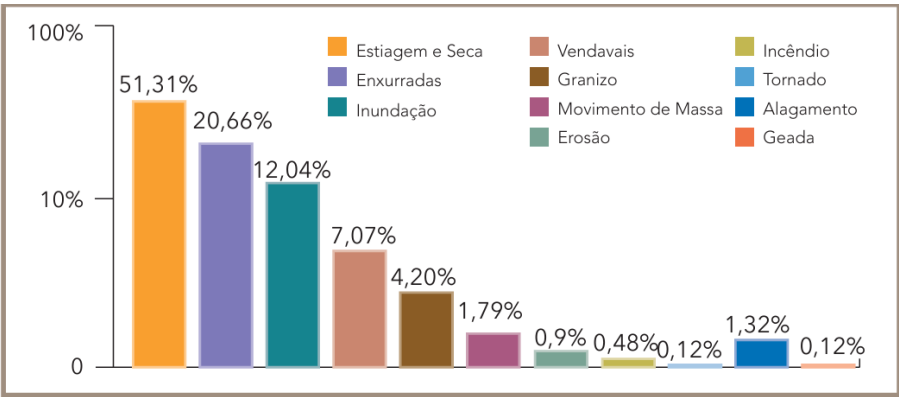


Fonte: Our World in Data (2025b)

Nota: Para o ano de 2025, ainda não foram adicionados todos os registros

O Brasil registra estiagem e seca como o desastre que mais atingem número de pessoas em seu território, provocando elevada quantidade de danos, totalizando mais que a metade de todos os registros de afetados (Figura 4). As enchurradas seguem como segundo desastre mais danoso em todo o país, e inundações são consideradas como o terceiro com mais registros (CEPED UFSC, 2013). Os vendavais são considerados, segundo o instituto como o quarto desastre que mais afetou pessoas, 7,07% dos afetados.

Figura 4 - Porcentagem de pessoas afetadas por tipo de desastre no Brasil, de 1991 a 2012



Fonte: CEPED UFSC (2013)

O EM-DAT (2025) registrou 15 ocorrências de tempestades (ou *storm*, como é mostrado no banco de dados) no Brasil, de 2000 a 2025 (primeiro bimestre). Foram 2 tempestades com raios, 2 ciclones tropicais, 1 tornado, 1 tempestade extratropical, 6 episódios de tempo extremo e 3 de tempestades gerais.

De acordo com os dados do EM-DAT (2025), o Brasil registrou seis episódios de tempo severo entre janeiro de 2000 e fevereiro de 2025 (Quadro 1). Quatro desses episódios ocorreram em 2023 e 2024 (duas ocorrências em cada ano), ambos classificados na categoria "tempo extremo" pela instituição. O EM-DAT não registrou ocorrências desse tipo de evento de 2000 a 2008, com o primeiro registro ocorrendo em 2009.

Quadro 1: Tempo severo (*severe weather*) no Brasil, segundo o EM-DAT desde 2009

Ano	Mortes	Total de afetados
2009	7	13.864
2023	0	1.050
2023	1	300
2024	0	28.855
2024	4	600
2025	9	130

Fonte: EM-DAT (2025)

Nota: Desde o ano 2009 foram registradas seis ocorrências de tempo extremo, segundo o EM-DAT.

Quadro 2: Tempestades gerais (*storm (general)*) no Brasil, segundo o EM-DAT

Ano	Mortes	Total de afetados
2013	2	13.864
2020	12	1.119
2024	0	200

Fonte: EM-DAT (2025)

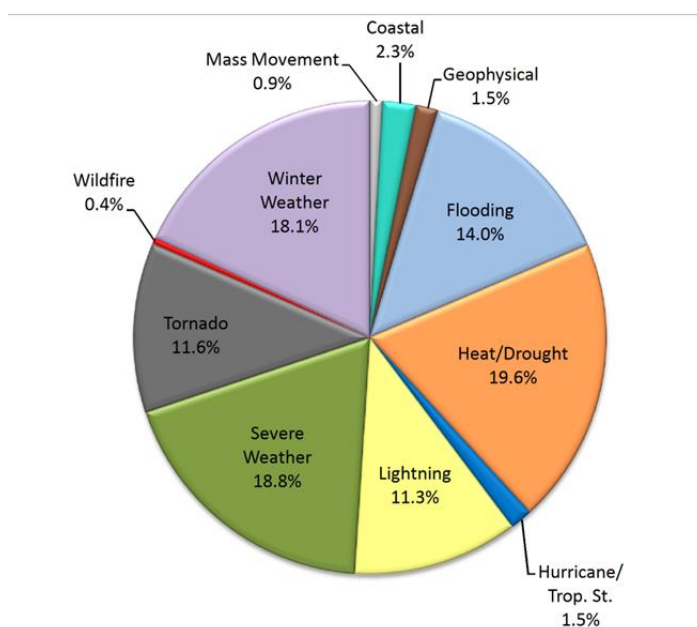
Nota: Desde o ano 2000, segundo o EM-DAT.

As pesquisas vêm demonstrando que com as mudanças climáticas e com o aumento da população haverá mais pessoas expostas ao perigo. Isso é explicitado pela CEPED UFSC (2013) na apresentação do Atlas Nacional de Desastres Naturais, em que os fenômenos naturais adversos estão se tornando mais comuns e mais violentos no Brasil, resultando em impactos mais expressivos e devastadores. Huppert e Sparks (2006), afirmam que vulnerabilidade e quantidade de desastres naturais estão aumentando, devido à alta concentração de pessoas em áreas de riscos.

Os principais fenômenos geradores de desastres naturais que atingiram os Estados Unidos era a temperatura elevada e seca (com 19,6%), tempo severo (18,8%) e as condições do tempo no inverno (18,1%), nos EUA (Figura 5) (Borden e Cutter, 2008).

Segundo os autores, existem regiões no país com maiores registros de mortalidade concernente a desastres naturais. Dentre as regiões que foram citadas, o sul do Texas possuía um alto índice de mortalidade, enquanto a baía de São Francisco e áreas dos estados do Nordeste dos Estados Unidos apresentam um índice inferior (Borden e Cutter, 2008)

Figura 5: Porcentagem de mortes por tipo de evento, nos EUA



Fonte: Borden e Cutter (2008)

No Brasil o órgão responsável por registrar os desastres é a Defesa Civil que utiliza a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) para definir e classificar os eventos. A codificação divide os eventos em grupo, subgrupo, tipo, subtipos, definindo um código COBRADE e uma simbologia para cada um.

Segundo o CEPED UFSC (2013), a Região Sul do Brasil foi atingida por vários desastres naturais, dentre eles os vendavais, que, para o período de 1991 a 2012 registraram-se 2.757 ocorrências.

Sobre os desastres com maior frequência considera que,

Na Região Sul, os eventos extremos relacionados ao regime pluviométrico também prevalecem sobre os demais tipos de desastres. As estiagens e secas são responsáveis por 38,7% do total de ocorrências registradas, seguidas de enchurradas, com 23,7%. Os vendavais representam a terceira tipologia de desastres mais recorrentes na região, com 16,1%. (CEPED UFSC, 2013, p. 117)

A Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Paraná (Paraná, 2023a; Paraná, 2024a), indica que os vendavais são o tipo de desastre mais comum no estado e no município de Ponta Grossa. Os vendavais são mais frequentes na Região Sul do Brasil, comparado a outras regiões do país (CEPED UFSC, 2013).

A Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2016) explicita que desastre ocorre sobre um cenário vulnerável e que causa danos. A CNM (2016) afirma que pode considerar um desastre quando não foi possível conter o risco, e explica que a

vistoria de áreas vulneráveis, bem como intervenção das áreas de risco compete às competências municipais.

A instrução normativa nº1, de 24 de agosto de 2012, em seu artigo sexto, conceitua o que são desastres súbitos e graduais. Os súbitos, no § 1º são caracterizados pela sua intensidade e curto tempo, com uma facilidade maior de previsão, enquanto os graduais no § 2º vão se agravando lentamente. A legislação também expõe no artigo nono a distinção entre desastres esporádicos e cíclicos, se relacionando à sua periodicidade de frequência de ocorrência (Brasil, 2012a).

As atividades de prevenção podem fazer com que a população não esteja com alta vulnerabilidade. Essas ações que podem minimizar os efeitos de um desastre natural (dentre eles as tempestades) são essenciais para a segurança da população!

A CNM (2016, p.26) explicita sobre prevenção de desastres, considerando que “[...] são ações continuadas realizadas pelos órgãos de proteção e defesa civil para se antecipar às consequências decorrentes de um desastre, com a missão de prevenir e minimizar seus efeitos negativos.”

Existem duas categorias de exercícios preventivos: os estruturais e os não estruturais. A primeira se relaciona principalmente a reparos preventivos em estruturas para conter a probabilidade de um possível desastre (Marcelino, 2008). Os não estruturais, não envolvem reparos em infraestrutura, sendo responsáveis principalmente por análises de riscos.

A CNM (2016) afirma que o governo federal ainda tem dificuldade em trabalhar com a prevenção e atitudes preliminares antes de um fenômeno, dedicando seus esforços principalmente em auxílios para as pessoas afetadas.

O governo federal é considerado um dos principais responsáveis pelo monitoramento de possíveis desastres, pois na lei nº 12.608, de 12 de abril de 2012 está determinado no artigo 6º, item quatro, a sua função, que é de:

apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e risco de desastre e nas demais ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (Brasil, 2012b).

A Defesa Civil desempenha um papel fundamental no território brasileiro, atuando no auxílio à população afetada por desastres naturais. A instituição se estabeleceu como um dos principais órgãos responsáveis e capacitados para as ações de ajuda às vítimas de catástrofes. Nos Estados Unidos também existe um

órgão com objetivos que contém grandes similaridades com a defesa civil brasileira, essencial para a população, pois é uma região no mundo sujeita a tornados e furacões.

Nos EUA, a *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) estabelece as políticas de mitigação. Sobre promover a preparação, segundo a FEMA (*United States*, 2024, tradução própria) “Nós trabalhamos com indivíduos e comunidades para construir uma cultura de preparação nacional por meio do envolvimento comunitário ativo, formação e educação, e planejamento.”

A FEMA (*United States*, 2024) explica que as áreas atingidas por desastres precisam de auxílio do governo federal. Para isso, as autoridades locais devem analisar as áreas impactadas para verificar a extensão dos danos.

Nos EUA, a lei pública 106-390 de 30 de outubro de 2000, na seção 103 estabelece o desenvolvimento de mapas, principalmente de estados que apresentam risco de serem impactados por um fenômeno natural adverso (*United States*, 2000). A lei prevê fornecer antecipadamente informações de áreas que possam ter passado por ocorrências e possivelmente possam ser atingidas novamente.

O documento oficial, na seção 104 (*United States*, 2000) estabelece como deve ser realizada às políticas de mitigação, em que as autoridades locais devem preparar e disponibilizar propostas para redução do risco de desastre.

Borden e Cutter (2008) realizaram um mapa que classificam quais são os desastres mais comuns em cada região da FEMA nos EUA. Na região que compreende os estados de Washington, Oregon e Idaho, o desastre natural de tempo severo era o mais comum.

Os meteorologistas dos EUA ao perceberem indícios no comportamento das correntes de ar da formação de um *downburst* e/ou tempestades severas, em função dos danos e prejuízos que podem acarretar a sociedade, emitem um alerta de perigo a população, possuindo a descrição de ser uma tempestade ou tornado, de acordo com a análise dos meteorologistas. Desse modo é recomendado a população estar atenta os alertas, mesmo que não seja de tornados (NWS, 2025b).

No território brasileiro, segundo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, em seu capítulo IV, artigo 13, estabelece que o SINPDEC (Sistema Nacional de Defesa Civil) pode monitorar e atualizar seus membros sobre a probabilidade de

desastres futuros. Isso permite que o sistema proponha respostas eficazes após a ocorrência de eventos (Brasil, 2012a).

O CNM (2016) realça que a sociedade deve estar preparada e consciente dos possíveis riscos, e que tenham voluntários experientes para que entrem em ação quando necessário. A equipe nas prefeituras de cada município devem ser multidisciplinar, envolvendo órgãos públicos ou representações que não estejam obrigatoriamente relacionadas ao governo CMN (2016).

A Defesa Civil para operar de forma eficaz, deve de acordo com o CMN (2016, p. 36), “[...] conhecer bem a realidade econômica, ambiental e social do Município, assim como as características estruturais, regionais e o tipo de eventos climáticos recorrentes.” (CMN, 2016, p.36)

Marcelino (2008, p. 10) afirma que **“Os esforços humanos devem ser direcionados para a elaboração e adoção de medidas preventivas e mitigadoras** que possam amenizar o impacto causado pelos desastres naturais.” (grifo do autor).

Algumas recomendações de segurança são indicadas antes de episódios de vendavais, minimizando os potenciais impactos. A Defesa Civil do Rio Grande do Sul (2024) aconselha que haja a revisão do telhado da residência, manter as árvores em boas condições e longe das redes elétricas e quando for outro local, o recomendado é acionar a prefeitura sobre as más condições de árvores. O NWS (2025c) orienta encontrar um local seguro, com uma estrutura mais resistente, com uma sala interna ou um porão.

Este capítulo apresentou o estado da arte dos desastres, nele ficou evidente que tempestades severas atuam constantemente no mundo todo e são responsáveis por inúmeras situações de desastres. Há várias indicações de procedimentos para a construção da resiliência, como evidenciado pela CMN (2016) um deles é o de reconhecer os eventos climáticos recorrentes. Neste sentido verifica-se que não há na codificação Brasileira a denominação e conceituação de *downburst* o mesmo ocorre com a contabilização do EM-DAT, o fenômeno ocorre e pode desencadear desastre, no entanto, sendo contabilizado na categoria de desastre por tempo severo que inclui também outros fenômenos.

3.2 TEMPESTADES SEVERAS

Existem vários tipos de tempestades severas, como os vendavais, tornados e *downbursts*. Saber a diferença entre elas em termos de gênese e comportamento é fundamental e compreender suas características específicas, sendo crucial para adotar estratégias eficazes, construir resiliência nas comunidades e reduzir danos e prejuízos.

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), um fator importante é como se originam as tempestades severas é a sua classificação (intensidade). As tempestades que causam grande destruição, como os tornados, são geralmente formados por supercélulas, causando fenômenos com ventos em altas velocidades (ANAC, 2018).

Segundo Falk (1997) as tempestades multicelulares conseguem provocar grande quantidade de ventos e chuva de granizo, também podendo originar tornados, porém é menos comum. O autor explicita sobre as tempestades supercelulares (mais violentas), em que a intensidade de granizo pode variar de uma tempestade de supercélula com alta precipitação, para uma com baixa precipitação, pois na primeira a queda de granizo se torna mais comum.

Nunes *et al.* 2017 explicitam que há a tendência de fenômenos atmosféricos violentos atingirem a população, se tornando mais comuns, devido às mudanças climáticas. Sendo um alerta ao poder público, pois no Brasil, já existem áreas que foram impactadas pelas tempestades severas.

Alguns fenômenos atmosféricos que proporcionam movimento de ventos são os ciclones. Flechtner (1956) explicita que os ciclones se formam a partir do:

[...] movimento colateral de duas correntes, uma de ar frio, e outra de ar quente, não podem ser estáveis; a fronteira entre as duas massas de ar se perturba, se ondula, fica muito desconfigurada logo. Se produzem irrupções procedentes de um e outro lado, através da superfície limite. Estas condições de intranquilidade na frente polar são o ponto de origem dos ciclones. (Flechtner, 1956, p. 185, tradução própria).

Tominaga, Santoro e Amaral (2009) afirmam que a dinâmica atmosférica que contém as massas de ar, se torna uma região instável.

Oliveira *et al.* 2011 afirmam que os ciclones em áreas tropicais se formam a partir de temperaturas superiores a 26°C. Esse processo ocorre por meio da evaporação da água, que se resfria à medida que sobe e forma nuvens em grandes altitudes.

Os autores consideram que através deste processo a pressão atmosférica diminui, e em seguida grande quantidade de ar será direcionada a formação de um ciclone. Se a pressão se reduzir excessivamente, poderá se formar um furacão, fenômeno atmosférico com ventos mais fortes, atingindo altas velocidades.

Damasceno Neto (2012) explicita que os ciclones não recebem a mesma nomenclatura no mundo todo.

Os ciclones tropicais são chamados de tormenta tropical quando a velocidade do vento junto ao solo atinge cerca de 70 km/h. Para velocidades superiores a 120 km/h, o ciclone passa a ser chamado de tufão ou furacão, dependendo do oceano em que é formado. (Damasceno Neto, 2012, p. 6)

A Região Sul do Brasil, devido sua localização geográfica, é impactada pela ação de anticiclones, massas de ar distintas e a circulação atmosférica da região do Chaco. Esses fatores contribuem para que a área seja meteorologicamente agitada, apresentando grande diversidade de fenômenos (Borges e Rego, 2017).

Borsato e Massoquim (2020a) explicam que a baixa pressão da região do Chaco é essencial para o desenvolvimento de ciclones extratropicais e também, para a geografia. Os autores explicitam que a vinda da alta pressão polar pode se encontrar com essa região, originando trocas de temperatura extremas.

3.3 LINHAS DE INSTABILIDADE / *SQUALL LINES*

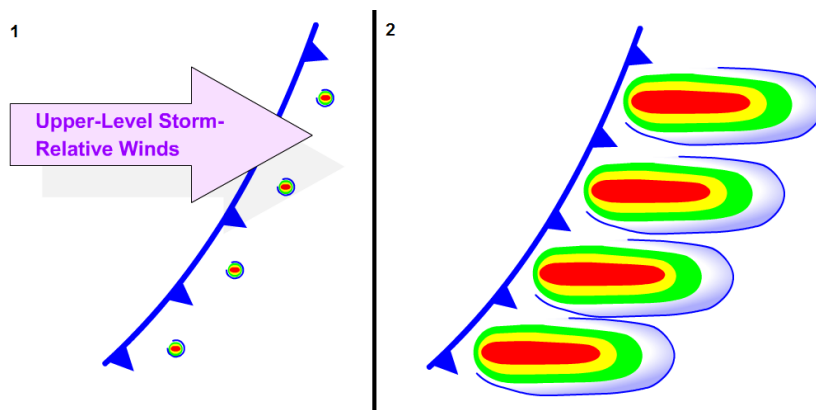
Os vendavais são um dos eventos geradores de desastres naturais que mais provocam preocupação na sociedade, atingindo com grande intensidade várias cidades, dentre elas na Região Sul do Brasil, que lidera em número de ocorrências de tornados no país (Borges e Rego, 2017). Uma tempestade pode ser considerada como vendaval, quando rajadas de ventos retilíneas podem alcançar 96 km/h (Changnon, 2011).

As linhas de instabilidade (*Squall lines*) possuem quilômetros de extensão, criando uma “linha” em que a tempestade percorre. As linhas de instabilidades (LI) podem se dividir em partes e gerar tempestades severas, como as rajadas em linha reta, tornados e granizo (Dolce, 2025).

As LIs atuam como um único sistema, abrangendo enormes áreas territoriais e se originam com a presença de frentes, dentre elas as frentes frias (*Pilot Institute*, 2025).

A formação das linhas de instabilidade segue algumas etapas: a elevação do ar quente e úmido para a atmosfera, com o processo de convecção a tempestade começa a se originar e se organizarem em linha. A substituição gradual entre as massas de ar sustém e propaga a tempestade (*Pilot Institute*, 2025). O desenvolvimento gradual de linhas de instabilidade são ilustradas na figura 6.

Figura 6 - Esquema explicativo da evolução de uma linha de instabilidade



Fonte: NAV Canada – *Aviation Meteorology Reference* (2025)

Segundo Brunk (1953), as LIs podem ser confundidas com frentes frias, quando são acompanhadas por esses sistemas, mas com o seu desenvolvimento recebem características próprias. A previsão de linhas de instabilidade pode ser desafiadora; no entanto, uma vez que a tempestade é um elemento essencial para a sua formação, o melhor momento para a identificação dessas linhas é no início de seu desenvolvimento (Brunk, 1953).

Uma *squall line* é visualizada na imagem de satélite GOES 16, banda 2, com o formato típico de “linha”. O exemplo abaixo, traz a LI deslocando sobre os estados do Kansas e Missouri, nos EUA, em 28 de abril de 2020. (NOAA, 2020).

Figura 7 – Exemplo do NOAA de Linha de Instabilidade em imagem de satélite nos EUA



Fonte: NOAA (2020)

Enquanto a danos, quedas de árvores são uma característica comum desse tipo de tempestade, com disposição de danos na direção que a linha de instabilidade se movimenta. Abaixo, apresentam-se algumas fotografias de um evento que ocorreu nos Estados Unidos, reportado na mídia (CBS Albany, 2024).

Figura 8 - Queda de árvore por ação das rajadas de ventos



Fonte: Andrew Kovalovich / CBS 6 News Albany (2024)

Figura 9 - Queda de árvore à beira da rodovia com troncos quebrados.



Fonte: William Swanson Kuban / CBS 6 News Albany (2024)

3.4 TORNADOS

A Região Sul do Brasil e dos países vizinhos contém semelhanças com os Estados Unidos, principalmente por registrarem tornados.

Hornes *et al.* 2022 explicitam que um tornado

[...] é definido com uma coluna de ar volvente integrada a uma nuvem convectiva, que toca o solo ou então uma superfície mais elevada. Eles são visíveis como uma nuvem em formato de funil, mas podem ser visualizados

como uma coluna de pó ou detritos rotativos, ou não visualizados caso não possuam partículas visíveis disponíveis para serem suspensas. (Hornes *et al.* 2022, p. 120)

Os autores afirmam que o fenômeno não é amplamente conhecido pela sociedade, que os associa a outras localidades a exemplo do EUA. Por isso, quando presenciam uma tempestade, as pessoas podem não reconhecê-la como um tornado, confundindo-a com outro tipo de evento.

Além disso, é possível diferenciar tornados e furacões pela sua escala: não é viável observar o formato de um furacão, pois eles podem atingir quilômetros de extensão.

Segundo Damasceno Neto (2012) a formação de um tornado ocorre quando os ventos no interior da nuvem conseguem se elevar para a parte superior, no entanto, esse ar se desloca e origina a aparência de funil, com fortes ventos que vão girando para a parte inferior. O funil é a característica visual mais marcante de um tornado, o qual pode ser utilizado para seu reconhecimento na paisagem.

Segundo Hornes, Kapp Junior e Estaski (2022) quando o fenômeno natural ocorre na água (por exemplo, no mar, em áreas litorâneas), recebe outra terminologia, conhecida como tromba d'água.

Estes corpos de água podem passar por mudanças, ou seja, “trombas d'água que passam da água para a terra tende a torna-se tornados e os tornados que passam da terra para a água tornam-se trombas da d'água” (Das *et al.* 2016, p. 31, tradução própria).

O tornado se forma em uma tempestade de supercélula com ventos giratórios, descendo em vórtice para a superfície (Das *et al.* 2016). Segundo o autor, a diferença de temperatura das massas de ar durante sua formação são elementos necessários para se originar um tornado.

A maioria dos tornados é originada por supercélulas. Conforme Forbes e Wakimoto (1983), as supercélulas são amplamente estudadas, ao contrário dos tornados mais brandos, que recebem pouca atenção nos estudos.

A existência de estudos de todas as categorias de tornados e fenômenos naturais atmosféricos é importante. Com eles os pesquisadores podem descobrir e investigar fatos pouco conhecidos e colaborar para sua divulgação, podendo estar acessível a pesquisadores e para a sociedade em geral.

Segundo a ANAC

Enquanto os tornados são talvez os piores desses eventos severos, todos são perigosos. Ventos fortes causados pela corrente descendente podem atingir 148 quilômetros por hora e rajadas de vento podem produzir tantos danos quanto um tornado. Nenhum desses eventos são exclusividade de supercélulas, apesar de serem mais facilmente previstos quando estão associados a uma delas. (ANAC, 2018)

Tornados são um dos fenômenos que mais causam preocupações, principalmente nos Estados Unidos, contudo, as supercélulas podem gerar outros tipos de tempestades e devem ser alvo de precaução, desse modo sendo essencial seu monitoramento.

Tornados podem atingir diferentes níveis de velocidade, podendo provocar danos que podem se diferenciar de um nível mais brando para um mais violento, dessa maneira a criação da Escala Fujita foi essencial para os estudos de danos provocados por tornados. A escala Fujita, conseguiu exemplificar e documentar os danos causados por tornados, de acordo com sua intensidade. Esse trabalho de documentação foi a atividade de maior prestígio da escala, devido à necessidade de se compreender os tornados (McDonald, 2001).

A primeira versão, em que Fujita (1981) possibilita indicar os níveis de destruição dos tornados, começando do F0 até o F6-F12. O nível mais baixo equivale a pequenos danos, não causando grandes prejuízos à população, no entanto, o nível F1 é mais preocupante que o F0 devido trazer mais danos, sendo responsável por conseguir levantar objetos e causar maior destruição do que F0.

A partir do F-2 para o F6-F12 a força de destruição começa a se tornar mais elevada, sendo que nos estágios mais elevados do tornado, carros podem ser lançados, ocorre a destruição total de construções e objetos podem ser disparados em altas velocidades (Fujita, 1981).

O autor sobre o nível F6-F12 da antiga escala Fujita, reitera que pode considerar como “a velocidade do som. Não se espera que as velocidades máximas do vento de tornados atinjam as velocidades de vento F6” (Fujita, 1981, p.1518, tradução própria).

Segundo McDonald (2001) a escala Fujita tornou-se duradoura, devido à medição dos ventos de atuações tornádicas próximas à realidade. A respeito disso, o autor enfatiza que a escala Fujita, tem algumas características questionáveis, algumas admitidas por Fujita, principalmente na classificação de danos estarem

relacionados a construções, que podem estar ou não, preparadas de uma maneira que possa reduzir a destruição por tempestades.

Posteriormente foi criada a escala Fujita aprimorada (*Enhanced Fujita Scale*), em que classificava os danos de EF0 a EF5, diferenciando-se da versão anterior que sua classificação máxima atingia F6-F12.

De acordo com o NOAA (2003), a atribuição da escala EF5 a um tornado é incomum, pois essa classificação exige a observação de danos de destruição muito severa. Consequentemente, o nível EF4 tende a ser mais utilizado.

Também, foi criada inicialmente para pesquisas de tornados nas Ilhas Britânicas outra categoria de medição, esta denominada como escala de Torro (*The Tornado and Storm Research Organization*, 2026), que no continente europeu, pesquisadores tinham a intensão de utilizar uma classificação que se aproximasse mais da realidade das construções do continente. A Escala Fujita não é abandonada, pode ser utilizada em conjunto com a de Torro (Pinto e Leitão, 2012).

NOAA (2003) esclarece que não se deve atribuir uma noção de velocidade de um tornado apenas observando danos isolados, sendo necessário realizar um estudo mais detalhado, a fim de conseguir tais informações.

Hornes *et al.* 2015 explicitam sobre o perigo de não se visualizar um tornado (que se torna visível por causa de pequenos elementos sugados, como poeira), principalmente à noite, devido à falta de iluminação natural, dessa maneira existe o risco de pessoas serem atingidas por materiais que estão sendo jogados pela força dos ventos para qualquer direção.

Quando o tornado é visualizado através dos elementos sugados, resultado de que o ar estava seco ou a pressão não estava muito baixa. O contrário é possível, com tornados não sugando detritos suficientes, e com presença de pressão baixa possibilitando a condensação, dificultando a identificação do fenômeno (Bluestein, 2013).

3.5 DOWNBURSTS

Tempestades são fenômenos meteorológicos que proporcionam impactos sociais e econômicos. Existem várias categorias de tempestades, neste capítulo será explanado a respeito dos *downbursts*.

Os *downbursts* estão relacionados às tempestades severas. Os *downbursts* não estão incluídos no Atlas Brasileiros de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), e não são catalogados pela defesa civil, desse modo sendo necessário classificá-los em outra categoria. Estes eventos estão associados às tempestades locais convectivas – vendavais (termo utilizado pela defesa civil).

O *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) explicita que “um downburst é um termo geral usado para descrever amplamente os macro e microbursts” (NOAA, 2025a, tradução própria). Também, podem ser utilizados termos da língua portuguesa: macroexplosões e microexplosões, se referindo aos mesmos fenômenos, que possuem essas traduções da língua inglesa.

Para Fujita (1985) as macroexplosões atingem áreas maiores, podendo ultrapassar quatro quilômetros, causando danos que podem ter algumas similaridades comparadas a tornados, e a respeito ao período podem se estender até meia hora de tempestades.

Uma microexplosão pode ser definida em função de sua dimensão, pois é menor que a macroexplosão e consegue atingir até 100 mph, através de tempestades que provocam fortes ventos durante um tempo muito menor que a macroexplosão (NOAA, 2025a).

Nas principais características de uma microexplosão, o curto tempo e a velocidade chamam a atenção. Isso se deve porque em um período curto as rajadas de ventos podem atingir até 100 mph (ou 160,934 km/h).

Os valores de velocidade de vento de até 45 m/s, podem colocar em risco algumas construções. No Brasil a ABNT NBR 6123/88 indica que as construções devem levar em consideração os parâmetros de construção contidas na normativa, e seguirem de maneira preventiva os protocolos de construção de acordo com a velocidade de vento de cada região do Brasil. Esse preparo é necessário para a segurança durante episódios meteorológicos adversos e, portanto, algumas situações de *downbursts* podem gerar danos (Brasil, 2023).

As microexplosões podem ser classificadas como secas ou úmidas, relacionadas principalmente pela intensidade de chuva que ocorre durante o evento. Segundo Wakimoto (1985) os *microbursts* secos são caracterizados por pequena quantidade de precipitação até o término das rajadas de ventos, enquanto, as microexplosões úmidas em todo seu período de atuação são intensas, até mesmo quando há períodos de chuvas pouco intensas.

No início da formação do fenômeno atmosférico a nuvem cresce muito, alcançando grande comprimento de sua parte superior até sua base, com granizo se formando concomitantemente (NWS, 2025b).

O granizo é caracterizado por ser uma precipitação sólida, formada pela união das gotas que se movimentam para o topo das nuvens, porém, precipitam quando atingem um determinado peso (NOAA, 2024b). Algumas das ocorrências em Ponta Grossa, Paraná, analisadas obtiveram presença de granizo, dentre elas 18 de janeiro de 2023, 09 de março de 2023 e 28 de novembro de 2024.

Downbursts podem estar correlacionados com fenômenos denominados como *derecho*. Segundo o NOAA (2025a) é um fenômeno duradouro envolvendo grande quantidade de *downbursts*. Os *derechos* são muito intensos e provocam demasiada destruição, conseguindo atingir vários quilômetros.

Bluestein (2013) explicita sobre a formação de um *derecho*, quando o cisalhamento vertical é mais brando, mas capaz de gerar ventos retilíneos. O mesovórtice não se define bem, e da massa de ar frio as rajadas descendentes podem surgir, com sistemas convectivos de mesoescala originando um *derecho*.

A National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2025) em sua página da *internet*, relata um episódio ocorrido no estado de Iowa (EUA), em 2020. Milhões de acres (1 acre = 0,004 km²) foram afetados deixando rastros na vegetação, que foram identificados através de NDVI, utilizando imagens de satélite Landsat 8 e Sentinel-2B.

Essas tempestades, caracterizadas pelo movimento de convecção, podem surpreender a população e originar vítimas (Falk, 1997).

Na paisagem, os *downbursts* podem deixar algumas marcas que podem caracterizá-los; a respeito disso, Fujita (1985) expõe alguns desses detalhes. Sobre as macroexplosões, o autor cita um evento com registro nos Estados Unidos, em Wisconsin, com vários *microbursts* derrubando árvores, lembrando palitos de fósforos, além de causarem danos à algumas construções.

NOAA (2003) explica como ocorrem os danos de tornados em alguns tipos de árvores, trazendo como exemplo as coníferas e as árvores decíduas que se tornam frondosas dependendo o período do ano, tornando-se mais suscetíveis a serem arrancadas.

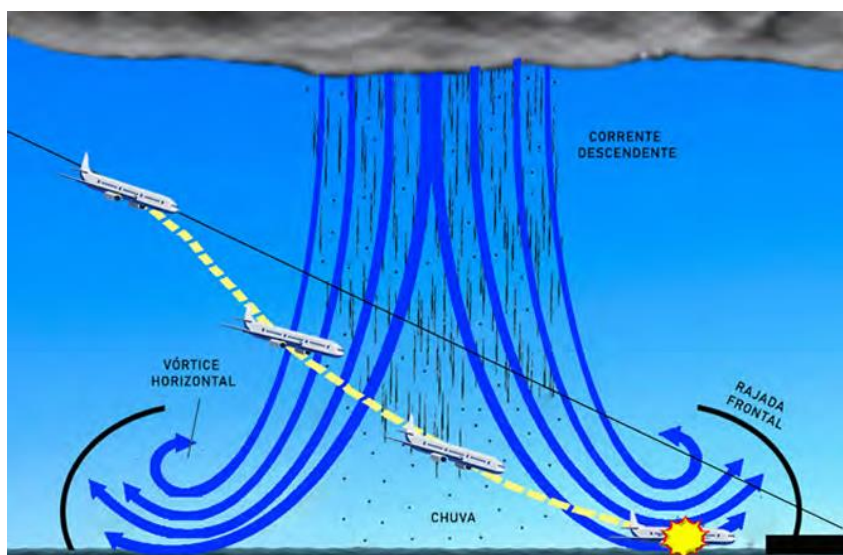
Enquanto, sobre a distribuição geográfica global de *microbursts*, Fujita (1985) constituiu um mapa de algumas ocorrências até 1984, em que várias

microexplosões ocorreram nos Estados Unidos. Como um exemplo, o autor exemplifica a falta de frequência desses fenômenos em ilhas, e também de ser contabilizado somente um registro no hemisfério sul, na Austrália.

Sobre os *microbursts* nos EUA, o autor enfatiza que o país não é a região que mais registra microexplosões porque tem maior presença de atividades de *microbursts* no planeta, mas principalmente porque não era possível contabilizar de maneira mais eficiente algumas ocorrências em outros países do mundo, impactando nos registros.

Fujita (1985) explicita que a motivação para o início dos estudos de *downbursts* está relacionado a quedas de avião, em que foram registrados em fotografias os estragos resultantes das tempestades. Desse modo, sendo possível perceber que os ventos intensos poderiam ter realizado um caminho em linha reta (de cima para baixo) e seguir descendo ao solo atingindo horizontalmente os diferentes obstáculos (Fujita, 1985), conforme a figura 10.

Figura 10 - Queda de um avião durante um *downburst*



Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022)

Fujita adquiriu experiência realizando atividades relacionadas à queda da bomba atômica em Nagasaki, no final da Segunda Guerra Mundial, realizando diversas análises, dentre elas sobre a explosão (Lerner, 2020).

O projeto NIMROD (*Northern Illinois Meteorological Research On Downburst*) conseguiu perceber diferenças nos *downbursts*. Fujita (1985) explicitou sobre esse projeto, pois ele foi o responsável por perceber que alguns *downbursts*

alcançavam maiores áreas na superfície (horizontalmente), algo que foi observado durante o período de atividades desse programa que utilizava radares *doppler* e outros aparelhos. Foi a partir dessa descoberta que começou a haver duas subdivisões: os *macrobursts* e os *microbursts*.

O grande aumento de problemas com aeronaves e o crescimento no número de usuários no início do século XX destacaram a importância de observar as condições meteorológicas. Esses fatores foram cruciais para impulsionar os estudos sobre o comportamento da atmosfera (Fujita, 1978).

Um dos principais acidentes com aeronaves, que influenciou o estudo dos *downbursts*, foi o que ocorreu nos Estados Unidos, em um aeroporto de Nova Iorque. Wolfson (1990) explicita algumas situações que poderiam ter relação com o acidente, em que os ventos marítimos poderiam ter influenciado o desenvolvimento da tempestade, impedindo-a de realizar seu trajeto para o sul. Para o autor, durante a tempestade a frente de rajada, propiciou correntes de ar descendentes, sendo que foi uma delas que provocou o acidente do avião.

Peterson (2000) explicita que os tornados são mais estudados que os *downbursts*, sendo que estudá-los como algo distinto foi consolidado de maneira tardia, assim estatísticas históricas não estão disponíveis.

Os *microbursts* já causaram muitos acidentes de aviões, no entanto as condições atmosféricas dos acidentes não foram consideradas em muitos laudos colocando a responsabilidade das avarias como erro dos pilotos (Fujita, 1985).

Compreender como as microexplosões conseguem ser prejudiciais para a aviação foi um desafio para Fujita (1978) ele lançou a hipótese de que as tempestades podem prejudicar os pilotos, pois através de algumas de suas análises, as microexplosões conseguiam fazer os aviões perderem velocidade rapidamente o que contribuía para uma sequência de situações que dificultavam o piloto de manter a estabilidade da aeronave.

Atualmente grande parte das aeronaves e aeroportos identificam nuvens propensas a este tipo de evento, e assim as rotas são traçadas evitando áreas que podem trazer algum risco.

Além, do projeto NIMROD que esteve presente no início dos estudos e análise de *downbursts*, vale ressaltar projeto *Joint Airport Weather Studies* (JAWS), traduzido como Estudos Meteorológicos Conjuntos de Aeroportos. Fujita (1985)

expõe que o projeto se preocupava sobre os perigos resultantes de *downbursts* aos aviões que paravam na capital do estado do Colorado, EUA.

Segundo o autor, foi determinado em uma reunião que ocorreu no ano de 1980, que os estudos seriam liderados por Fujita e ocorreriam na cidade de Denver no Colorado, onde localizava o aeroporto do projeto NIMROD.

Wilson e Wakimoto (2001) explicam que tal projeto, visava melhor compreender a estrutura, evolução e causa das microexplosões.

Segundo Fujita (1985), em reconhecimento de microexplosões em imagem, monitoradas em um computador, expôs como era estabelecido seu desenvolvimento: “Cada estação Pam nas redes NIMROD e JAWS colecionava velocidades de vento uma vez a cada minuto, 24 horas por dia.” (Fujita, 1985, p. 53, tradução própria).

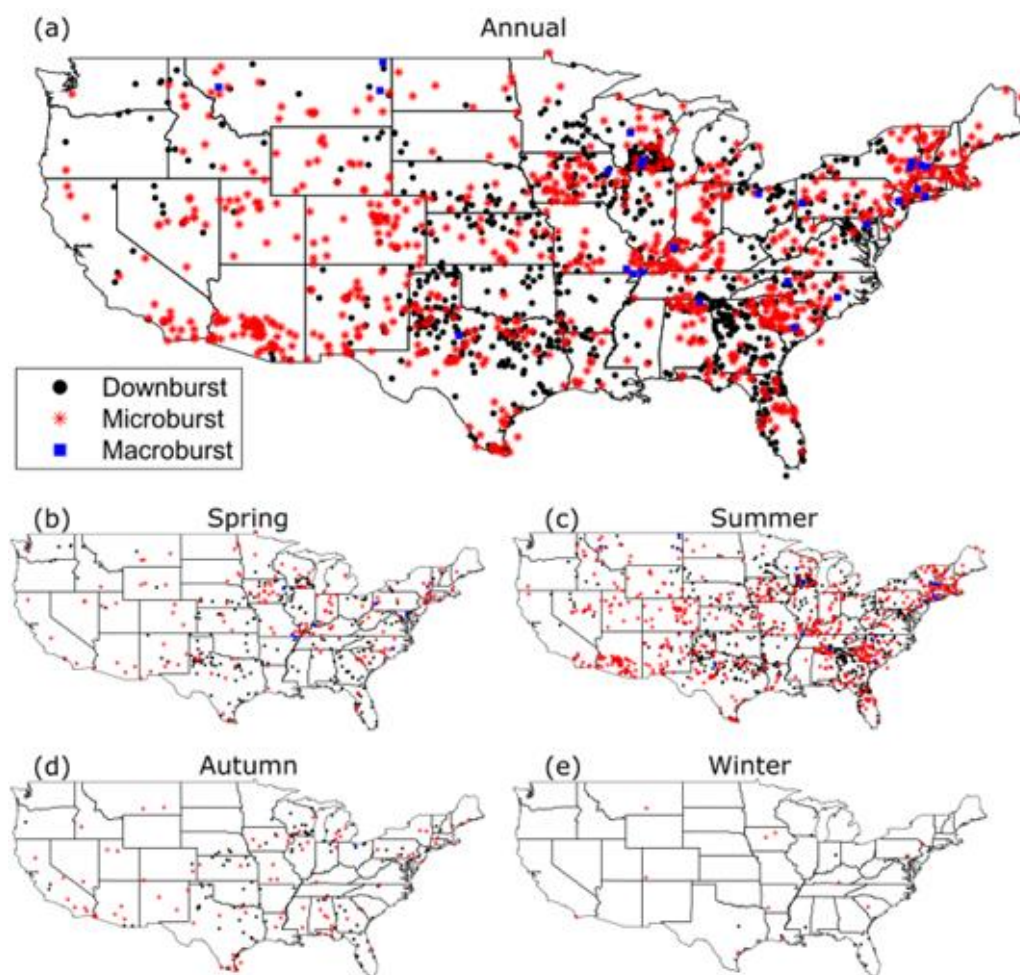
Tal tecnologia passou a auxiliar de maneira mais fácil a identificação dos *microbursts*, pois conseguiam coletar um grande número de informações, trazendo aos pesquisadores dados exatos, conseguindo detectar várias tempestades e caracterizar as microexplosões.

Wakimoto (1985) aponta que no projeto JAWS foi instalado um radar *doppler* triplo, com raio de alcance de 20 km de distância entre eles, que em área formavam um triângulo, e entre as várias estações *Portable Automated Mesonet* (PAM) foram estabelecidas 4 km cada.

Um terceiro projeto para o estudo das tempestades, descrito por Wilson e Wakimoto (2001) foi o projeto *Microburst and Severe Thunderstorm* (MIST), que ocorreu no estado do Alabama, procurava analisar as nuvens de tempestades com radares, em uma região com alta precipitação.

Nos EUA, segundo Romanic, Tanzarek e Brooks (2022) existem regiões no país mais propensas a *downbursts*, sendo que foram registradas em um mapa que indicam as áreas em que mais ocorreram esses fenômenos atmosféricos. Na imagem a seguir (Figura 11) está representado o mapa realizado pelos autores.

Figura 11 - Distribuição de *downbursts* de 2000 a 2019 nos Estados Unidos



Fonte: Romanic, Tanzarek e Brooks (2022)

A incidência de *downbursts* está diretamente ligada à atividade convectiva; por isso, em estações de baixa convecção, nota-se uma redução desses eventos, mesmo em regiões onde eles são frequentes no restante do ano. Os autores afirmam que “Durante o outono e inverno, uma queda significativa na frequência de ambientes favoráveis a *downburst* pode ser observada com maior parte da atividade limitada principalmente às partes ao sul dos Estados Unidos.” (Romanic; Tanzarek e Brooks, 2022, p. 7, tradução própria)

Os *downbursts* não se originam somente em supercélulas, podendo se formar em outros tipos de nuvens. Fujita (1985) explicita sobre elas, sendo que podem ser classificados como nuvens em formato de bigorna (*anvil clouds*), os *bow echos* (eco de arco), as que têm aparência que se assemelham a chuveiros isolados uns dos outros e em nuvens *cumulus*.

Uma das nuvens citadas acima, as *bow echos* são capazes de promover fenômeno atmosférico capaz de originar *downburst*, também pode ser responsável por formar tornados concomitantemente com as microexplosões (Fujita, 1985). Segundo o mesmo autor, esse tipo de nuvem pode ser detectada através de imagens de radar, e com base em informações meteorológicas qual é possível definir o seu potencial de severidade.

As imagens de radar e satélite são utilizadas com muita frequência para a identificação de eventos severos, em que o conhecimento das cores se torna essencial para a identificação de supercélulas.

De acordo com as observações de Wolfson (1990), rajadas descendentes podem se deslocar das nuvens cúmulo-nimbos e haver o fortalecimento das células propensas a tempestades detectadas por imagens de radar. Também, nuvens *echos* podem ser originadas e se integrar a todo sistema convectivo.

Fujita utilizou com grande êxito os radares *doppler*. No funcionamento de radares,

O transmissor é controlado pelo processador de sinal e produz pulsos de ondas eletromagnéticas que são direcionados para o duplexador, que funciona como um sistema de chaveamento, enviando o sinal transmitido para a antena. A antena irradia as ondas eletromagnéticas concentrando a sua energia em uma determinada direção. As ondas eletromagnéticas podem interagir com os hidrometeoros (chuva, neve ou granizo) das nuvens. Parte da energia retro-espalhada volta em direção à antena, e desta vez, o duplexador direciona os sinais retro-espalhados para o receptor. (Queiroz, 2009, p. 37)

As fotografias aéreas das áreas atingidas desde o início dos estudos de *downbursts*, tiveram grande contribuição para a compreensão desses fenômenos, pois através delas era possível pensar como tal fenômeno se desenvolveu.

Um dos exemplos trazidos por Fujita (1978), expõe que tetos de grandes estruturas de fazendas foram destruídos, dado pelos estragos nas construções.

Os radares foram importantes para o início dos estudos de *downbursts*, como também para estudar outros fenômenos meteorológicos. Neste sentido, Mattos *et al.* 2020 (p. 86) apontam que “o estudo das nuvens de tempestades teve avanço significativo com o advento dos radares e satélites meteorológicos e rede de monitoramento de relâmpagos”.

São necessários vários aparelhos, principalmente eletrônicos para que radares meteorológicos possam funcionar, e conseguir informar os meteorologistas sobre as condições atmosféricas.

O radar convencional consiste de quatro componentes básicos: o transmissor que gera sinal eletromagnético de alta potência e alta frequência, a antena que envia e recebe os sinais, o receptor que detecta e amplifica o sinal de retorno e o sistema de exibição que mostra numa tela os alvos detectados. (Queiroz, 2009, p. 35)

Segundo Buriol e Beneti (2015) os dados obtidos dos radares são utilizados para previsões de tempo atmosférico de períodos breves. Não é utilizado para prever como será o tempo e possibilidades de tempestades em uma região por um longo período, por isso são muito utilizados para a previsão do tempo disponibilizados nas mídias de notícias.

Fragoso (1996) considera os radares essenciais para a ciência geográfica, pois eles permitem que os profissionais relacionem fenômenos atmosféricos (como o acúmulo de chuvas) com a lógica espacial. Dessa forma, é possível estudar o fenômeno em uma área específica. A antena é essencial para a funcionalidade do radar, pois ela pode ter funcionalidades de uma ou mais direções, que dependendo de algumas variáveis (como área de abrangência) pode ter um melhor rendimento (Queiroz, 2009).

Os radares meteorológicos enfrentam algumas problemáticas em relação a sua funcionalidade, algumas limitações podem ser apontadas, relacionadas principalmente à restrição da área de abrangência atingida pela sua cobertura.

Sobre algumas problemáticas dos radares, Fragoso (1996) explicita que;

Entre as várias limitações inerentes às imagens de radar meteorológico, a margem de erro que estas possam conter é, possivelmente, o que mais preocupa os seus utilizadores. De facto, os erros que afectam a medição das precipitações pelo radar meteorológico podem ser muito importantes, chegando a desaconselhar-se, nalguns casos, uma utilização quantitativa das intensidades estimadas. (Fragoso, 1996, p. 32)

Uma outra característica limitadora dos radares meteorológicos, explicitado por Queiroz (2009), é dada pela restrição em identificar com precisão as condições da nuvem toda, resultando em dados menos precisos.

O processamento dos dados exige um conjunto de conhecimentos computacionais. Buriol e Beneti (2015) explicam que as informações são inicialmente disponibilizadas em coordenadas esféricas, passando por um processo que inclui o mapeamento dos dados.

Um arcabouço de imagens de radar são essenciais para a compreensão de uma tempestade extrema, já que possibilita observar a gênese e o desenvolvimento de nuvens propensas a se evoluírem rapidamente e desencadear um desastre. O

radar se torna uma ferramenta essencial nos estudos de *downbursts* e tempestades severas, e sua consulta se torna fundamental para compreender fenômenos atmosféricos diversos.

3.6 DIFERENÇAS ENTRE TORNADOS E *DOWNBURSTS*

Tornados, *squall lines* e *downbursts* são formados por supercélulas (Fujita, 1985, Dolce, 2025). Os *downbursts* se diferem dos outros tipos de tempestades, pois podem ocorrer com pouca precipitação (seca), ou com intensa precipitação, advinda de fortes tempestades (Wakimoto, 1985).

Apesar de conterem muitas semelhanças entre si, como a formação no mesmo tipo de nuvem, os tornados e as microexplosões podem ser diferenciadas a partir da observação e análise dos danos originados de cada tipo de tempestade.

“Por seu movimento giratório, a ‘assinatura’ de um tornado é o retorcimento das estruturas afetadas e a projeção de objetos. E por suas dimensões e características, essas células são identificáveis por radar.” (Nunes *et al.* 2017, p.1949)

Fujita (1981) explicita na fácil identificação de tornados com elevada força de destruição, em que árvores podem danificar árvores, provocando descascamentos, e influenciar no substrato terrestre através de poder originar erosões no solo e afetar grama.

NOAA (2003) enfatiza que o tornado é uma tempestade de vento em rotação, desse modo as estruturas por onde a tempestade passar sofreram variações entre si, como também a direção predominante do vento.

Por essa razão, na identificação de fotografias de danos causados por tornados, pesquisadores conseguem perceber estruturas que visualmente foram dobradas.

Segundo Hornes, Kapp Junior e Estaski (2020), os tornados se diferem dos *downbursts*, ou outras tempestades, quando se pensa em percurso de destruição realizado pelos ventos do funil.

A identificação de uma atuação tornádica é complexa, no entanto “assinaturas” facilitam sua constatação. O “caminho da lágrima”, ou caminho da destruição [...], é uma das melhores evidências de sua ocorrência, pois indica a área percorrida pelo fenômeno. (Hornes; Kapp Junior; Estaski, 2020, p. 42)

Pinto e Leitão (2012) documentaram os danos causados pelo tornado Silves, em Portugal, apontando destruição de vegetação, telhados e vidros. Ao se referirem à cidade de Lagoa, os autores apontaram danos ainda mais severos, como árvores inteiras arrancadas, carros danificados e partes de construções arremessadas a longas distâncias.

A figura 12, retirada de Climatempo (2021), disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2021/09/22/qual-a-diferenca-entre-tornado-downburst-e-microburst--2043>, expõe a diferença entre *downburst* e tornado, sobretudo a respeito do comportamento do vento.

Figura 12 - Diferença entre *downburst* e tornado, segundo Climatempo



Fonte: Climatempo (2021)

Marshall (2004) explica sobre a importância da resistência dos telhados para que os danos sejam minimizados, explicitando que a estrutura deve ser capaz de aguentar o peso de uma pessoa caminhando em cima das telhas, sem quebrar.

Tanto os tornados, como as microexplosões podem ser visualizadas com partículas de poeira durante seus 'períodos de vida'. Ambas as tempestades produzem um som característico muito forte, no entanto, durante um evento de tempestade severa não é possível distinguir cada tipo de som produzido por eles (NOAA, 2003).

Wakimoto (1985) afirma que as condições de relevo influenciam no som das microexplosões, constatando isso, após suas observações (em Denver) na área central dos Estados Unidos.

Vale ressaltar a dinâmica dos ventos envolvida quando se refere às atividades tornádicas. Segundo Hornes (2022) os tornados originam-se com força limitada, mas conseguem atingir velocidade em pouco tempo, após, haverá o momento de se enfraquecerem novamente.

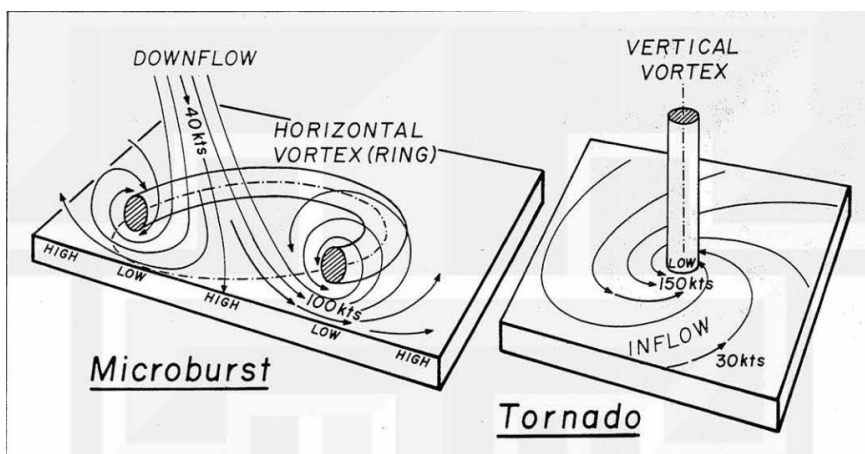
NOAA (2003) ressalta que geralmente tornados estreitos são mais violentos que os que possuem um funil maior, e consequentemente a quantidade de vórtices não é um fator primordial que define se um tornado possui velocidade e força maior.

Fujita (1978) explicita sobre consequências advindas das tempestades de *downbursts*, dentre elas: telhados arrancados pela força dos ventos (citando em sua tese registros em fazendas); grandes estruturas de propriedades rurais como silos, podem ser movidos a distâncias significativas; casas móveis arrancadas do chão, pois não tinham boa conectividade (fixação) com o terreno; pedaços de construções e demais objetos podem ser lançados a direção de algumas estruturas, como postes.

Algumas das consequências de macroexplosões são quedas de árvores. Nas microexplosões, de acordo com o relato de Fujita sobre a tempestade em campos de milho no estado de Indiana nos EUA, as frentes de rajadas conseguiram tomar direções, tanto para a direita ou para a sua posição oposta, perceptível no rastro de destruição causado pelas rajadas (Fujita, 1985). Esse comportamento dos ventos não é comum em tornados, pois eles agem como um 'redemoinho', dessa maneira os *downbursts* agem diferente, em que sua trajetória segue de maneira mais linear.

As diferenças da disposição dos danos estão relacionado a sua vorticidade, e pode ser exemplificado na figura 13, sendo possível identificar como as rajadas de vento descem ao solo.

Figura 13 - Vorticidade de microexplosões e tornados



Fonte: Fujita (1985)

Na figura 14, está representada a disposição de danos que são geralmente provocados por tornados, enquanto na figura 15, exemplifica o percurso realizado por rajadas de ventos de *downbursts*. Ambas as imagens são exemplos do NWS (2013) que exemplificam a diferença entre a disposição de danos das tempestades.

Figura 14 – Exemplo de disposição de danos de tornados



Fonte: NWS (2013)

Figura 15 - Exemplo de disposição de danos de *downbursts*



Fonte: NWS (2013)

Marshall (2004) expõe sobre as duas forças que o tornado exerce nas construções, as quais consideram que tem uma força chamada de positiva e uma negativa. A primeira corresponde à força que consegue destruir a estrutura com fundação mal estabelecida, enquanto a outra está relacionada ao desprendimento de partes de uma construção, como o telhado.

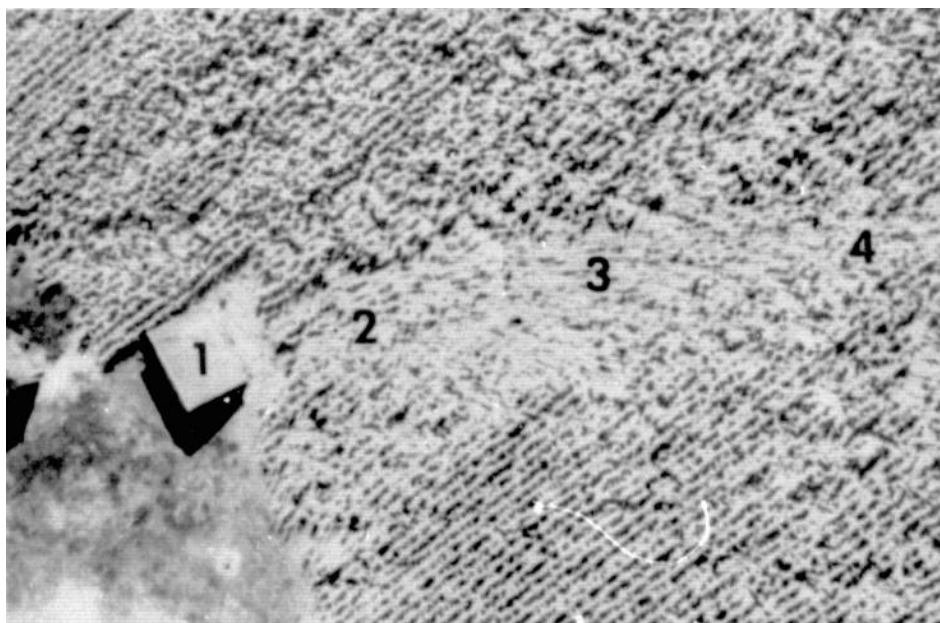
Geralmente o telhado é a estrutura que é afetada primeiro; porém, quando se observa se há a existência de danos, tem que se atentar se as estruturas já não estavam danificadas anteriormente, para não induzir ao erro que foi causado por uma tempestade (Marshall, 2004).

Wolfson (1990, p.210, tradução própria) ressalta na conclusão de sua tese, sobre a segurança das aeronaves, relacionada sobre os perigos que microexplosões trazem para a aviação, apresentando uma importante fase que ajuda na prevenção e contenção de acidentes aéreos, “[...] a segunda parte da previsão de *microbursts* envolve rastrear as frentes de rajadas de saídas de tempestades previamente formadas”.

Fujita (1978) expõe alguns exemplos de “manchas” e danos causados por microexplosões na paisagem, dentre eles quando uma rajada de vento atingiu o telhado de uma casa, que propiciou atingir uma plantação, deixando como evidência de sua passagem no local a destruição.

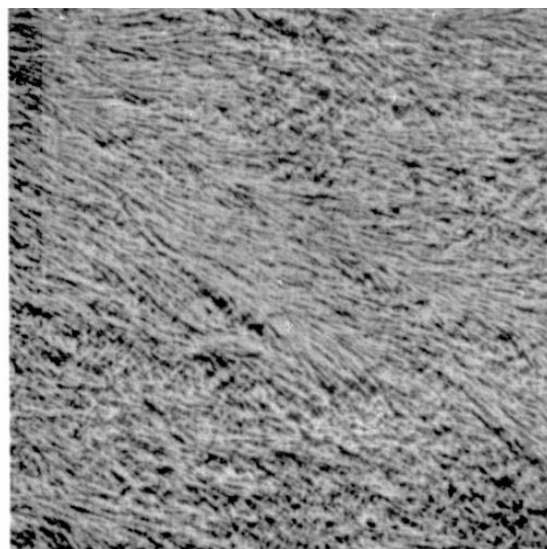
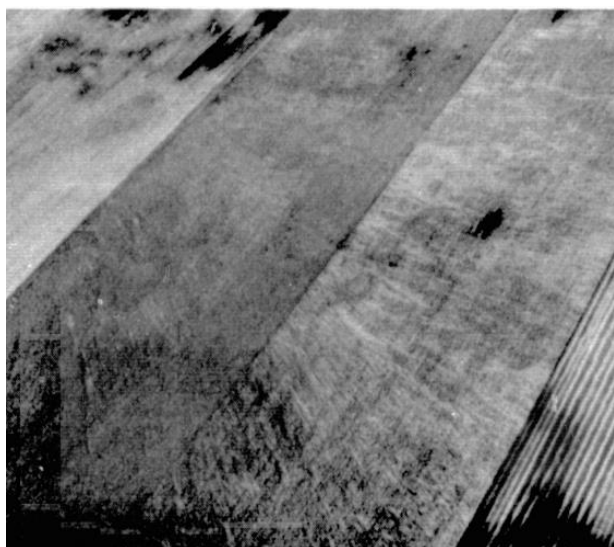
A ilustração abaixo (Figura 16) está demonstrando este fenômeno, fotografado em 1977, em que os números em ordem crescente indicam a trajetória percorrida pelas rajadas de ventos. Há plantas caídas na mesma direção, resultado do caminho percorrido pelos jatos descendentes da microexplosão. Enquanto, na figura 17 um *microburst* que ocorreu em uma plantação de milho.

Figura 16 - Destruição causada por *microburst*, com movimento induzido pelo telhado da construção, em 1977.



Fonte: Fujita (1978)

Figura 17 - Danos provocados pelas rajadas de ventos em uma única direção, do *microburst* Danville em um campo de milho.



Fonte: Fujita (1978)

Outra característica que o autor revela, que *downbursts* podem gerar na superfície rastros conhecidos como dedos, que ocorrem principalmente devido à fisiologia do terreno em que a tempestade se deslocou.

Os dois exemplos acima, reafirmam a lógica que *downbursts/microbursts* deixam rastros bem específicos, auxiliando na sua identificação, pois em fotografias

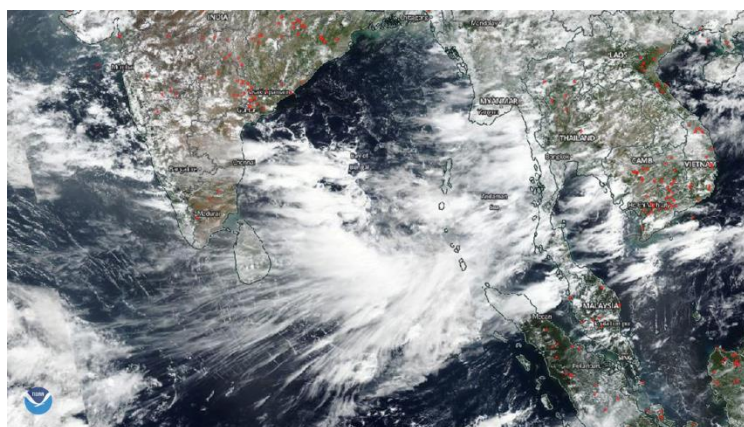
(como Fujita analisou anos atrás), percebe-se o caminho realizado pelas correntes de ar.

Os dois fenômenos atmosféricos possuem o vortex, mas que se distinguem. Segundo Fujita (1985), os *microbursts* possuem vórtices horizontais, sendo o oposto de uma atividade tornádica, em que seu vórtex é vertical, originando as movimentações dos ventos citadas anteriormente.

Das *et al.* 2016 explicita sobre o movimento descendente existente nos *downbursts*, em que os autores afirmam que quanto maior for a velocidade descendo da nuvem, as rajadas do *downburst* consegue atingir maiores distâncias, e quando há o contrário, a abrangência territorial será menor.

Em imagens de satélite, também é possível verificar algumas características que são próprias de tornados e *downbursts*. Como as *squall lines* (LI) que se organizam espacialmente de maneira própria e possibilitam ser observadas por imagens de satélite, os tornados e os *downbursts* conseguem se destacar nas imagens capturadas durante as tempestades. As nuvens *anvil clouds* são indicadoras da possibilidade de ocorrência de tornado.

Figura 18 - Nuvem bigorna (*anvil cloud*), indica a formação de tornado, satélite Suomi-NPP VIIRS, na Baía de Bengala, em 2019

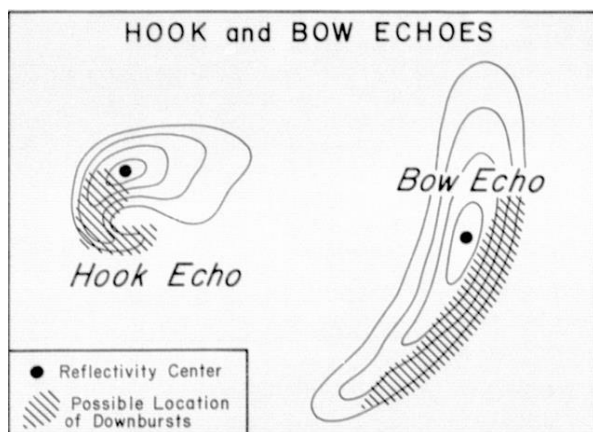


Fonte: NOAA (2019)

Enquanto para identificação de *downbursts*, verifica-se rápidas mudanças na temperatura do topo das nuvens (representada pelas diferenças de cores) em imagens de satélite. Esse padrão pode indicar uma desestabilização rápida da nuvem provocando as rajadas descendentes (Fujita, 1978). Para imagens de radar, a presença de *hook echos* e *bow echos* indicam supercélulas com potencial

ocorrência de *downburst*. Por isso o autor recomenda observar as duas imagens para a identificação dos fenômenos. O esquema realizado por Fujita (1978) ilustra esses padrões (Figura 19).

Figura 19 – Esquema ilustrativo de nuvens *hook echo* e *bow echo*



Fonte: Fujita (1978)

3.7 DOWNBURSTS: UM FENÔMENO PRESENTE NO BRASIL

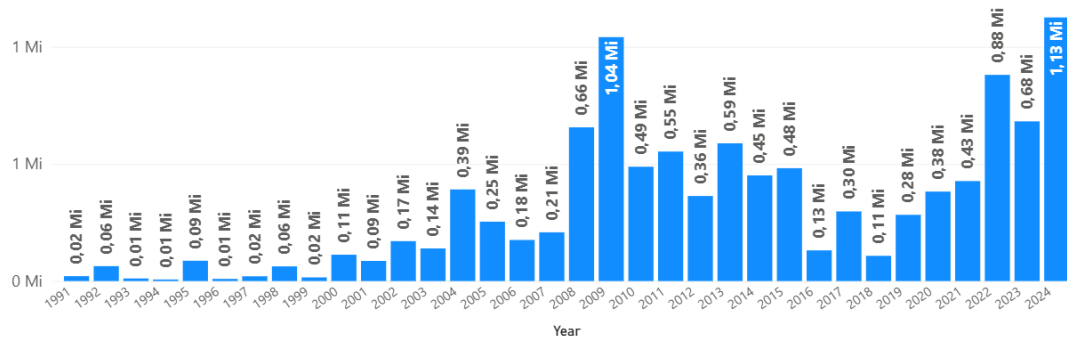
Os *downbursts* estão sujeitos a ocorrerem em várias partes do país, causando danos. No Estado do Paraná, além da possibilidade de ocorrer *downbursts* e suas subdivisões; também outros tipos de tempestades coexistem no estado.

Os vendavais e ciclones são comuns e são registrados pela Defesa Civil, desse modo, dados de ocorrências são disponibilizados na plataforma denominada 'Atlas Digital de Desastres no Brasil'. A página proporciona verificar em gráficos o nível de prejuízo estimado decorrente dos desastres, pois fornece de modo quantitativo.

Segundo Brasil (2024), através das informações fornecidas pela plataforma, no Brasil desde o ano de 1991 até 2024. Nesse período o ano de 2024 foi o que mais registrou desabrigados e desalojados, 1,13 milhão de pessoas (Figura 20). Danos materiais na infraestrutura correspondendo a 91,81% dos prejuízos estimados decorretes de desastres por vendavais (Figura 21).

Figura 20 - Desabrigados e desalojados por vendavais e ciclones no Brasil de 1991 a 2024

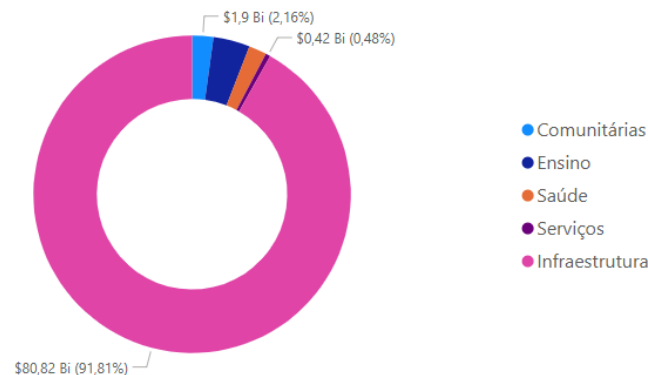
Desabrigados e Desalojados, por ano



Fonte: Brasil (2024)

Figura 21 - Danos por categoria por vendavais e ciclones no Brasil de 1991 a 2024

Danos Materiais por Categoria



Fonte: Brasil (2024)

As nuvens cúmulo-nimbos podem estar presentes majoritariamente em determinada época do ano, segundo os autores, exemplificando que no estado do Paraná,

[...] a primavera começa em 23 de setembro e termina em 21 de dezembro. Esse é um período geralmente de grande nebulosidade, principalmente de nuvens Cúmulos-nimbo, que são as que permitem maiores probabilidade de provocar tempo severo na região. Mas elas podem ocorrer também em outros períodos do ano. (Balicki, Hornes e Bischof Junior, 2020, p. 88)

Borsato e Massoquim (2018), explicitam que apesar de não ser possível saber onde ocorrerá a tempestade com total assertividade, os sistemas de meteorologia, com o auxílio de meios estatísticos conseguem prever com maior certeza possíveis regiões a serem impactadas e geram os alertas para as cidades em risco.

Batista *et al.* 2021, elaboraram um estudo que contabilizou a quantidade de trabalhos acadêmicos sobre atividades de desastres no Paraná. A maioria dos trabalhos foram voltados a desastres naturais biológicos, no entanto, os desastres relacionados a dinâmica atmosférica estavam presentes. Foram contabilizados 12 artigos sobre desastres naturais meteorológicos e 9 trabalhos que abordavam sobre desastres naturais climáticos.

No município de Ponta Grossa, os registros de vendavais são comuns, e alguns bairros podem ser mais afetados que outros. Dentre um dos possíveis condicionantes para a incidência de vendavais em Ponta Grossa é o relevo. Afirmando os Sobrinho e Melo (2018), em que,

Percebe-se ainda que, para os acidentes do Bairro Ronda e no Jardim Cristo Rei, os relatos sobre a orientação dos ventos indicam vários sentidos, o que possivelmente decorre de turbilhonamentos devidos a rugosidades locais, junto às cabeceiras dos vales. Contudo, para uma afirmação mais precisa, seria necessária uma pesquisa mais aprofundada com dados locais do vento. (Sobrinho e Melo, 2018, p. 162)

As pesquisas envolvendo *downbursts* no Brasil são recentes, os primeiros estudos ocorreram na década de 1990 (Lima; Loredou-Souza, 2015). Geralmente as pesquisas são concentradas em duas frentes: As que trabalham com análise das condições meteorológicas dos eventos, com posterior análise de danos, e as que envolvem fórmulas e conhecimento matemático para a compreensão do fenômeno, utilizando de modelos e experimentos.

O presente trabalho está voltado à primeira, desse modo, abaixo há algumas pesquisas que foram realizadas no país, que contém algumas características similares de metodologia e que contribuem para a compreensão de *downbursts*, no Brasil.

No município de Cascavel, no estado do Paraná, em julho de 2016, uma torre de transmissão de energia elétrica foi derrubada pela ação de um *downburst*, relatado como microexplosão (Calvetti *et al.* 2017). Os autores utilizaram imagens de radar e satélite GOES 13 para conhecer as condições atmosféricas da ocorrência. A intenção foi de identificar a presença ou a ausência de supercélula e assinaturas correspondentes a microexplosão.

No Rio Grande do Sul, na capital do estado, ocorreu uma macroexplosão, ocasionando danos generalizados em diferentes estruturas; Loredou-Souza *et al.*

2016, indicaram os danos resultantes dos fortes ventos, dentre eles em grandes estruturas (estádios e edifícios).

Segundo os autores, em uma localidade os ventos atingiram árvores próximas a estádios, que não sofreram danos, enquanto em outra área da cidade, um conjunto de prédios teve danos em suas fachadas. A estrutura dos estádios resistiu à ação do vento (Loredo-Souza *et al.*, 2016, p.8-9).

Moreira *et al.* 2017 relatam uma situação de microexplosão na Região Metropolitana de Recife, no Nordeste do País, que foi notícia em diversos meios de comunicação, caracterizado por rajadas de ventos muito elevadas e danos. “Houve queda de 173 de árvores, avaria de 89 semáforos, queda de 100 postes, falta de energia e um total de 55 acidentes, dentre estes, um chegou a provocar o falecimento de um ciclista atingido por uma árvore.” (Moreira *et al.* 2017, p. 1741)

Nesse episódio tempestuoso no Recife foram analisada a condição sinótica, com a análise de imagens de satélite GOES 13 e do *Earth Nullschool*. Moreira *et al.* (2017) analisaram a presença de zonas de convergência e de VCAN (Vórtice Ciclônico de Altos Níveis), por meio de análise sinótica, de imagens de satélite GOES-13 e do *Earth Nullschool*. Além de informações levantadas nas mídias sociais e de notícias, com intuito de quantificar os danos resultantes da tempestade.

Higuchi *et al.* 2011, expõe sobre *downbursts* na Amazônia, em janeiro de 2005, o evento atingiu fortemente a capital do estado do Amazonas (Manaus). Os autores explicitam sobre seu processo de formação, em que unem dois fatores importantes, sendo as altas temperaturas e as baixas temperaturas (advindas do granizo), pois o granizo conseguiu resfriar o ar quente (predominante) e mudar toda a dinâmica atmosférica existente, propiciando um ambiente ideal para tempestades.

Como metodologia, Higuchi *et al.* 2011 realizaram coletas de dados meteorológicos, como as de precipitação, medição de árvores, dados de mortalidade e uma descrição das atividades convectivas que ocorreram em dias do mês de janeiro de 2005. Além disso, os padrões de seca foram verificados.

Na Região Sudeste, no estado do Rio de Janeiro, Silva e Oscar-Júnior (2023) verificaram a ocorrência de um provável *downburst* em 2018, na capital do Estado (Rio de Janeiro). Os autores verificaram os danos provocados pela tempestade, como quedas de árvores. A tempestade convectiva registrou inundações, que pode ter sido potencializada pelo *downburst*.

Os autores observaram as condições meteorológicas em imagens de radar e satélite GOES 16, canal 13. Para obterem mais informações, Silva e Oscar-Júnior (2023) verificaram as condições de instabilidade na atmosfera, analisando índice CAPE e demais informações nos Diagramas de Skew-T Log P coletados no Aeroporto do Galeão.

Os episódios de *downbursts* foram registrados por vários pesquisadores em várias regiões do Brasil, dentre elas a região Norte, Nordeste, Sudeste e Sul. Apesar de pouco documentado em algumas áreas, os estudos de *downbursts* estão se desenvolvendo e agregando mais para a ciência brasileira. Várias metodologias foram utilizadas para analisar os episódios de *downbursts* pelo país, com propósito de compreender fenômenos passados, em sua maioria utilizando sobretudo imagens de satélite.

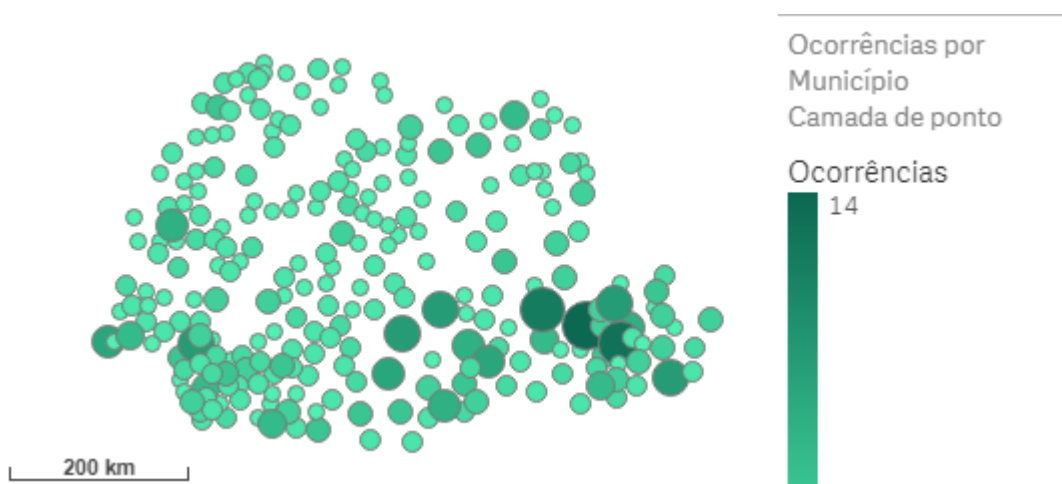
4 RESULTADOS

4.1 TEMPESTADES CONVECTIVAS EM PONTA GROSSA

Em todo o Paraná, durante o ano de 2023 foram registrados pela Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Paraná (Paraná, 2023a) 657 ocorrências de desastres, a maioria delas decorrente de tempestades de vendaval (251 ocorrências).

O mapa abaixo (Figura 22) exibe os municípios mais afetados, em que o município que mais registrou ocorrências foi Campo Largo, 14 registros. O mapa é composto por círculos, e cada um possui um tamanho de acordo com o número de ocorrências no ano, por exemplo o município que registrou quatorze ocorrências em 2023 possui o maior círculo no mapa, enquanto os demais serão menores de acordo com o número de ocorrência de desastres durante o ano.

Figura 22 - Municípios que registraram ocorrências de desastres em 2023

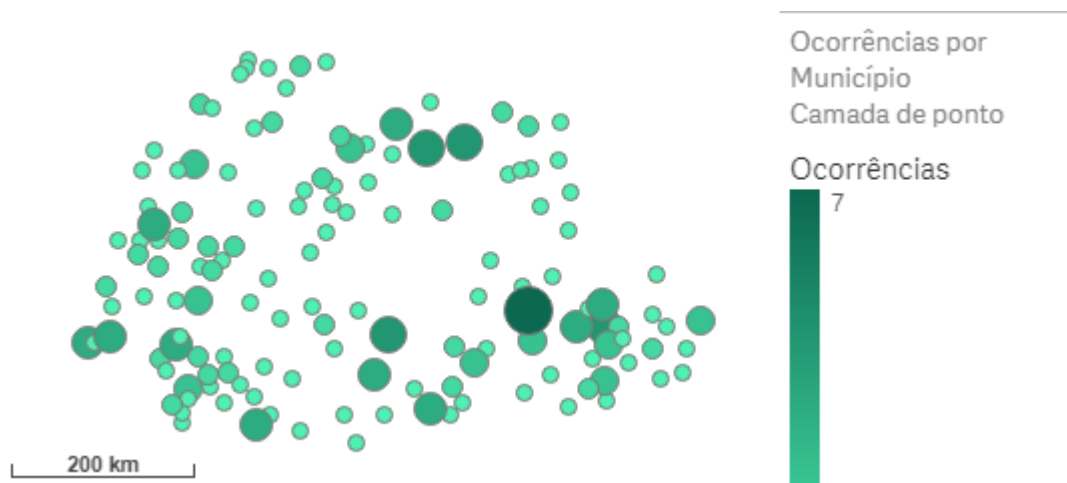


Fonte: Paraná (2023a)

O diferencial desta plataforma, se refere em disponibilizar publicamente a quantidade de afetados e outras informações como a quantidade de óbitos. O *site* informa o valor total de prejuízos, os decretos realizados e fornece o número de vítimas totais, que em 2023 foram 40.743 pessoas em atividades de vendavais. Segundo o site da Coordenadoria da Defesa Civil do Paraná (Paraná, 2023b), Ponta Grossa registrou durante o ano de 2023, sete ocorrências de vendavais seguido de duas ocorrências de alagamentos; e um registro para derramamento de produtos

químicos em ambiente lacustre, fluvial, marinho e aquíferos; deslizamentos e granizo. A figura 23 ilustra as ocorrências de vendavais em 2023.

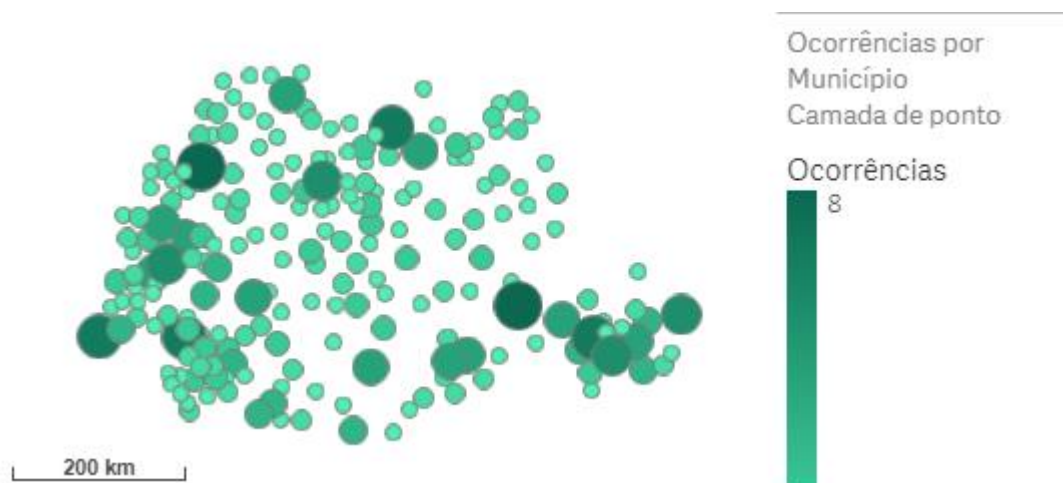
Figura 23 - Mapa de ocorrência de vendavais no estado do Paraná em 2023



Fonte: Paraná (2023b)

Durante o ano de 2024 o Paraná registrou 450 ocorrências de desastres, a Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Paraná, disponibiliza um mapa em que é possível verificar as regiões do estado com mais registros (Paraná, 2024a)

Figura 24 - Municípios que registraram ocorrências de desastres no estado do Paraná em 2024



Fonte: Paraná (2024a)

Em 2024 foram registradas mais ocorrências de Tempestade Convectiva – Vendaval no Oeste do Paraná (Figura 25), enquanto as áreas centrais do estado

foram as que menos registraram ocorrências atendidas pela Defesa Civil (Paraná, 2024b)

Figura 25 - Mapa de ocorrência de vendavais no estado do Paraná em 2024

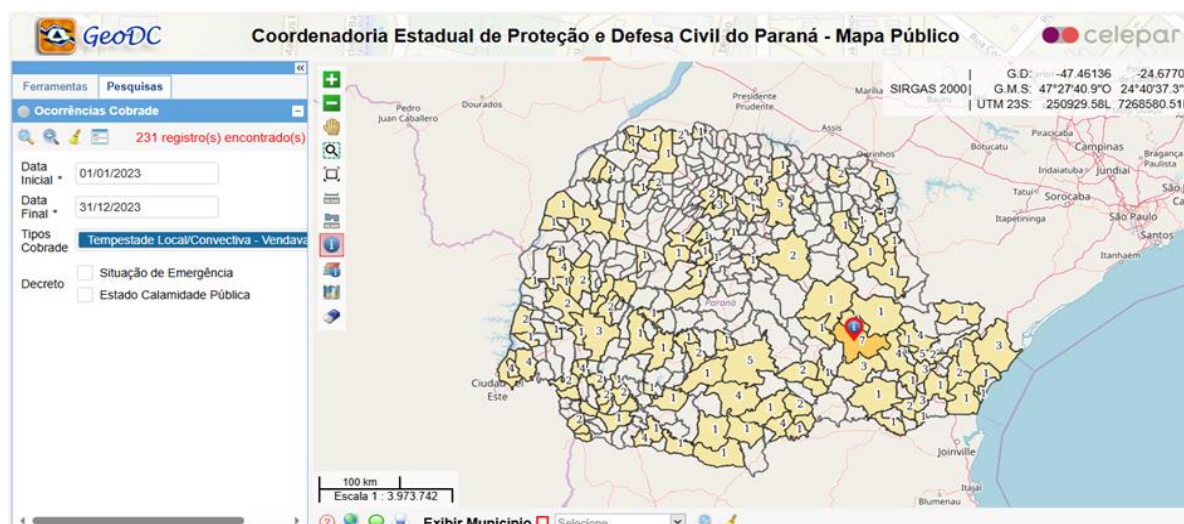


Fonte: Paraná (2024b)

A COBRADE não utiliza o termo *downburst*, microexplosão ou macroexplosão, neste sentido quando um evento destes ocorre ele é classificado como “Tempestade Local/Convectiva - Vendaval”. Esse termo, também é utilizado no mapa de ocorrências da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná (Paraná, 2023c; Paraná, 2024c) na plataforma GeoDC.

O mapa disponibilizado pela coordenadoria a seguir (Figura 26), contém os municípios e a quantidade de desastres registrados por tipo no período de 01/01/2023 a 31/12/2023. Para todo o estado, (Figura 26) o sistema indica que ocorreram ao todo 231 registros de vendavais que foram de conhecimento e disponibilizados na plataforma da defesa civil (Paraná, 2023c).

Figura 26 - Ocorrência de desastres de Vendavais no Paraná em 2023



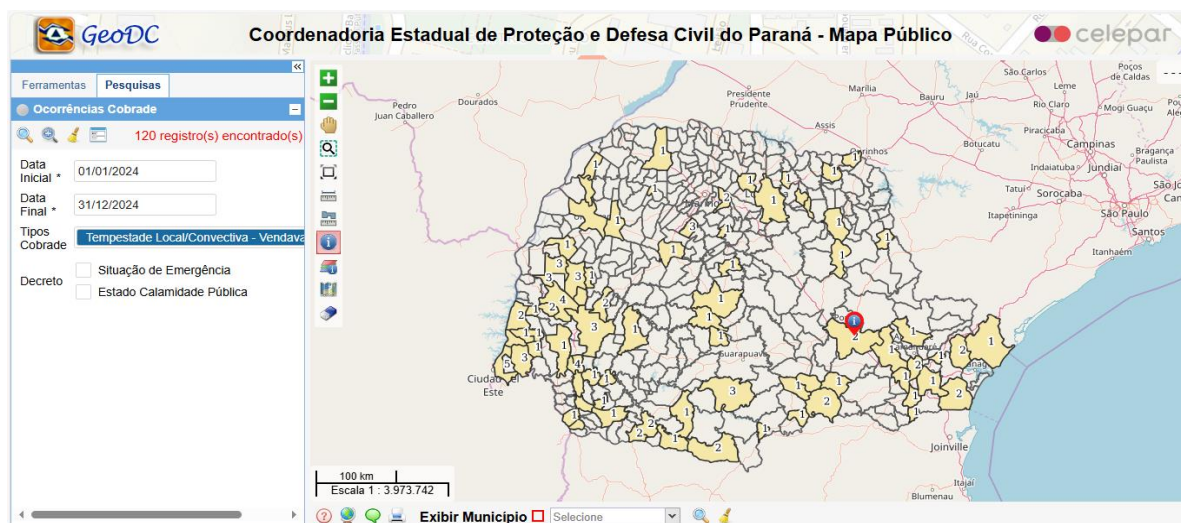
Fonte: Paraná (2023c)

Nota: O alfinete com a letra i, indica a localização de Ponta Grossa

No ano de 2024 foram registrados menos vendavais, sendo registradas 120 ocorrências. Na figura 27 a maioria dos municípios em que foram registrados vendavais, presenciaram um ou dois episódios de tempestade convectiva – vendaval (Paraná, 2024c)

Para o ano de 2024, Ponta Grossa seguiu a mesma tendência que os registros estaduais, com menos ocorrências, comparando com o ano de 2023, sendo registrados dois eventos de vendavais no município, conforme indica a imagem 23. Ambas foram classificadas como tempestade de vendavais pela Defesa Civil, e ocorreram no período da tarde.

Figura 27 - Ocorrência de desastres de Vendavais no Paraná em 2024 no estado do Paraná



Fonte: Paraná (2024c)

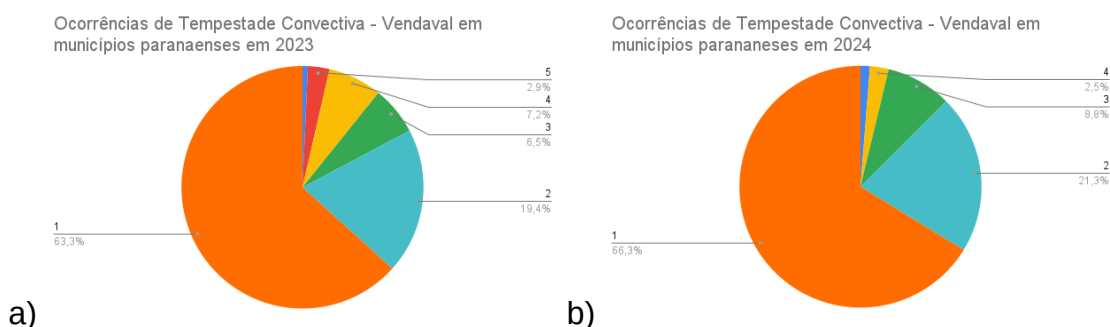
Nota: O alfinete com a letra i, indica a localização de Ponta Grossa

O município paranaense com maior número de ocorrências registradas no estado em 2023, conforme o mapa elaborado pela Defesa Civil (2025) é Ponta Grossa, enquanto em 2024 foi Foz do Iguaçu. A imagem abaixo contém gráficos, que indicam a porcentagem (de acordo com o número de municípios), respectiva ao número de registros sistematizados pela Defesa Civil.

A construção dos gráficos utilizou a plataforma da Defesa Civil, em que foram contabilizadas o número de municípios e seu total de ocorrências para os anos de 2023 e 2024. Os valores foram incluídos no *Google Planilhas*, e foram gerados dois gráficos para cada ano, indicando a quantidade de ocorrências de vendavais.

A imagem da figura 28a indica que 63,3% dos municípios com registros, obtiveram uma ocorrência, representando 88 municípios para o ano de 2023, e na imagem 28b, 66,3% dos municípios que tiveram registros, contabilizaram uma ocorrência. Segundo os dados da Defesa Civil (2025), Ponta Grossa registrou em 2023, sete ocorrências de vendavais, enquanto em 2024, foram registradas duas ocorrências.

Figura 28 – Porcentagem de municípios com ocorrências de Tempestade Convectiva – Vendaval, no Paraná, por quantidade de registros por ano, em 2023 e 2024 (somente municípios com registros)



Fonte: Paraná (2023a; 2024a; 2023c; 2024c), adaptado por autor (2025)

Nota: Devido à escala de representação da camada azul escura na Figura 28, os valores percentuais são detalhados a seguir: em 2023, 7 ocorrências corresponderam a 0,7% dos municípios (Figura 28a), enquanto em 2024, 5 ocorrências representaram 1,3% do total (Figura 28b).

Diversos municípios não registraram ocorrências, no entanto, não significa que não houve pessoas atingidas. As pessoas atingidas podem ter preferido não acionar a Defesa Civil, principalmente na área rural, em que a população resolve suas emergências de forma individual com auxílio de vizinhos.

O município de Ponta Grossa registrou durante o ano de 2023 (Figura 29), 7 ocorrências caracterizadas como Tempestade Conectiva do tipo vendaval. Os eventos aconteceram principalmente na estação do verão (as ocorrências em dezembro, janeiro e março), seguido da primavera (registrando em outubro e novembro). No inverno e no outono são menos comuns, sendo que no outono não houve registro.

Figura 29 - Relatório de ocorrências de vendavais em Ponta Grossa em 2023

Ocorrências Cobrade (Ponta Grossa)				
Código	Data	Hora	Ocorrência	Situação Decreto
13215	18/01/2023	4:15:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	09/03/2023	4:00:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	12/07/2023	10:00:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	04/09/2023	4:00:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	12/10/2023	4:30:00 AM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	18/11/2023	6:30:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	23/12/2023	10:00:00 AM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve

Fonte: Paraná (2023c)

Para o ano de 2024, o município de Ponta Grossa registrou duas ocorrências de vendavais. As duas tempestades ocorreram, uma no outono e outra na primavera (Figura 30).

Em ambos os eventos registrados de desastre associado a vendaval, em 2023 e 2024, houve a decretação de estado de emergência ou calamidade pública (Figuras 29 e 30).

Figura 30 - Relatório de ocorrências de vendavais em Ponta Grossa em 2024

Relatório de Ocorrências				
Código	Data	Hora	Ocorrência	Situação Decreto
13215	21/03/2024	2:00:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve
13215	28/11/2024	12:30:00 PM	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	Não Houve

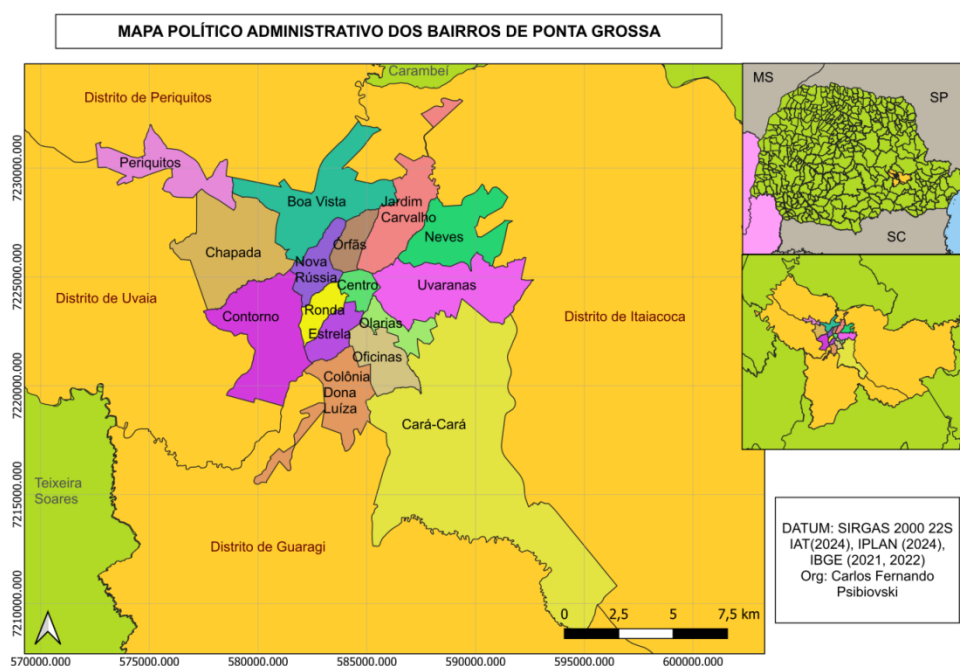
Fonte: Paraná (2024c)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DE *DOWNBURSTS* EM PONTA GROSSA

Para verificar se Ponta Grossa teve atuação de *downburst*, o presente trabalho buscou dados e informações a respeito das atuações que foram consideradas desastre por vendavais pela Defesa Civil no ano de 2023 e 2024. Após, procedeu-se a aplicação da metodologia de Fujita (1978) e de Fujita (1985), como explicitado na fundamentação teórica, para a construção de mapas de áreas afetadas com a disposição de danos das rajadas. A seguir, foram detalhadas as coordenadas próximas dos locais que sofreram avarias, a fim de espacializar os danos com o intuito de buscar indícios que possibilitem inferir se a situação ocorrida se trata de um vendaval, tornado ou *downburst*. Para cada ocorrência buscaram-se os dados da situação do tempo local a fim de averiguar a presença de células com potencial de geração de tempo severo.

Os episódios registrados ocorreram na área urbana, ilustrada no mapa abaixo (Figura 31), o qual representa os bairros da cidade coloridos, enquanto os distritos na área rural possuem a mesma cor.

Figura 31 - Mapa político-administrativo do município de Ponta Grossa/Paraná



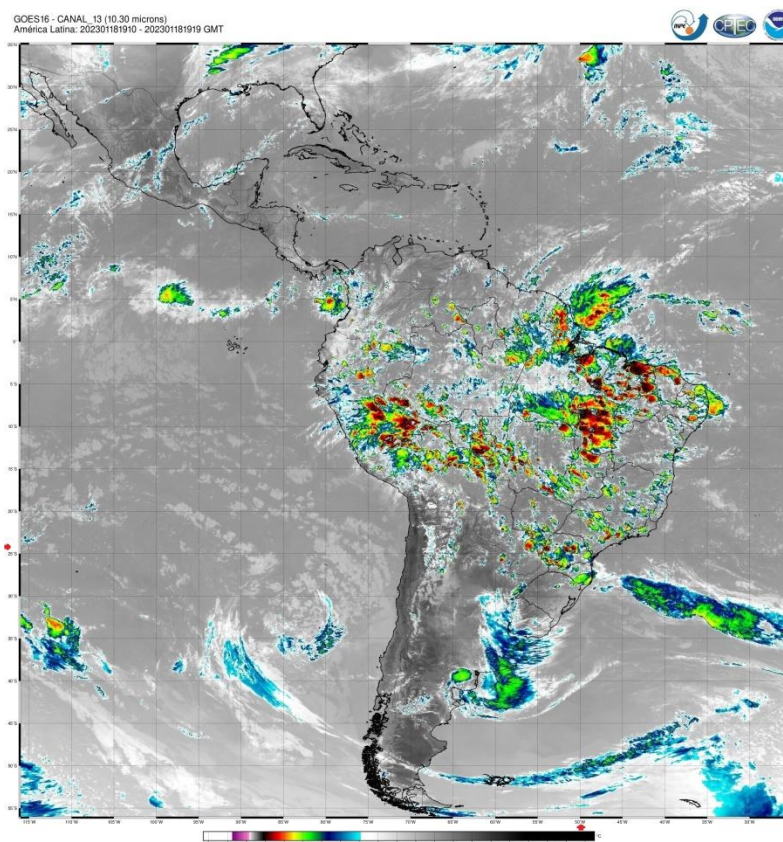
Fonte: O autor (2025)

4.2.1 Ocorrência do dia 18 de Janeiro de 2023

De acordo com o mapa disponibilizado pela Defesa Civil, na plataforma GeoDC, o município de Ponta Grossa registrou 01 ocorrência de Tempestade Local Convectiva – Vendaval, que ocorreu na data de 18 de janeiro de 2023, não registrando decreto de situação de emergência ou calamidade pública.

A tempestade ocorreu à tarde, com muita nebulosidade na região dos Campos Gerais, onde está localizada Ponta Grossa. Havia uma elevada distribuição de nuvens, mostrado na imagem de satélite (Figura 32). Distribuída em todo o Estado do Paraná. Representado, na imagem pela cor vermelha (Figura 32).

Figura 32 - Imagem de satélite GOES-16 (canal 13) para a América Latina, em 18 de janeiro de 2023



Fonte: adaptada de: CPETEC/INPE (2023)

A imagem de radar do SIMEPAR (2023) ilustra como estava a atmosfera aproximadamente duas horas antes da ocorrência. Não havia nuvens propensas a tempestades severas para Ponta Grossa, mas elevada nebulosidade na região oeste

do estado do Paraná e no Paraguai, onde algumas células com propensão a tempestade severa estavam atuantes (Figura 33).

Figura 33 – Imagem de Radar meteorológico em 18/01/2023 no Paraná



Fonte: SIMEPAR (2023)

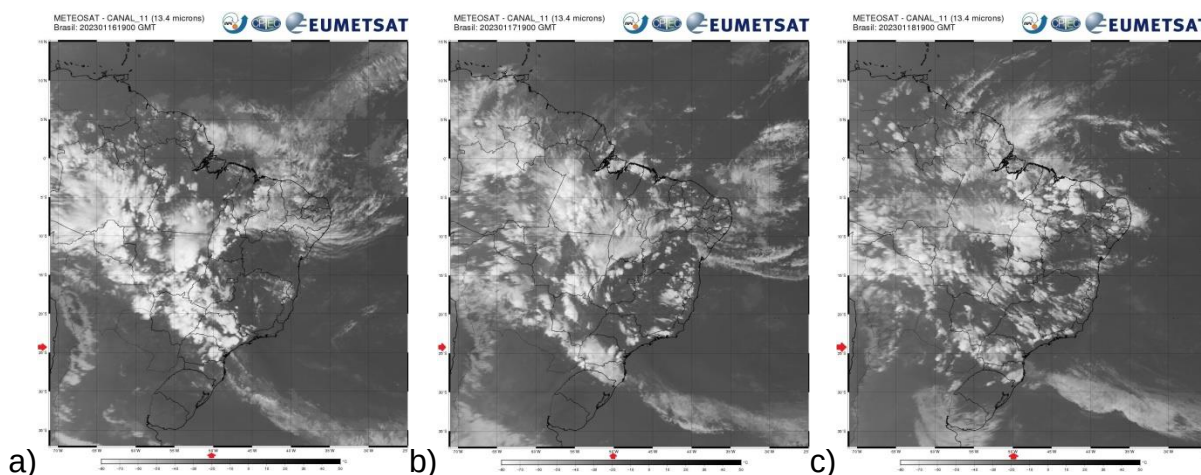
As imagens de satélite Meteosat 9, disponibilizadas no *site* do CPTEC/INPE, indicam a presença de duas massas de ar preponderantes. A massa de ar predominante em maior parte do Brasil, e atuante no estado do Paraná, a Massa Equatorial Continental (mEc) interpretada na imagem de satélite e na carta sinótica. Havia uma gradual evolução de nebulosidade na região dos Campos Gerais, perceptível na imagem das 21 horas GMT (Figura 34).

Segundo Borsato e Massoquim (2020b) a mEc é caracterizada pelo aquecimento na região da Amazônia, desse modo gera elevada temperatura e umidade, propiciando precipitação com frequência. Os autores explicitam que essa massa de ar é de fácil reconhecimento em imagens de satélite, tanto no visível e no infravermelho dado a elevada nebulosidade que a mesma proporciona.

As imagens de satélite abaixo indicam as condições de 48 horas (Figura 34a), 24 horas (Figura 34b) e no momento da ocorrência (Figura 34c). Nas imagens de satélite e das cartas da Marinha Brasileira a localização de Ponta Grossa está indicada nas imagens, inserida setas pelo autor, que indicam a interseção entre as

coordenadas geográficas do município localizadas entre -25°S -50°W . Nas imagens provenientes do *Earth Nullschool*, um círculo foi inserido na localização da cidade.

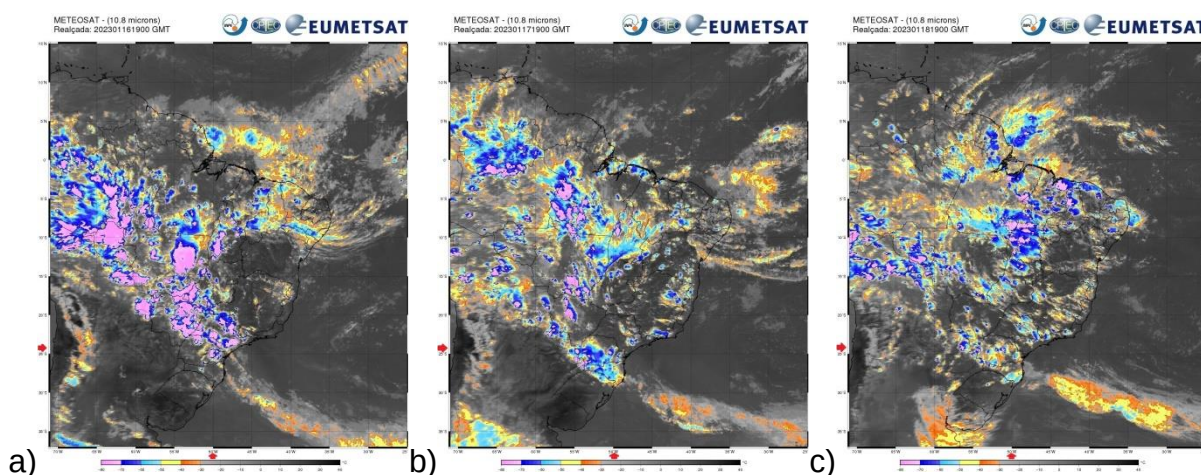
Figura 34 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 16 a 18 de janeiro de 2023 no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

A imagem 35 indica aglomerados de nuvens com topo de temperatura baixa desde o dia 16 de janeiro, sendo o dia que registrou nuvens com temperaturas menores que -70°C ; nos dias seguintes a instabilidade diminuiu, e no dia 18 de janeiro não foi registrado nuvens com potencial para tempestades. A Região Norte e Centro Sul do País apresentavam durante os três dias elevada instabilidade atmosférica.

Figura 35 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 16 a 18 de janeiro de 2023 no Brasil

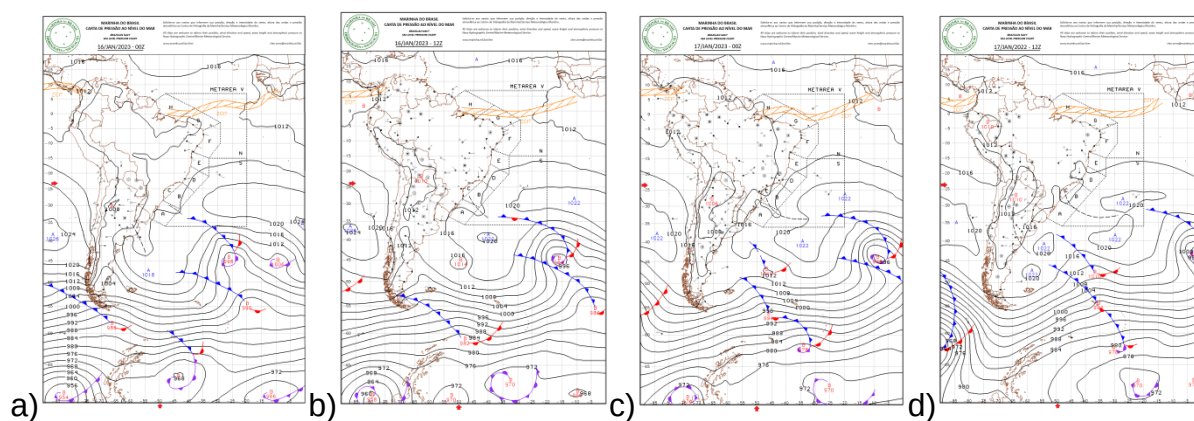


Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

As cartas da marinha brasileira de dias anteriores ao evento registram poucas mudanças na atmosfera. Algumas alterações que indicam no dia 17 de janeiro de 2023 são o início do avanço do anticiclone, gerando uma área de alta pressão no oceano e influenciando as condições climáticas da região. Também, a presença da massa Equatorial continental dominava o tempo no Centro-Sul do País.

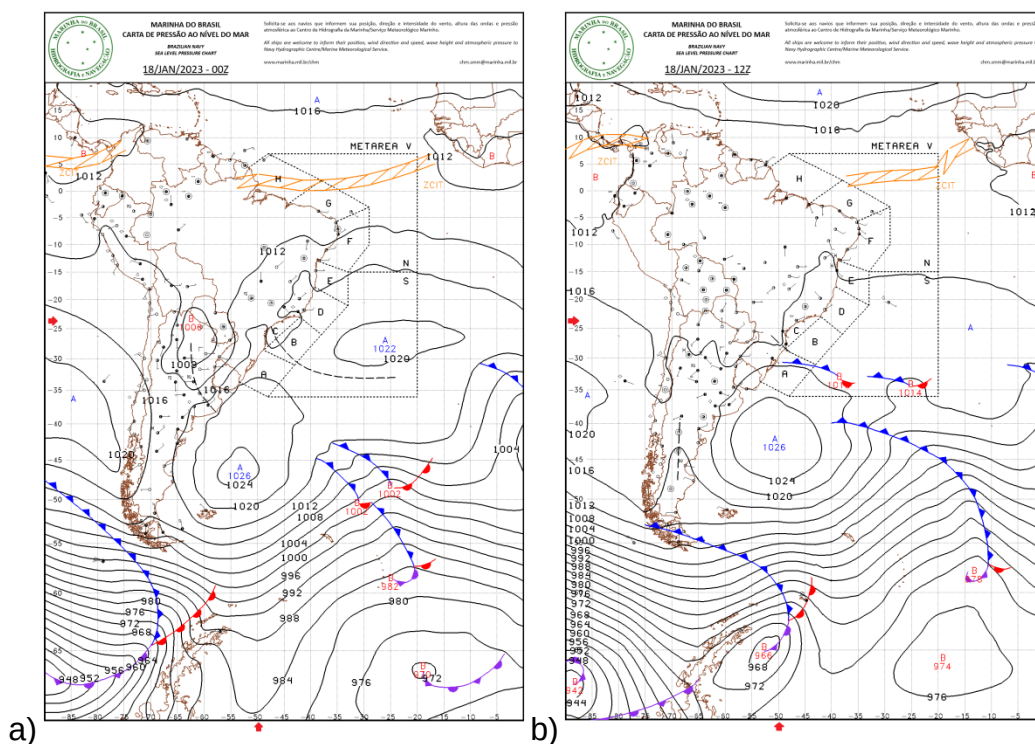
No dia 18 de janeiro, havia a presença de uma baixa pressão na região do Grande Chaco (com 1006 hPa). Como havia a presença da alta pressão no oceano (1026 hPa), propiciou um contraste de pressão de 20 hPa de diferença, ideal para gerar ventos intensos e maior umidade, conforme figura 37a.

Figura 36 – Cartas sinóticas da América do Sul no dia 16/01/2023 às 00Z (a) e 12Z (b) e 17/01/2023 às 00Z e 12Z



Fonte: Marinha do Brasil (2023)

Figura 37 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 18/01/2023 às 00Z (a) e 12Z (b)



Fonte: Marinha do Brasil (2024)

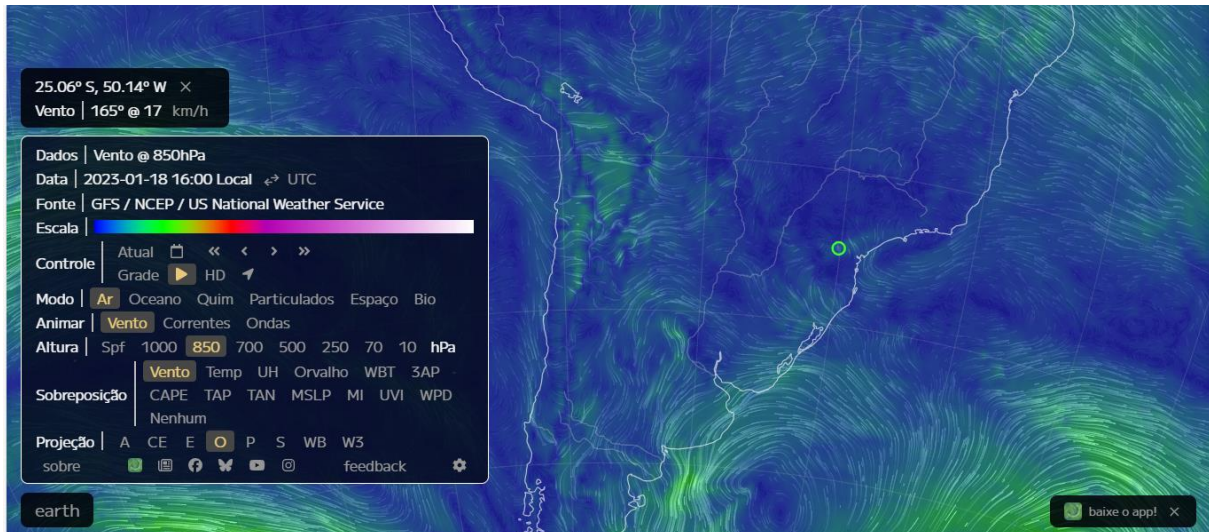
Na figura 37 observa-se um avanço da frente fria no oceano e uma nova frente (frontogêneses) se configura a partir da baixa pressão que se encontra no Grande Chaco. Em um período de 12 horas de diferença (entre as 21:00 horas do dia 17 de janeiro e 09:00 horas do dia 18 de janeiro). No litoral brasileiro um cavado estava sobre o Oceano Atlântico, enquanto outro estava sobre a Argentina conectando a zona de baixa pressão no Chaco com uma área de alta pressão no oceano. Essa ligação se configura numa frontogêneses.

Para o verão de 2022-2023 o Boletim Climático do SIMEPAR (2024) indicava a ocorrência de grandes acumulados de chuvas e de ocorrência de tempestades, devido à presença dos complexos convectivos que colaboram para a ocorrência de chuvas mais frequentes e intensas.

Marengo e Soares (2002) explicita que os Jatos de Baixos Níveis proporciona o transporte de umidade da região amazônica para áreas de países vizinhos próximos a Região Sul do Brasil, que também é envolvida.

Na figura 38, os Jatos de baixos níveis pouco influenciavam a atmosfera, sobretudo no município de Ponta Grossa e Campos Gerais, advindos do Oceano Atlântico Sul.

Figura 38 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de janeiro de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Na figura 39 retirada do *site Earth Nullschool* verifica-se o índice CAPE. Sobre algumas áreas da América do Sul, havia a presença de nebulosidade em extensa área do Brasil, como na Região Sul do país. O índice classifica o potencial para tempestades, seguindo como referência o quadro 3, de acordo com o NWS (2025a).

Quadro 3 - Potencial convectivo de índice CAPE

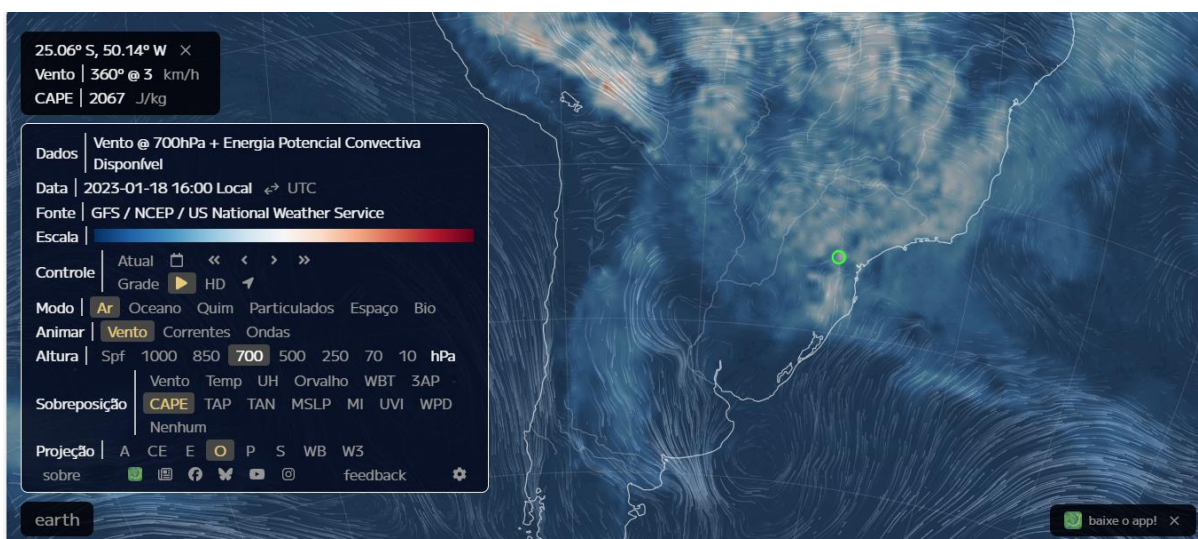
CAPE abaixo de 0:	Estável
CAPE = 0 para 1000:	Marginalmente instável
CAPE = 1000 a 2500:	Moderadamente instável
CAPE = 2500 a 3500:	Muito instável
CAPE = Acima de 3500-4000:	Extremamente instável

Fonte: NWS (2025a), tradução própria.

O município de Ponta Grossa tinha energia potencial CAPE moderadamente instável sobre seu território, com valores maiores que 2100 J/kg, podendo variar de

acordo com a localização, conseguindo atingir valores considerados como muito instável. Durante o momento, as áreas situadas a leste estavam com índices CAPE mais elevado, comparado à área oeste (principalmente na área urbana).

Figura 39 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de janeiro de 2023



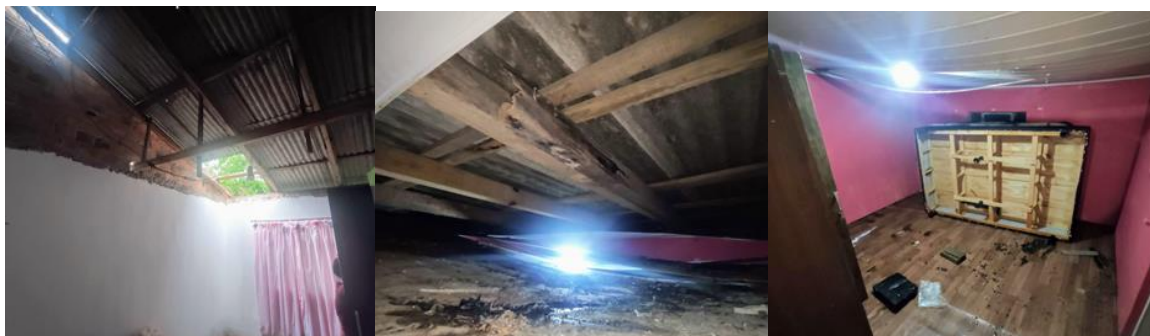
Fonte: Earth Nullschool (2023)

Análise de danos

O índice CAPE elevado conforme a figura 38 indica ambiente potencial para *downburst*. No entanto, ao analisar os danos registrados no dia 18 de janeiro de 2023 não foi possível afirmar que a atividade se trata de um *downburst*. A principal razão se deve às poucas telhas que foram arrancadas pelo vento, cujos danos ocorreram principalmente pela frágil infraestrutura dos telhados e a falta de manutenção. Estas condições são favoráveis para um fácil destelhamento na ocorrência de vendavais. A maioria dos pontos atingidos foi em edificações residenciais bastante vulneráveis.

Algumas casas não possuíam forro ou apresentavam-se antigos e em mau estado de conservação. Na figura 40, é possível observar que o excesso de água de chuva acumulada sobre o forro propiciou seu desabamento.

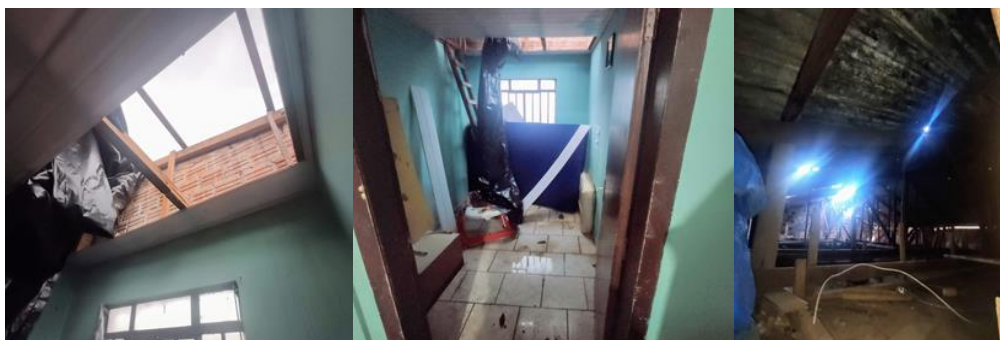
Figura 40 - Danos registrados em 18 de janeiro de 2023, Ponta Grossa/PR (1)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

A maioria dos pontos afetados estão relacionados às características mencionadas anteriormente, como a fraca infraestrutura dos telhados (Figura 41), não sendo capazes de realizar uma confirmação de episódio de *downburst*, mas de possivelmente um vendaval e elevada precipitação.

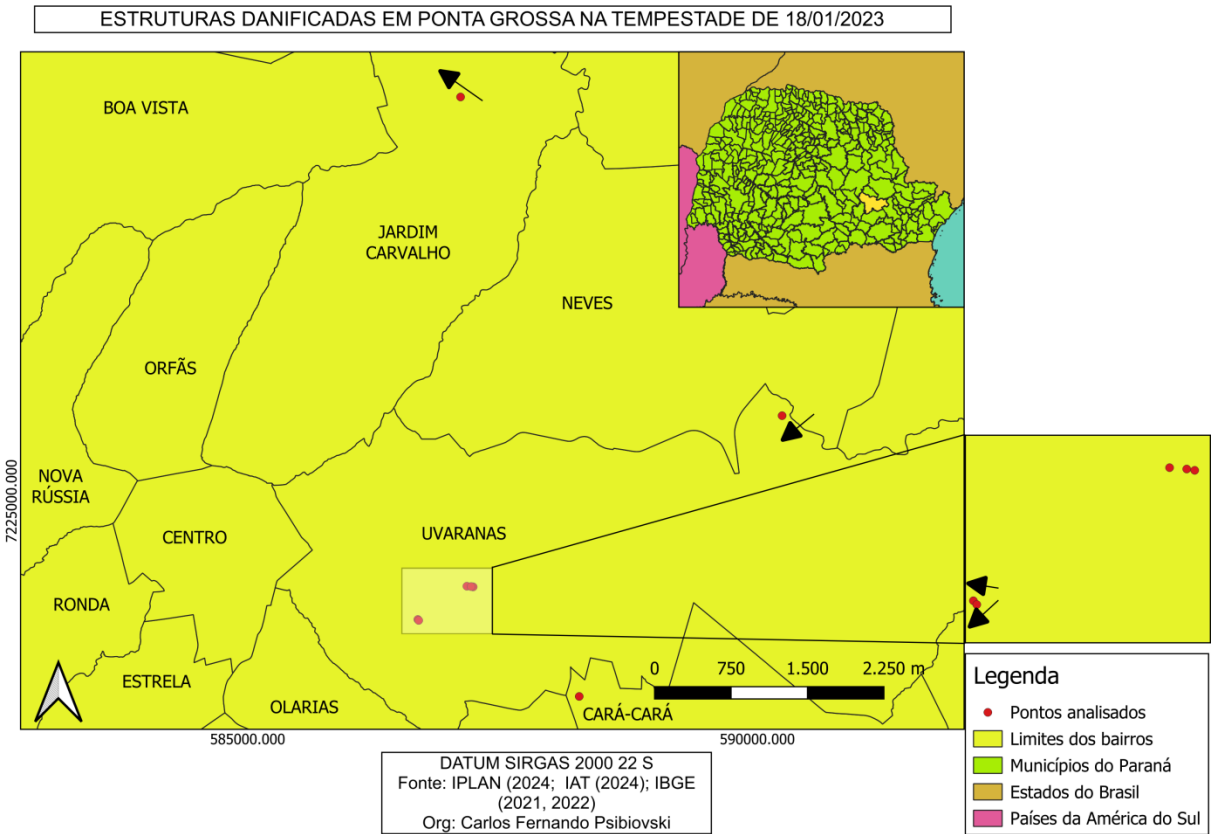
Figura 41 - Danos registrados em 18 de janeiro de 2023, Ponta Grossa/PR (2)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

A figura 42 está representando as estruturas que foram danificadas, em um mapa da área urbana de Ponta Grossa. Observa-se que as ocorrências se concentraram ao leste da cidade, principalmente no bairro de Uvaranas. Os pontos mais distantes estavam cerca de 6 km de distância.

Figura 42 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa no dia 18 de janeiro de 2023



Fonte: O autor (2025)

O quadro 4 (e os subsequentes) contém descrições dos locais atingidos pela tempestade registrada em 18 de janeiro de 2023, com informações disponibilizadas pela Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa. Foi verificado pontos atingidos, e inserido nos quadros os bairros atingidos, também foi observado a direção da disposição dos danos utilizando as fotografias fornecidas pela Defesa Civil e mídias digitais.

Nas coordenadas geográficas dos pontos afetados, foram retirados dos quadros o último dígito de cada coordenada S e W, com o intuito de preservar a privacidade dos endereços (propriedades particulares) afetados. Os valores foram substituídos com o símbolo de asterisco (*), indicados nos quadros abaixo, desse modo não indicará a localização exata da ocorrência, mas uma área circundante. Para a confecção dos mapas dos pontos afetados, foram utilizadas as coordenadas geográficas completas.

Quadro 4 - Informações de danos acarretados pelo vendaval em Ponta Grossa em 18 de janeiro de 2023

Endereço	Destruição / direção	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro / disposição dos danos
Rua Manoel Marquês	Destelhamento / leste para oeste	Defesa Civil	25°05'55.*"S 50°08'25.*"W	Uvaranas
Rua Manoel Marquês	Destelhamento / nordeste para sudoeste	Defesa Civil	25°05'55.*"S 50°08'25.*"W	Uvaranas
Rua Tenente Nicoluzzi	Destelhamento / queda do forro	Defesa Civil	25°05'44.*"S 50°08'08.*"W	Uvaranas
Rua Tapuias	Destelhamento / nordeste para sudoeste	Defesa civil	25°04'49.*"S 50°06'18.*"W	Uvaranas
Rua Pedro Elesbão Gonçalves	Pressão da água sobre o forro	Defesa Civil	25°05'45.*"S 50°08'06.*"W	Uvaranas
Rua Pedro Elesbão Gonçalves	Danos no telhado / sem disposição	Defesa Civil	25°05'45.*"S 50°08'07.*"W	Uvaranas
Rua Rissa	Danos no telhado / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°03'09.*"S 50°08'11.*"W	Jardim Carvalho
Rua Dr. José	Destelhamento	Defesa Civil	25°06'19.*"S	Uvaranas

Macedo de Loiola	/ sem disposição		50°07'28.*"W	
---------------------	---------------------	--	--------------	--

Fonte: O autor (2025)

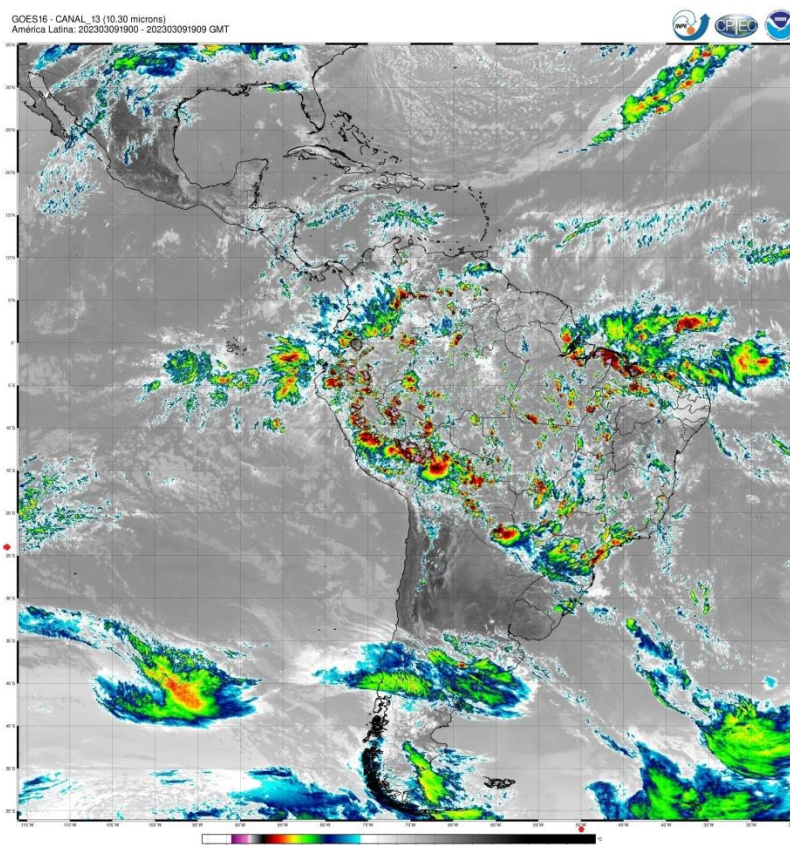
Não houve reportagens sobre os danos resultantes da tempestade ocorrida nessa data (18 jan. 2023). Desse modo, foi analisada somente as imagens e descrições presentes nos termos de vistoria fornecidos pela Defesa Civil Municipal. Alguns pontos registraram vestígios sem disposição de danos, impossibilitando definir uma direção das rajadas de ventos. Por conseguinte, não foram inseridas as setas no mapa (imagem 42), pois os danos em sua maioria resultantes da ação do vento, não apresentaram uma orientação de percurso definida.

4.2.2 Ocorrência do dia 09 de março de 2023

Na figura 43, elevada quantidade de nuvens estavam sobre o território paranaense, todavia, somente em alguns pontos isolados havia nuvens propensas a tempestades, representadas por cores vermelhas. Estavam concentradas principalmente no Litoral e em uma pequena área dos Campos Gerais, em Ponta Grossa.

Houve registro da tempestade na cidade no período vespertino, de acordo com a Defesa Civil. Os estados vizinhos, como no sul de São Paulo e alguns pontos dispersos de Mato Grosso do Sul estavam propensas a eventos severos, como também no Paraguai em sua área central.

Figura 43 - Imagem de Satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 09 de março de 2023



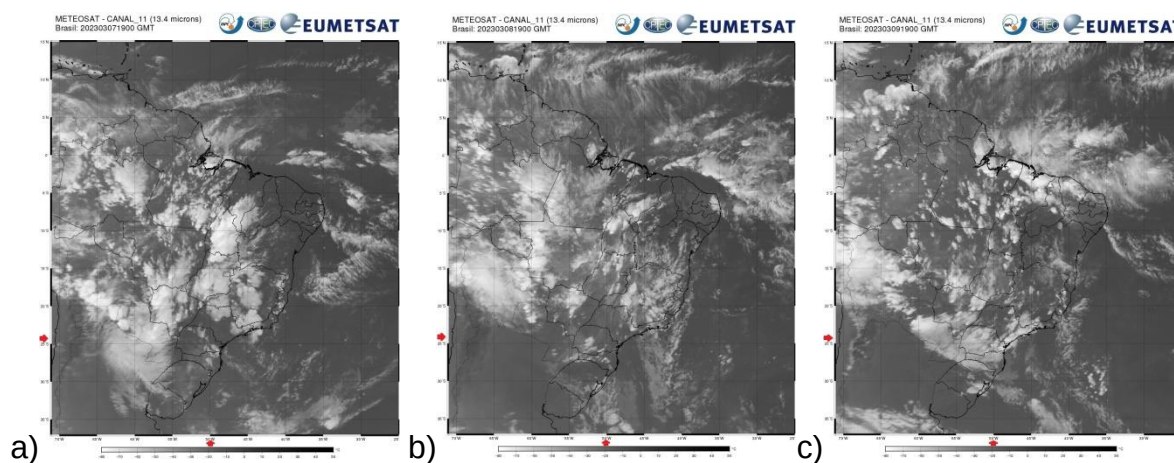
Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2023)

As imagens de satélite Meteosat 9 (canal 10), pertencente ao EUMETSAT indicam uma constante evolução de nebulosidades do dia 07/03/2023 ao dia 09/03/2023 (Figura 44). No dia 07 de março, a região leste do estado possuía maior cobertura de nuvens, no dia seguinte esta avançou para o oeste do estado, perdendo sua força na extremidade leste. A Região Sul do Brasil estava predominantemente sob influência da massa Tropical continental (mTc), que de maneira constante estava se enfraquecendo.

No dia do evento (09/03/23), a nebulosidade proveniente da massa Equatorial continental (mEc) estava atuante em todo o estado, evoluída das últimas horas e influenciando toda a região. Esse sistema seguiu para o nordeste/leste do estado, desse modo no dia do evento havia elevada nebulosidade e baixa pressão atuante, excelente para o desenvolvimento de supercélulas.

Borsato e Massoquim (2020b) certificam que a massa Equatorial continental frequentemente domina as regiões Sudeste e Sul durante o verão, devido ao corredor natural que propicia umidade nessas regiões.

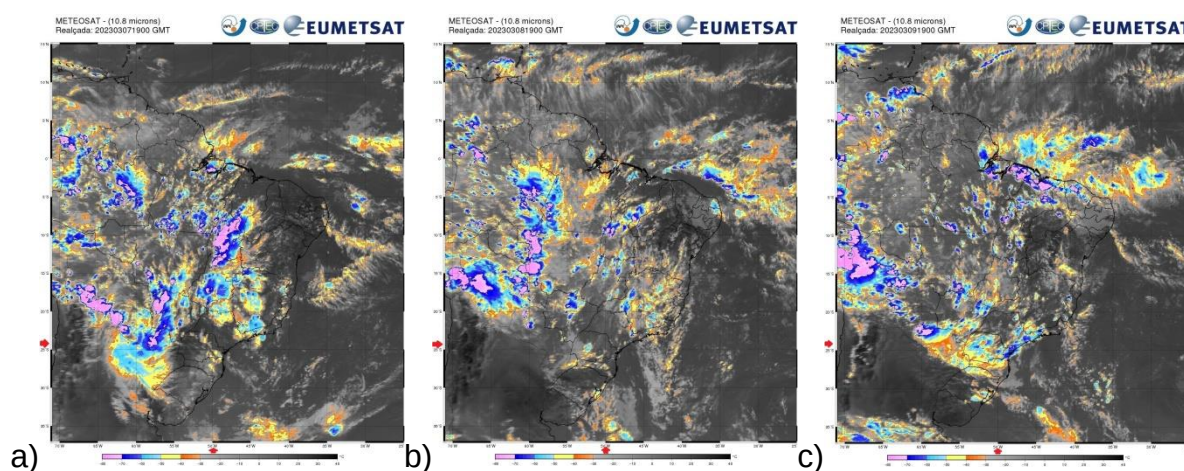
Figura 44 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 07 a 09 de março de 2023
no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

Na figura 45, as imagens de satélite não indicam presença de nuvens propensas a eventos severos no Paraná, principalmente para a região dos Campos Gerais. No dia 09 de março a nebulosidade aumentou, mas não gerou nuvens com potencial severo e a umidade presente na Região Sul estava se deslocando em direção ao oceano.

Figura 45 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 07 a 09 de março de 2023
no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

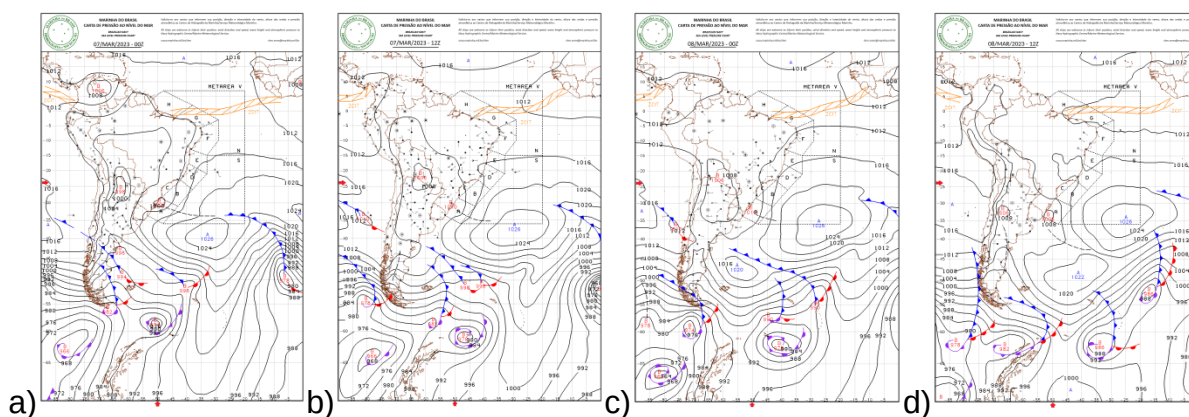
No dia 07 de março de 2023, às 00Z a zona de baixa pressão localizada no Chaco (Paraguai) e no Rio Grande do Sul se conecta através de um cavado com a zona de alta pressão localizada no oceano atlântico.

No dia seguinte (08/03/23 às 12Z), o cavado que estava sob o litoral do Rio Grande do Sul se deslocou do Uruguai, se distanciando do continente, também as zonas de baixa pressão se moveram para o sul, com uma delas estando sobre o norte da Argentina e a outra no litoral do Rio Grande do Sul. No dia 09 de março de 2023 o avanço da frente fria e a atuação da baixa pressão no oceano intensificam a instabilidade na Região Sul. No dia 08 de março, um cavado interligava zonas de baixa pressão com de alta pressão, situadas no oceano.

A Figura 47 mostra o início de uma frente fria (frontogêneses) a qual se conecta a baixa pressão no oceano e avança pelo Uruguai e Região Sul do Brasil, mas que horas depois perde força. A direção dos ventos diferencia em poucas horas na Região Sul do País, predominando principalmente de noroeste para sudeste, já que antes seguiam de nordeste para sudoeste, em direção do interior do estado.

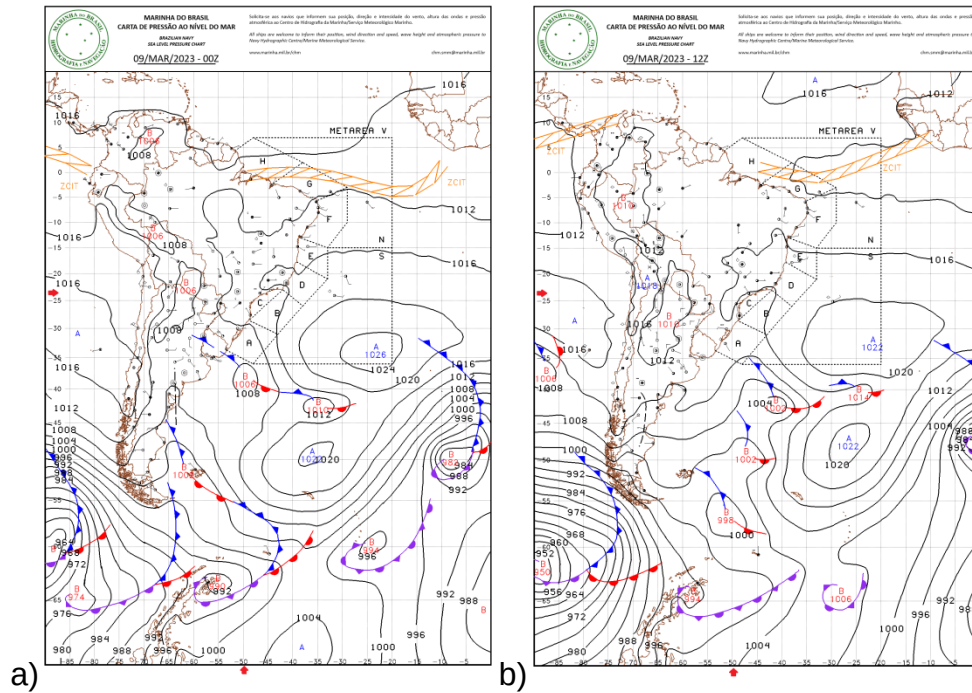
Na figura 48, apresenta instabilidades provenientes de regiões centrais do Brasil, que colaboravam em suaves sistemas de instabilidades em algumas regiões do Paraná, principalmente no Leste do estado.

Figura 46 - Cartas de sinóticas da América do Sul no dia 07/03/2023 às 00Z e 12Z e no dia 08/03/2023 às 00Z e 12Z



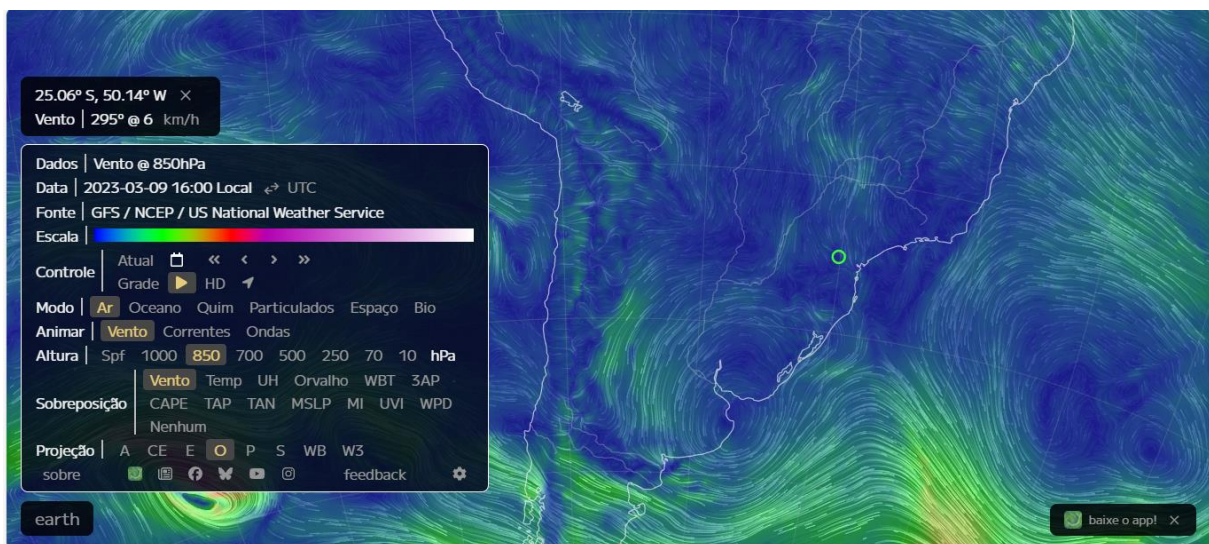
Fonte: adaptada de: Marinha Brasileira (2023)

Figura 47 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 09/03/2023 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

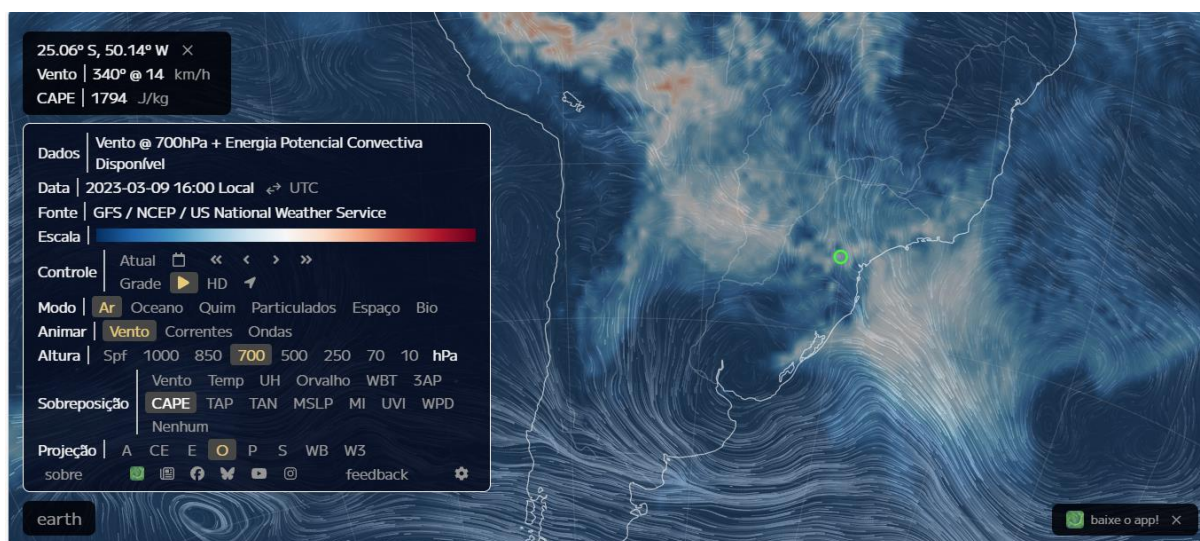
Figura 48 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 09 de março de 2023



Fonte: Earth Nullschool (2023)

Na figura 49, pode-se observar a presença de nuvens na região de Ponta Grossa, geradoras de índices CAPE que variavam em valores próximos de 1770 J/Kg (moderadamente instável) no nível de pressão de 700 hPa. No entanto, em outras regiões da América do Sul, principalmente nas áreas centrais, a instabilidade atmosférica era maior e com possibilidade de registros mais evidentes.

Figura 49 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 09 de março de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Análise de danos

Os danos ocorridos em 09 de março de 2023 em Ponta Grossa consistiram em destelhamentos de sete residências, e prejuízos a outras duas. A maioria dessas casas estão localizadas em uma região socioeconomicamente vulnerável, com condições de construção pouco resistentes a desastres ou sem manutenção, com telhas de fibrocimento antigas (Figuras 50 e 51). Houve o registro de perfurações de telhas de fibrocimento por granizo e o destelhamento de metade do telhado de uma casa, com seus vestígios quebrados pela ação do vento. No entanto, a fotografia é de um dia posterior do evento, havendo a possibilidade de as telhas de fibrocimento terem sido movidas de local.

Figura 50 - Danos registrados em 09 de março de 2023, Ponta Grossa/PR (1)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

Figura 51 - Danos registrados em 09 de março de 2023, Ponta Grossa/PR (2)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

A maioria dos danos ocorreram em residências e infraestruturas vulneráveis, que não possuíam a resistência necessária para suportar ventos de uma tempestade, ou seja, os danos decorreram principalmente em razão das condições estruturais das casas. Não foram registrados montante dos danos e características suficientes para determinar a existência de tempestade severa (principalmente de *downbursts*). Granizo foi registrado em somente um local, predominando danos provocados por destelhamentos. Na maioria dos pontos não foi possível verificar a disposição dos danos.

A identificação das coordenadas geográficas dos locais com danos registrados pela tempestade de 9 de março de 2025 não foi possível (Quadro 5), devido à indisponibilidade de imagens das ruas afetadas no *Google Street View*. Por esse motivo, não foi possível elaborar um mapa para espacializar os locais atingidos.

Quadro 5 - Informações de danos acarretados pelo vendaval em Ponta Grossa em 09 de março de 2023

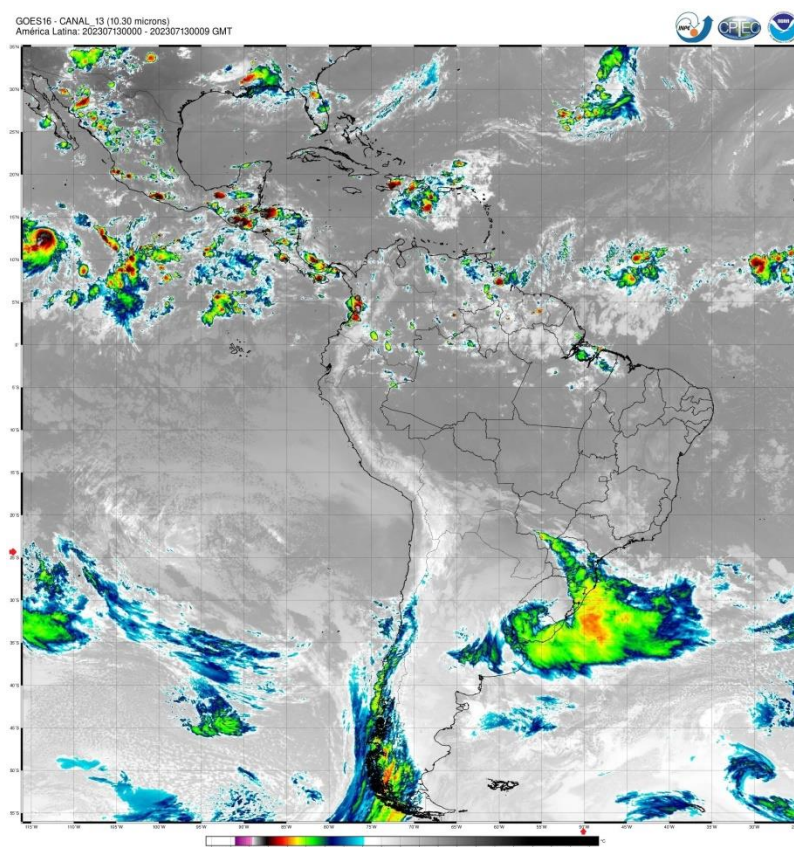
Endereço	Destruição	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro
Rua Gralha Azul	Quebra de telha	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Clóvis Sampaio Vargas	Destelhamento s / sul para norte	Defesa Civil	25°08'25.*"S 50°09'35.*"W	Colônia Dona Luíza
Rua Pedro Domingues	Granizo	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Esmeralda Verde	Destelhamento s	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Pedro Domingues	Destelhamento s	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Pedro Domingues	Destelhamento s	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Pedro Domingues	Queda do forro	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Esmeralda Verde	Danos no telhado	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza
Rua Esmeralda Verde	Destelhamento s	Defesa Civil	-	Colônia Dona Luíza

Fonte: O autor (2025)

4.2.3 Ocorrência do dia 12 de julho de 2023

As imagens de satélite captaram nebulosidades ao redor de muitas regiões do Paraná, sem potencial de tempestade para o momento. No entanto, em Ponta Grossa no horário registrado (09 Z) não foi possível observar nebulosidade potencial para desencadear tempestades. Enquanto, a nível nacional, no Brasil Central nenhum indício de precipitação era registrado, no horário (Figura 52). No entanto, no Sul do Brasil avançava um sistema frontal.

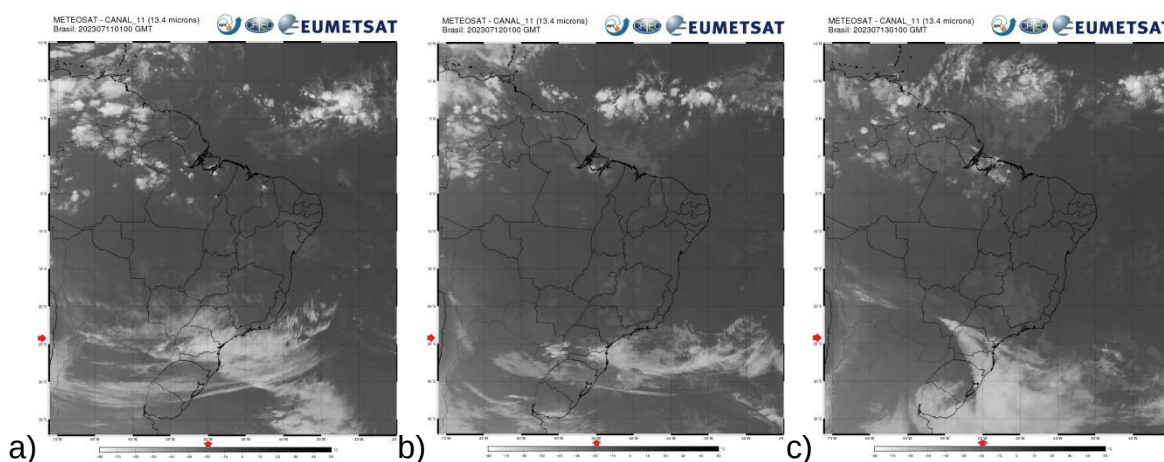
Figura 52 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 12 de julho de 2023



Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2023)

Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11) indicam o desenvolvimento das nuvens, de acordo com o avanço do sistema frontal (Figura 53). Do dia 11/07/2023 à 13/07/2023 em horário zulu indicam as mudanças na atmosfera, representadas na imagem das Figuras 53a, 53b, e 53c.

Figura 53 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 10 a 12 de julho de 2023 no Brasil

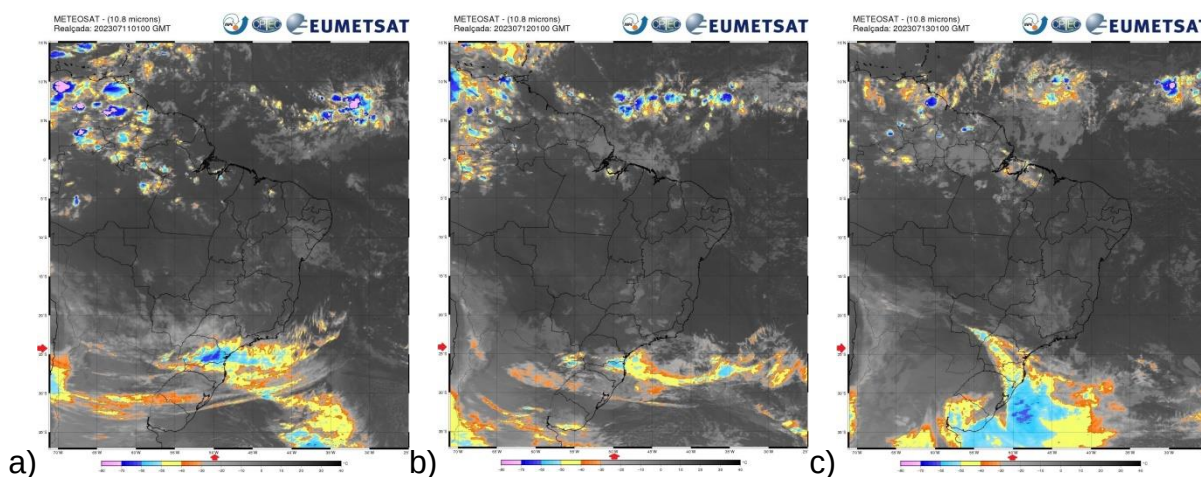


Fonte: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

A Região Sul do Brasil apresentava maior nebulosidade (Figura 54), com a imagem registrando o deslocamento da nebulosidade para o oceano, onde estava localizado o ciclone, com atuação de ciclogêneses. No dia 12 de julho a umidade voltou a prevalecer na região, mas com as mesmas condições meteorológicas prevalecentes em horas anteriores, pela ação do ciclone.

Ciclogênese é caracterizada por ser o processo inicial da formação de um ciclone (Reboita, Crespo e Gozzo, 2023), e podem ser facilmente visualizadas em materiais cartográficos, como as cartas da Marinha Brasileira.

Figura 54 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 10 a 12 de julho de 2023 no Brasil



Fonte: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

Uma massa polar se movimentou até o estado do Paraná e se conectava com um cavado (Dia 11/07, 01Z), enquanto no dia seguinte, esse sistema se encaminhou para o oceano atlântico. No horário da ocorrência, dia 12 de julho, a Região Sul do Brasil recebeu um sistema frontal, capaz de provocar chuvas, e com rápido desenvolvimento.

Imagem de radar do dia 12/07/2023, quarenta minutos depois da tempestade revela que de maneira recente, uma linha de instabilidade (*squall line*) tinha cruzado o município de Ponta Grossa (Figura 55). O potencial para tempo extremo foi moderado (mas enfraquecido), pois em Curitiba, apesar de também serem nuvens com potencial moderado, apresentava maior probabilidade para tempestades.

Figura 55 - Radar meteorológico do
dia 12/07/2023 no Paraná



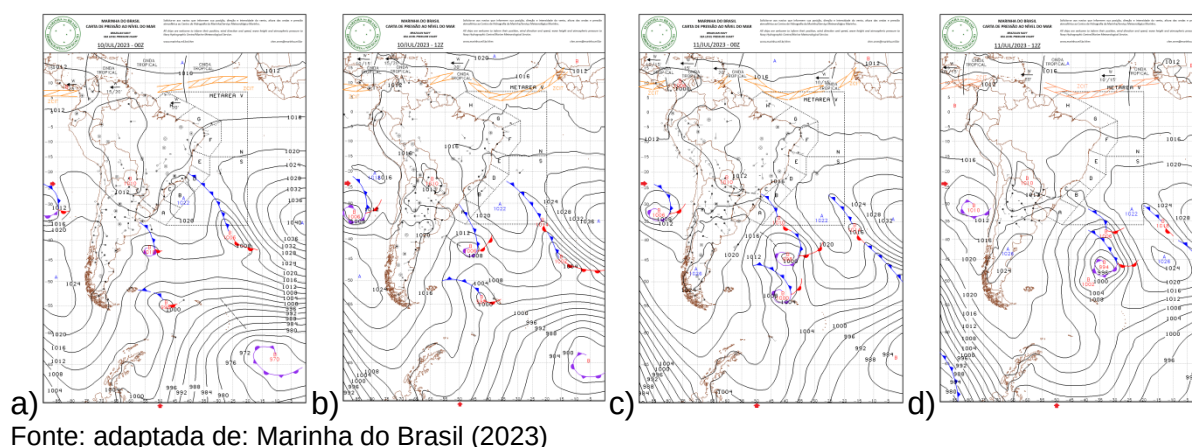
Fonte: SIMEPAR (2023)

De acordo com a carta sinótica do dia 10 de julho de 2023, 00Z (09 de julho de 2023, 21 horas pelo horário de Brasília), as imagens de satélite de dias anteriores à ocorrência registraram novamente a baixa pressão do Chaco conectada por um cavado com a alta pressão no oceano, similar com a ocorrência de 09 de março de 2023 (Figura 56). A carta das 12Z indicava o avanço de um sistema frontal para a Região Sul do Brasil.

O dia 12 de julho de 2023, também foi influenciado pelo cavado conectado a baixa pressão no Paraguai. A pressão atmosférica variou rapidamente, já que a área de baixa pressão do Chaco registrou 1002 hPa, enquanto a alta pressão no oceano

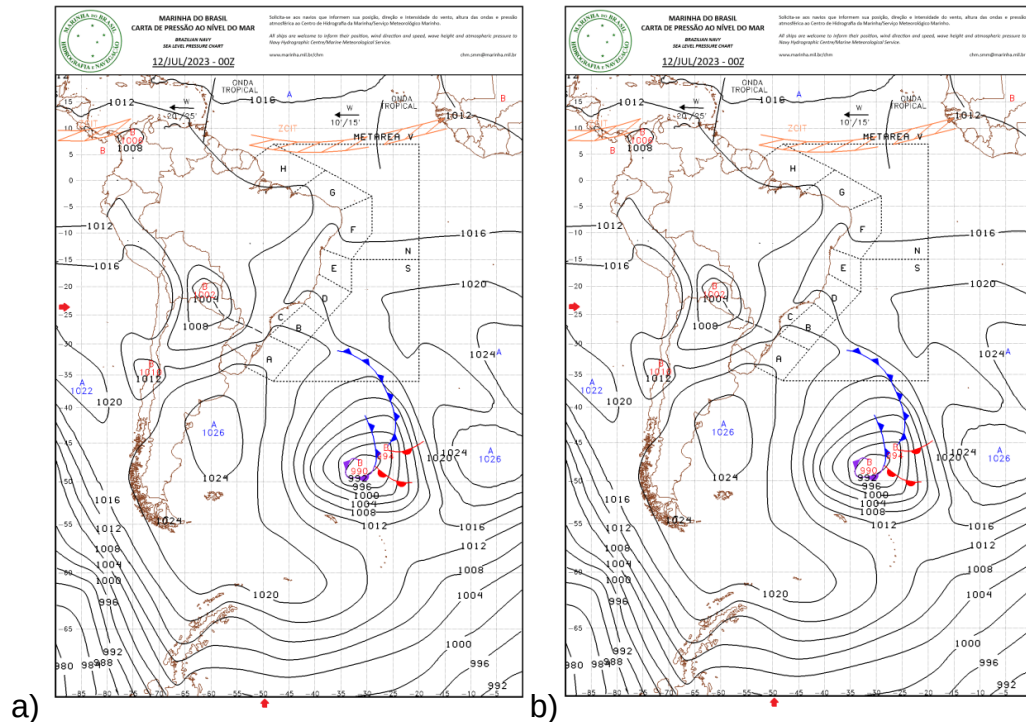
atlântico foi de 1026 hPa, resultando em uma diferença de 24 hPa de pressão, responsável por gerar elevada instabilidade, potencial para originar ventos intensos, que pode ser intensificado pelo ciclone extratropical no oceano. As cartas sinóticas do dia 10 a 12 de julho indicam o desenvolvimento de uma ciclogênese no oceano, com zonas de baixa pressão (Figura 56).

Figura 56 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 10/07/2023 às 00Z e 12Z e do dia 11/07/2023 às 00Z e 12Z



As cartas sinóticas (Figura 57) mostram um ciclone no oceano atlântico, como a presença de zonas de baixa pressão na região do ciclone e no continente, tanto no Chaco Paraguaio (na figura 57a), e próximo à fronteira da Argentina/Paraguai, bem como no Brasil às 12Z (figura 57b). Enquanto a direção dos ventos, no leste do estado era do sentido de sudoeste para nordeste.

Figura 57 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 12/07/2023 às 00Z e 12Z

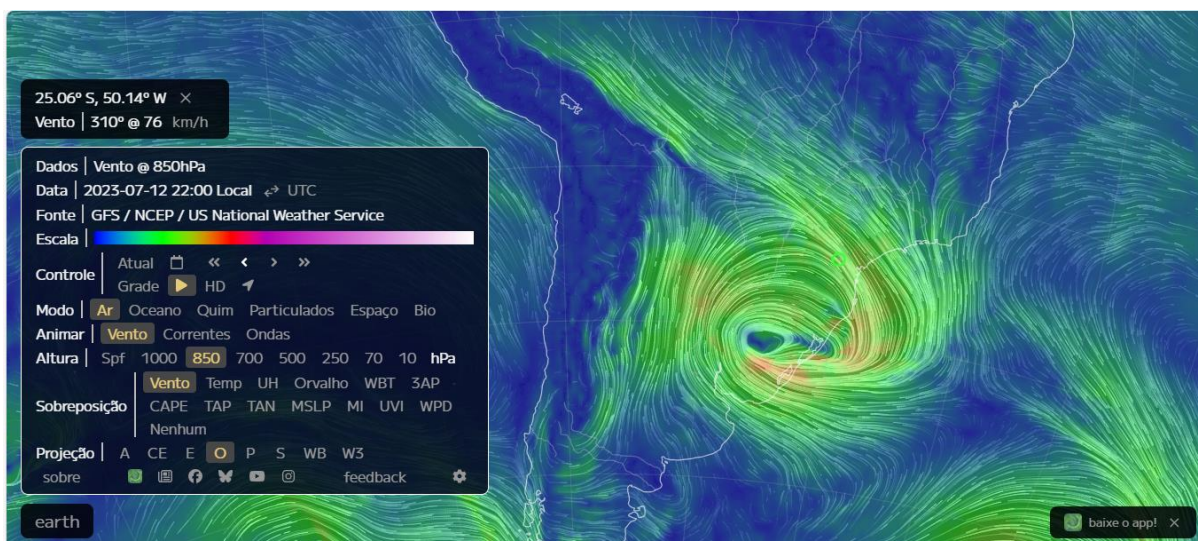


Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

O SIMEPAR (2024) através de seu boletim climático para o inverno de 2023, indicava menores quantidade de chuvas para esse período do ano. Consequentemente havia probabilidade de redução na ocorrência de tempestades severas, dentre elas os tornados e os *downbursts*. Apesar de chuvas serem menos frequentes, as entradas de massas de ar frias se tornam comuns, causando geadas em várias localidades do Paraná (SIMEPAR, 2024).

A Figura 58 mostra que o jato de baixo nível está intensificado, arrastando umidade para o Sul do Brasil e também para o Sudeste. Esses jatos arrastam umidade do interior da Amazônia para o Sul .

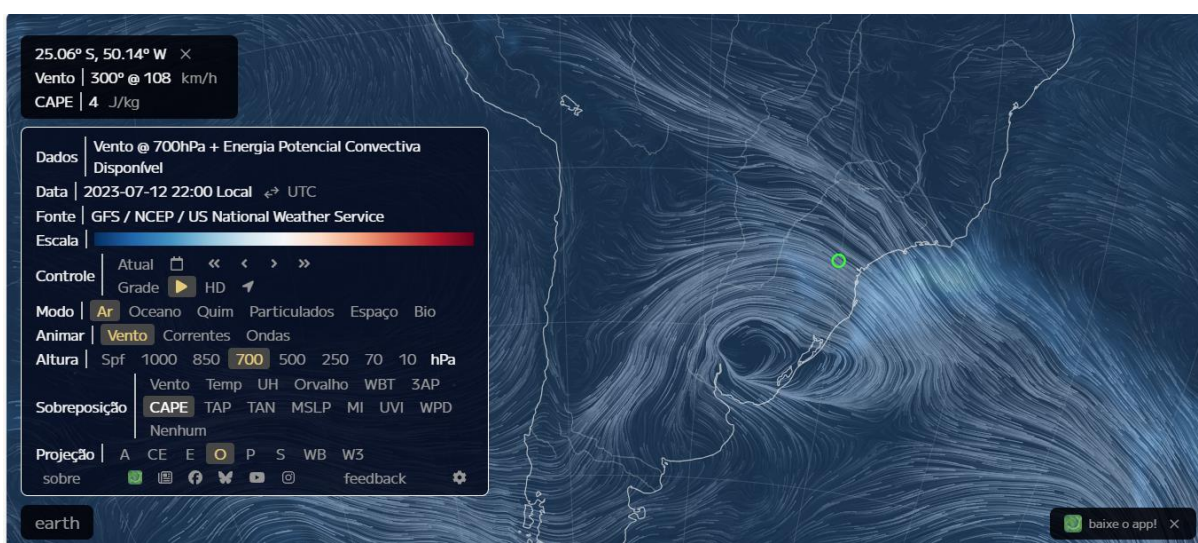
Figura 58 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de julho de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Na figura 59 o índice CAPE possuía valores extremamente baixos, não indicando perigo a população, sem a possibilidade de tempestade, incluindo vendavais.

Figura 59 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de julho de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Análise de danos

O episódio ocorrido em 12 de julho de 2023 não corresponde a um evento de *downburst*, principalmente por não seguir uma direção homogênea. A variação de direções do vento em que as rajadas percorreram se concretizou no Jardim Carvalho, em que três pontos analisados registraram danos com disposições opostas. As rajadas de vento não causaram destruição devida sua velocidade e força, mas havia construções com infraestrutura precária ou em construção (duas estruturas frágeis), com poucas condições de resistir a tempestades severas (Figura 60).

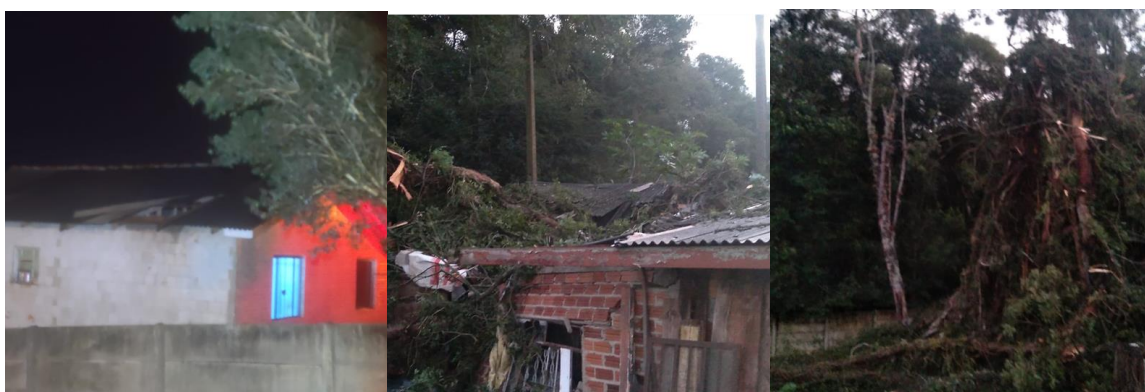
Figura 60 - Danos registrados em 12 de julho de 2023, Ponta Grossa/PR (1)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

Não foi registrado somente queda de muro, como indicado na figura 61, mas também quedas de árvores em duas áreas da cidade, atingindo duas construções. Essas quedas de árvores danificaram o telhado de uma residência, enquanto na outra casa provocou danos na estrutura, e maior perda.

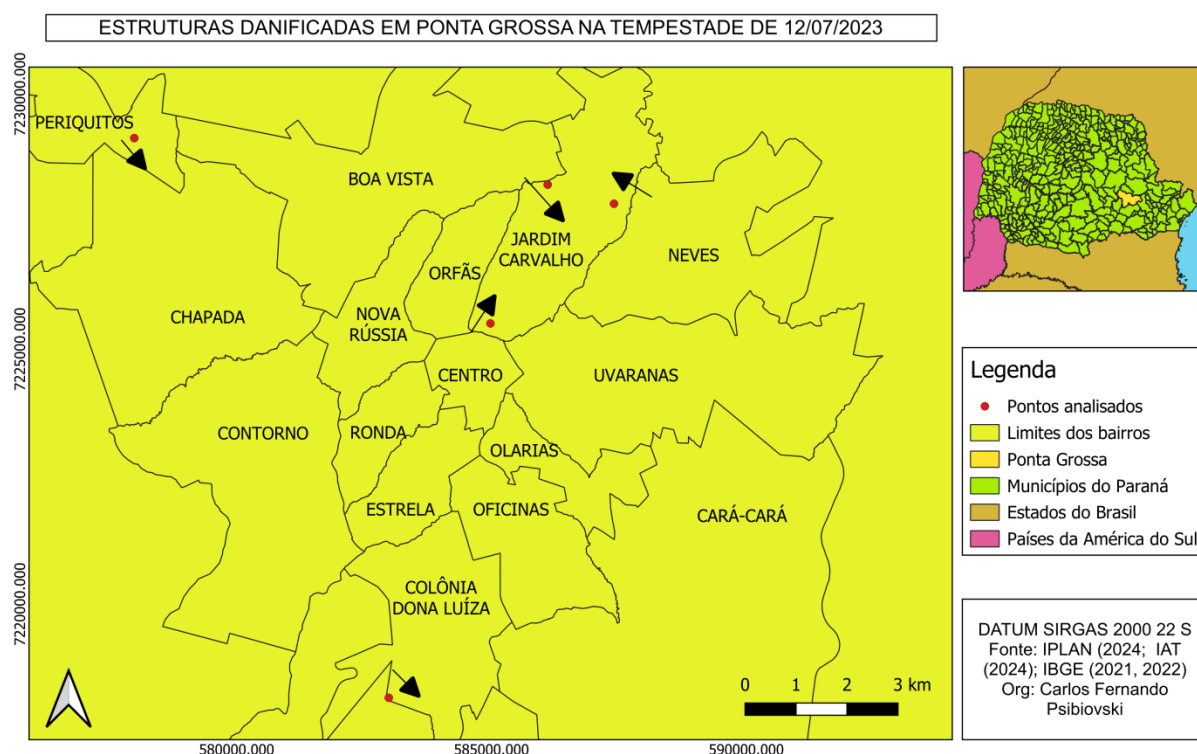
Figura 61 - Danos registrados em 12 de julho de 2023, Ponta Grossa/PR (2)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

Os danos se concentraram principalmente no Jardim Carvalho, havendo três ocorrências. Houve registros também no bairro Periquitos e Colônia Dona Luíza, com um registro em cada bairro. Os pontos afetados mais distantes estavam separados por aproximadamente 10 km (Figura 62).

Figura 62 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa, no dia 12 de julho de 2023



Fonte: O autor (2025)

O tipo de dano mais comum para essa ocorrência foi destelhamento, mas outros tipos de danos também estiveram presentes, tais como queda de parede e de árvore. No quadro 6 tem-se dados dos cinco pontos registrados na figura 62, os quais três foram impactados por rajadas de ventos que percorreram a direção noroeste para sudeste.

Quadro 6 - Informações de danos referentes ao dia 12 de julho de 2023

Endereço/Rua	Destruição/ Direção predominante do vento, das rajadas	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro
Rua Profa. Izaura Torres Cruz	Queda de parede em construção / sudoeste para nordeste	Defesa Civil	25°05'01.*"S 50°09'26.*"W	Jardim Carvalho
Rua Lauro Bittencourt Neto	Destelhamento / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°03'45.*"S 50°08'00.*"W	Jardim Carvalho
Rua do Corruíra	Destelhamento / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°03'05.*"S 50°13'36.*"W	Periquitos
Rua Luiz Sozim	Destelhamento / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°09'00.*"S 50°10'35.*"W	Colônia Dona Luíza
Rua Lauro Moreira Justo	Queda de árvore / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°03'33.*"S 50°08'46.*"W	Jardim Carvalho

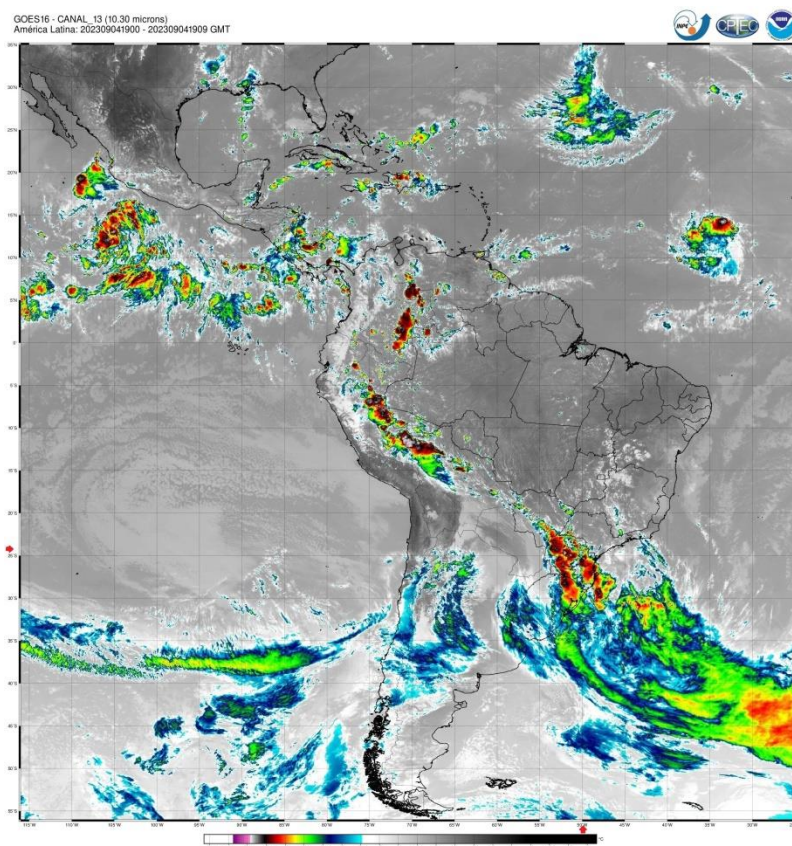
Fonte: O autor (2025)

4.2.4 Ocorrência do dia 04 de setembro de 2023

Este dia em setembro foi demasiadamente propício a eventos severos em todo o estado do Paraná, o qual foi surpreendido por tempestades e precipitação intensas. A imagem de satélite capturou áreas em que o topo das nuvens atingia

temperatura de -70 a -80°C (Figura 63), sendo um fator que auxilia para a possibilidade de tornados e *downbursts*.

Figura 63 - Imagem de Satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 04 de setembro de 2023



Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2023)

As cartas da marinha do dia 02 de setembro de 2023 indicam a formação de instabilidade atmosférica no sul do Brasil. A carta sinótica de 00Z registrou que havia um cavado sobre o Rio Grande do Sul, no Norte da Argentina e no Paraguai, uma baixa pressão predominava. Às 12Z a pressão aumenta na região do Chaco, conectando-se com o cavado, e uma frente fria avança sobre o Uruguai em direção ao território brasileiro, propiciando um ambiente para que haja intensas precipitações.

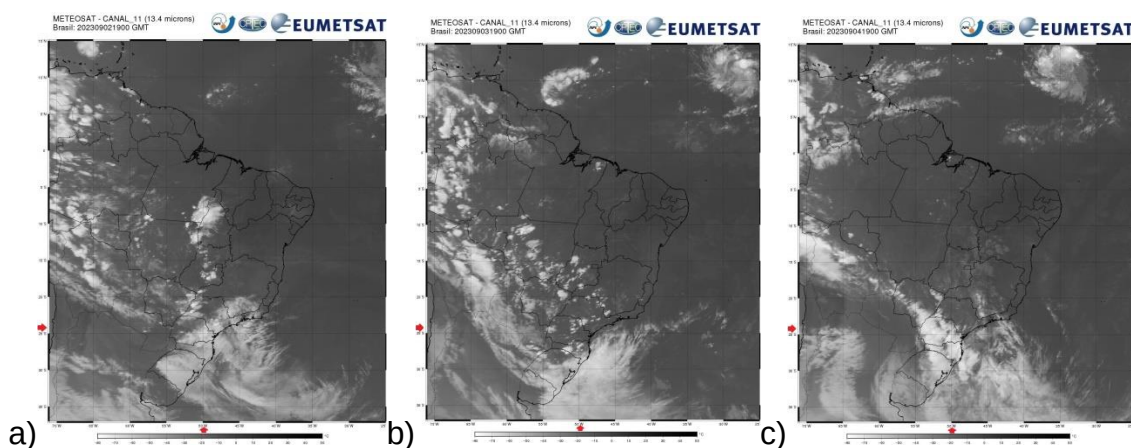
A figura 64 indica a presença de umidade sobre o sul do Brasil, advinda da Amazônia, se fortalecendo no sul. No dia 03 de setembro as regiões centrais do país apresentavam alguns núcleos de nebulosidade, sobretudo em Goiás. No dia 04 de

setembro, a Região Sul do país recebeu elevada nebulosidade, e se estendia até o sul do estado de Mato Grosso do Sul.

As imagens satélite nos canais visível e no infravermelho expõem duas massas de ar distintas no território nacional, uma úmida e uma seca, com a de menos umidade e baixo potencial de precipitação predominando no nordeste brasileiro e no norte da Região Sudeste, atuando nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

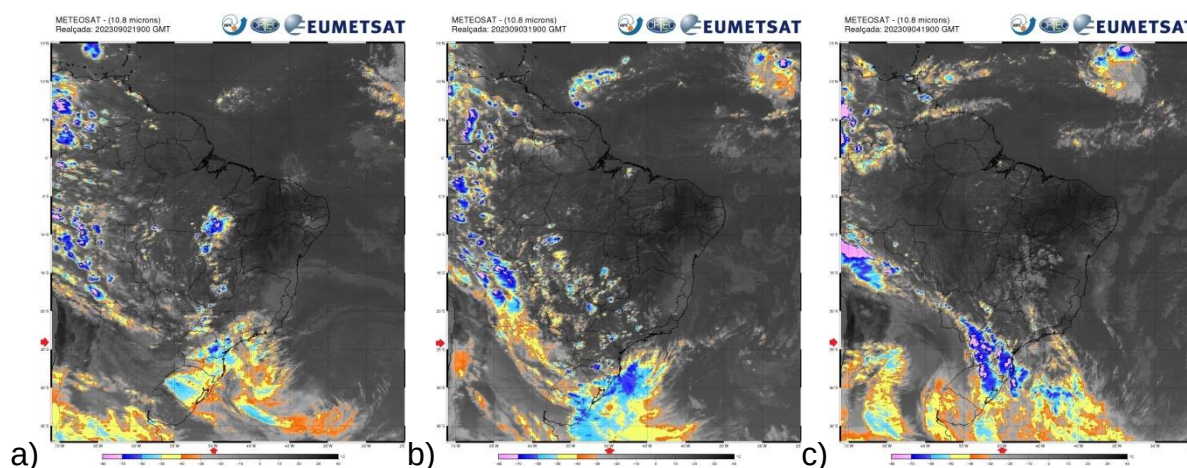
Reboita, Crespo e Gozzo (2023) explicitam sobre as áreas mais comuns de atividade das massas de ar, sendo que as regiões de latitudes baixas se originam as massas de ar quente, e nas latitudes altas, como as regiões polares se formam as massas de ar frias. A umidade presente nas massas de ar varia, de acordo com suas características e origem. As imagens na figura 65 ilustram com êxito a diversidade de massas de ar com temperaturas opostas, de origem quente e fria em todo o país.

Figura 64 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 02 a 04 de setembro de 2023 no Brasil



Fonte: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

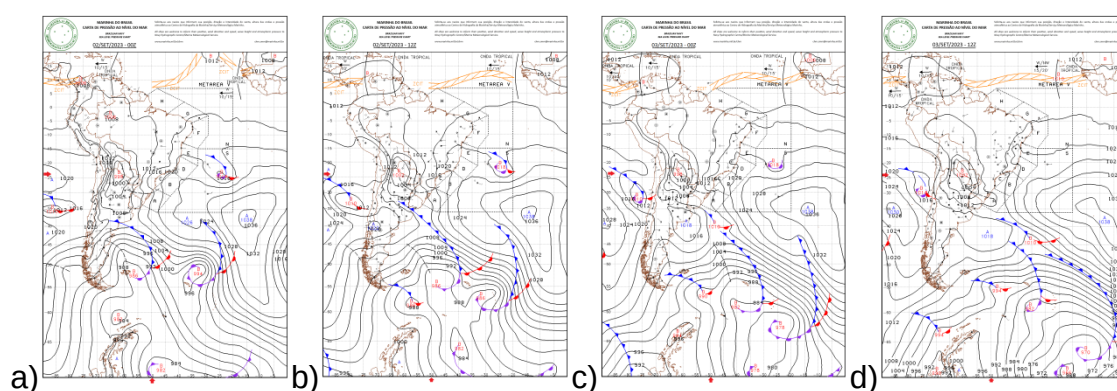
Figura 65 - Imagens de satélite Meteosat 9 realçada, de 02 a 04 de setembro de 2023 no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

No dia seguinte (03/09) as condições sinóticas apresentavam similaridades, com a frente fria seguindo para o interior do Oceano Atlântico. No dia 04 de setembro, a frontogênese avançava pelo Brasil, que evoluiu uma ciclogênese. A região era influenciada pela baixa pressão no Chaco Paraguaio unido ao cavado sobre o RS, que horas depois (00Z) não estaria atuante, mas surgiria uma área de baixa pressão no litoral gaúcho (Figura 66).

Figura 66 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 02/09/2023 às 00Z e 12Z e no dia 03/09/2023 às 00Z e 12Z



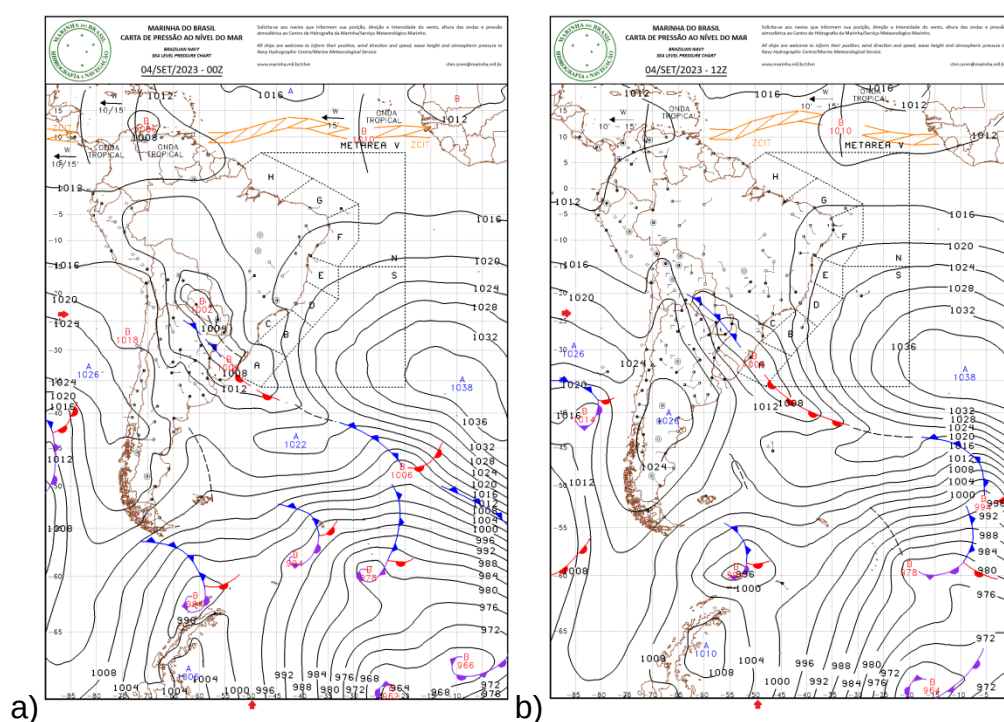
Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

Na figura 67 percebe-se ciclones subtropicais no Oceano Atlântico Sul, formando áreas de baixa pressão em seu entorno, e os diferentes valores de pressão se modificam com maior intensidade no Sul do País. Uma área de baixa pressão atuava no Paraguai (com 1002 hPa) e Uruguai (com 1006 hPa), provocando

instabilidade para a Região Sul do Brasil e países da América Platina. Na imagem 67b pode-se constatar uma zona de alta pressão no centro-sul da Argentina, enquanto uma frente fria avançava para o norte no continente, e uma frente quente no oceano Atlântico, em sentido oposto. A baixa pressão do Chaco se deslocou para o oceano (Litoral do RS), conectando essas frentes da ciclogênese.

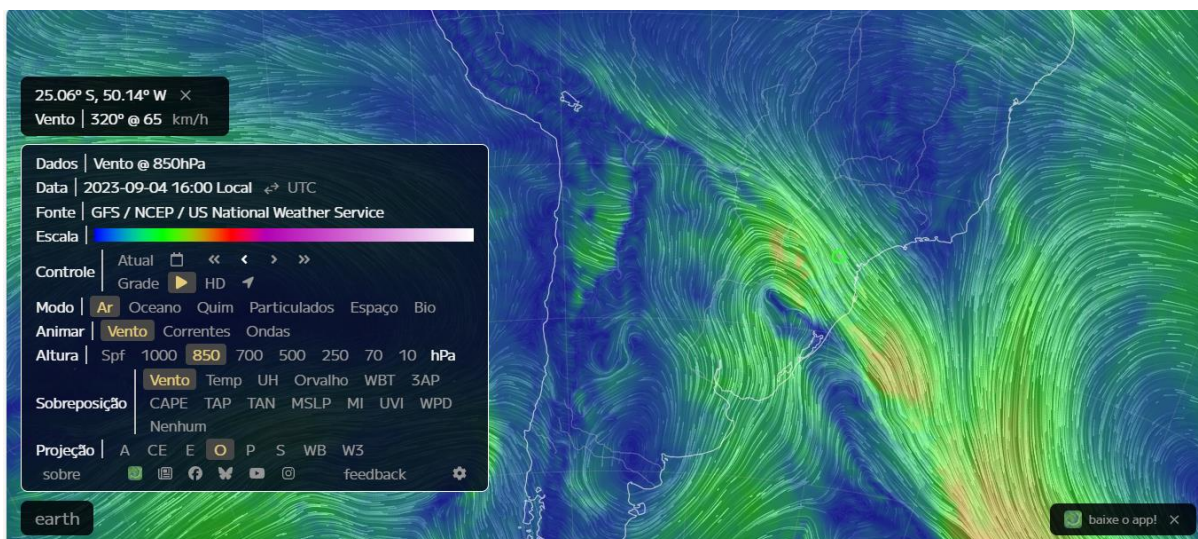
Os JBNs estavam atuando constantemente (Figura 68), colaborando na instabilidade atmosférica da Região Sul do Brasil, proporcionando maiores probabilidades de tempo severo em extensas áreas do território brasileiro, sobretudo em Ponta Grossa/PR.

Figura 67 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 04/09/2023 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

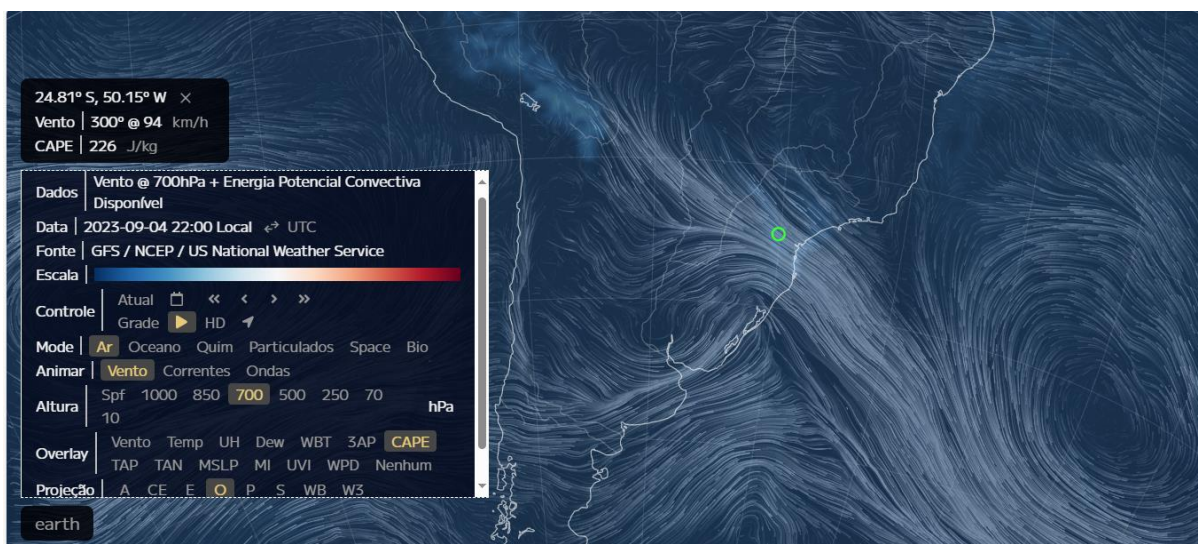
Figura 68 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 04 de setembro de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Na figura 69, o índice CAPE para essa ocorrência foi muito baixo, não sendo caracterizado para tempestades severas, mas com a possibilidade de precipitação no município. O índice CAPE registrado durante o evento severo, com valores que variavam entre 883 e 889 J/Kg, é considerado como marginalmente instável.

Figura 69 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 04 de setembro de 2023

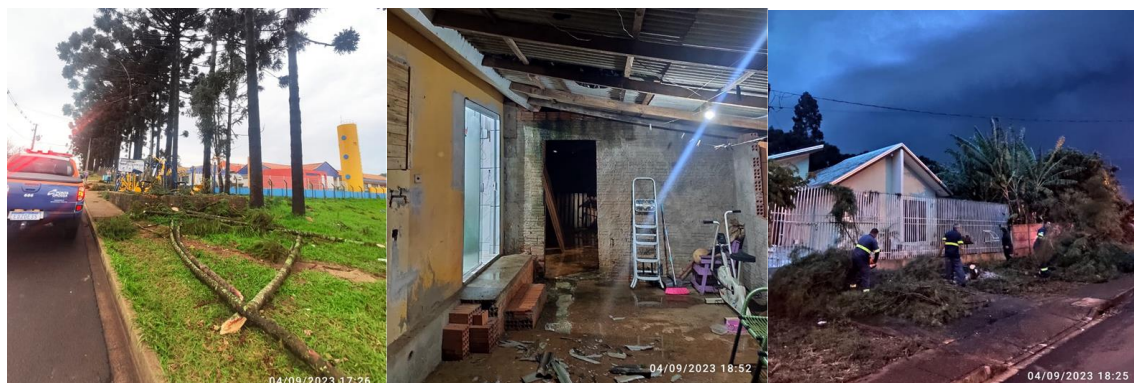


Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Análise de danos

Duas áreas registraram ocorrências, havendo danos no bairro Periquitos e Boa Vista. Embora próximos, os padrões de destruição foram distintos em cada área. No bairro Periquitos, no extremo noroeste da cidade, os pontos analisados possuíam disposição de danos que indicavam direções de vento que divergiam entre si. Algumas construções a direção dos ventos predominante se diferenciavam consideravelmente, seguindo direções opostas com os demais locais próximos. Na figura 70 (à esquerda) há danos aleatórios, não havendo uma direção predominante dos vestígios proveniente das árvores. Também, houve pontos em que a disposição de danos não era evidente, com danos aleatórios ou triturados.

Figura 70 - Danos registrados em 04 de setembro de 2023, Ponta Grossa/PR (1)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

No bairro Boa Vista, foi possível identificar a disposição dos danos registrados pela Defesa Civil Municipal. A maioria dos danos provocados pela tempestade, indicavam uma direção predominante das rajadas de vento de sudeste para noroeste durante o vendaval. No entanto, em uma residência a disposição dos danos foi de sudoeste para nordeste, se diferenciando das outras casas, próximas ao local (Figura 71, fotografia da direita).

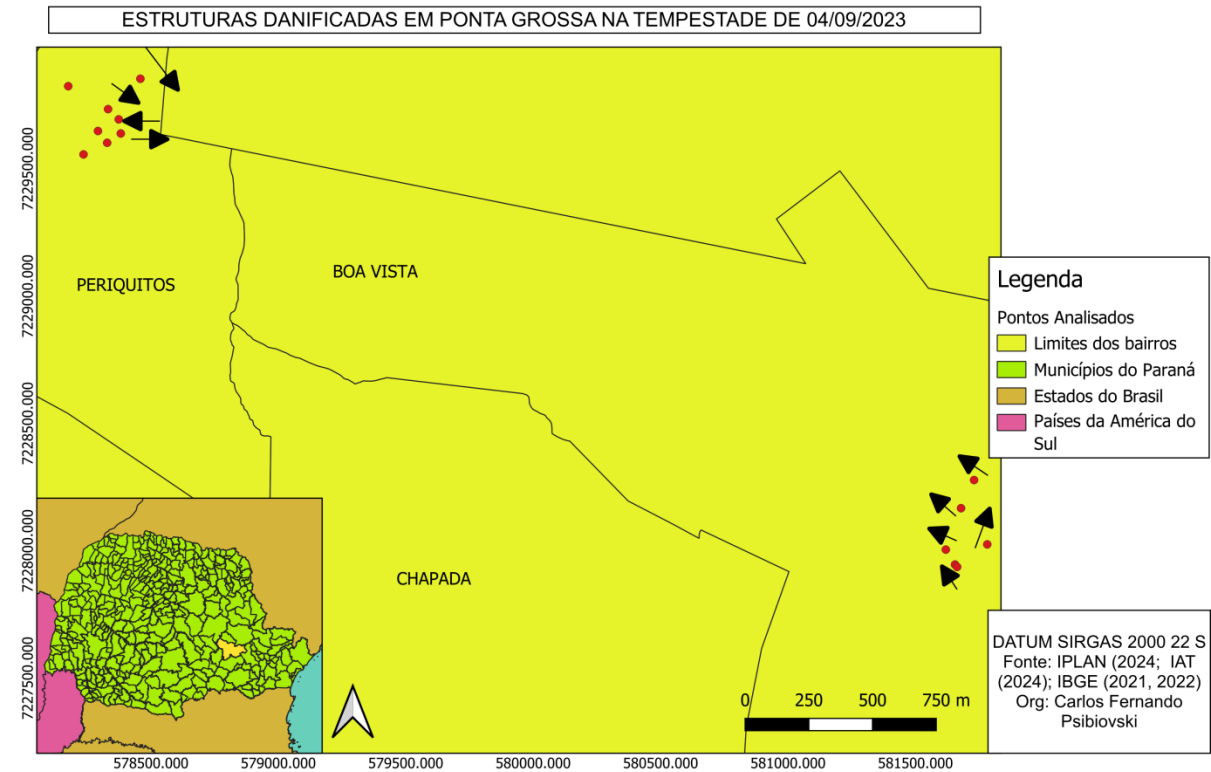
Figura 71 - Danos registrados em 04 de setembro de 2023, Ponta Grossa/PR (2)



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

Na figura 72 tem-se a localização das áreas afetadas, os locais são próximo entre si, nas duas áreas. No Bairro Periquitos a direção do vento não estavam evidentes nos danos registrados nas fotografias. Os pontos afetados mais distantes de cada um dos bairros estão localizados a aproximadamente 6 km de distância.

Figura 72 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa no dia 04 de setembro de 2023



Fonte: O autor (2025)

O dia 04 de setembro de 2023 registrou 14 ocorrências. Todas as ocorrências no bairro Boa Vista tiveram disposição de danos evidentes, com as rajadas percorrendo a direção sudeste para noroeste, exceto em um dos registros, em que a direção era de sudeste para noroeste (Quadro 7). Porém, no bairro Periquitos apresentou padrões divergentes, e em alguns pontos não foi possível verificar a direção do vento predominante. A tempestade se concentrou em somente dois bairros da cidade de Ponta Grossa, distantes em um raio de 4 km aproximadamente.

Quadro 7 - Informações de danos acarretados pelo vendaval em Ponta Grossa em 04 de setembro de 2023

Endereço	Destruição	Fonte:	Coordenadas Geográficas	Bairro
Rua Vereador Luiz Carlos Hilgemberg	Queda de galhos de árvores / múltiplas direções	Defesa Civil	25°02'51.*"S 50°13'27.*"W	Periquitos
Rua Maria de Oliveira Martins	Destelhamento / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°02'41.*"S 50°13'20.*"W	Periquitos
Rua Professora Josete Rattes Guimarães	Destelhamento / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°02'45.*"S 50°13'24.*"W	Periquitos
Rua Odilon Moro	Danos no telhado / sem disposição aparente	Defesa Civil	25°02'48.*"S 50°13'25.*"W	Periquitos

Rua Adélia dos Santos Scudlarek	Destelhamento / leste para oeste	Defesa Civil	25°02'46.9"S 50°13'23.0"W	Periquitos
Rua Adélia dos Santos Scudlarek	Sem danos na imagem / indicado como destelhamento	Defesa Civil	25°02'49.*"S 50°13'24.*"W	Periquitos
Rua Vereador Alcy Blageski	Destelhamento / triturados	Defesa Civil	25°02'42.*"S 50°13'30.*"W	Periquitos
Rua Odilon Moro	Queda de árvore / oeste para leste	Defesa Civil	25°02'48.*"S 50°13'22.*"W	Periquitos
Rua Professor Fábio Fanuchi	Destelhamento / sudoeste para nordeste	Defesa Civil	25°03'40.*"S 50°11'21.*"W	Boa Vista
Rua Professor Fábio Fanuchi	Destelhamento / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°03'35.*"S 50°11'24.*"W	Boa Vista
Rua Professor José Pessolano Brandes	Destelhamento /sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°03'41.*"S 50°11'26.*"W	Boa Vista
Av. Maria Margarida Zagonel Slaviero	Destelhamento / sem possibilidade de verificar	Defesa Civil	25°03'43.*"S 50°11'25.*"W	Boa Vista
Rua Araci Maciel Iurk	Destelhamento / sudeste para	Defesa Civil	25°03'43.*"S 50°11'25.*"W	Boa Vista

	noroeste			
Rua Pedro Mezzomo	Destelhamento / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°03'32.*"S 50°11'22.*"W	Boa Vista

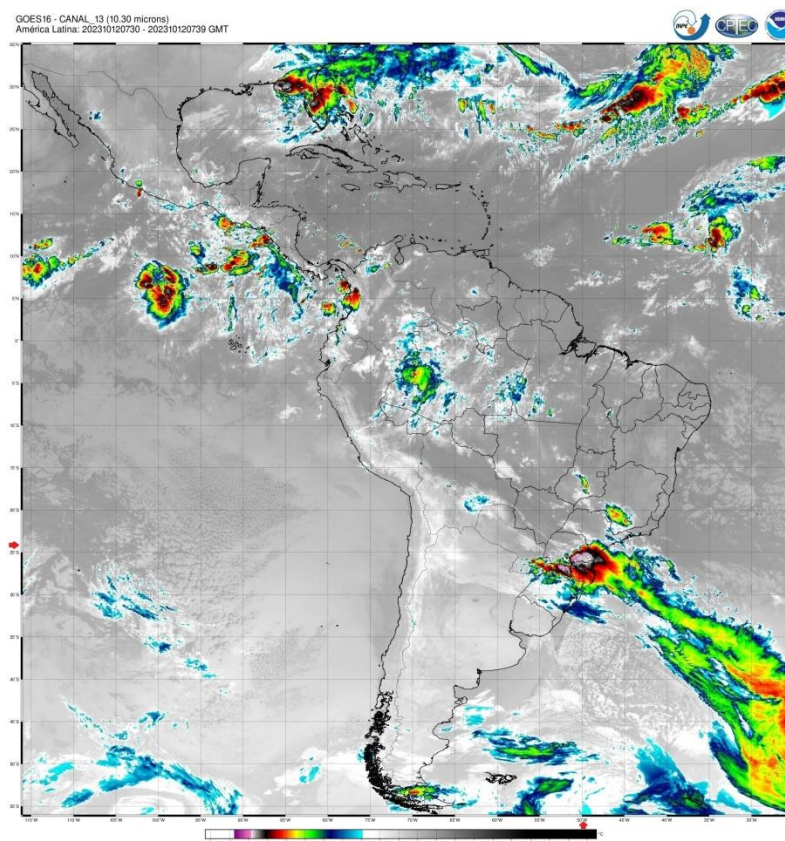
Fonte: O autor (2025)

4.2.5 Ocorrência do dia 12 de outubro de 2023

Ao contrário da maioria das ocorrências, em que os vendavais em Ponta Grossa se originam ao final da tarde, neste dia ocorreram na madrugada do dia 12 de outubro de 2023. Na figura 73, observa-se a predominância de nuvens com topos muito frios em todo o leste do estado do Paraná, com alguns pontos dessa área atingindo temperaturas de -80 a -90°C, excelente para a possibilidade de ocorrer desastres atmosféricos.

O tempo na maioria do território brasileiro estava sem probabilidades de chuva, exceto algumas áreas, principalmente na Região Sul e seu entorno, como no sul do estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul. No Amazonas, no Acre, Goiás e Minas Gerais também havia chuva. (Figura 73).

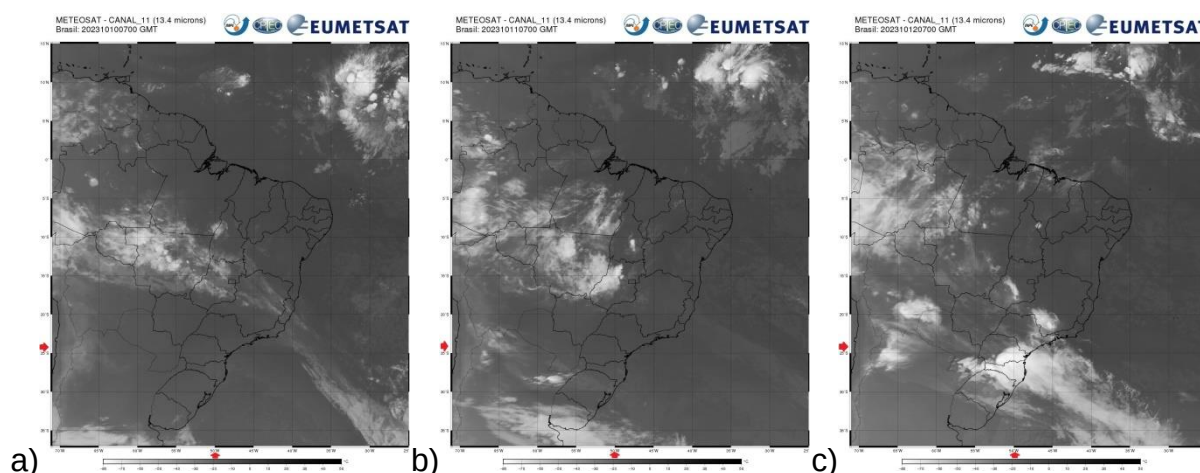
Figura 73 - Imagem de satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 12 de outubro de 2023



Fonte: CPTEC/INPE (2023)

Segundo o Boletim climático para a primavera de 2023 (SIMEPAR, 2024), a previsão indicava a possibilidade de eventos severos. Segundo o órgão, nessa estação do ano há um aumento da presença dos complexos convectivos de mesoescala e de ocorrência de tempestades, principalmente com granizo e rajadas de vento. O aumento de temperatura é outro fator característico desse período do ano.

Figura 74 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 10 a 12 de outubro no Brasil

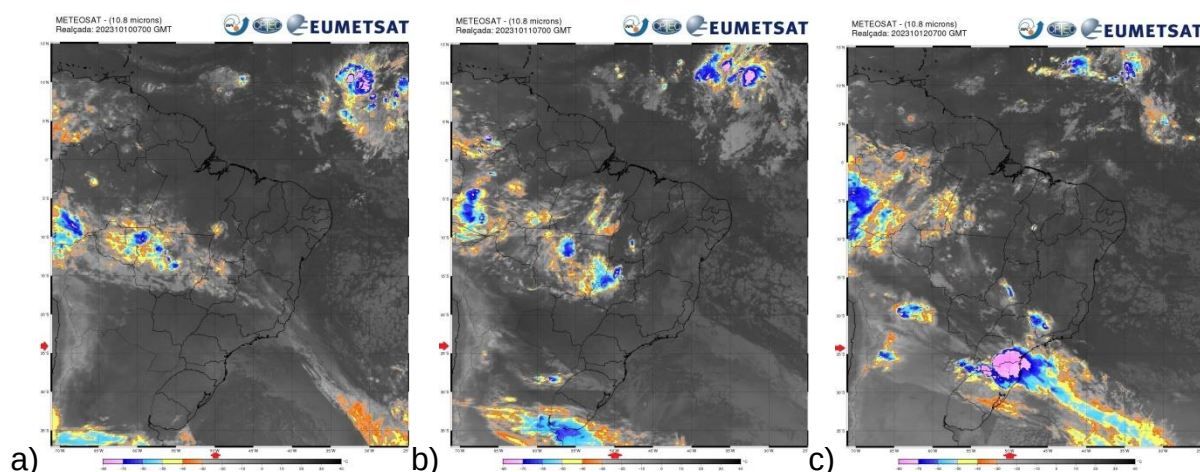


Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

A imagem de satélite Meteosat Realçada (às 04 h no horário local), indica alta cobertura de nuvens e instabilidade sobre o leste do Paraná e o estado de Santa Catarina, com altura vertical que atingiam temperaturas próximas a -80°C . A figura 75 ilustra esse cenário.

A mudança de cor representa temperatura de nuvens com possibilidade de tempo extremo, indicando potencial para a origem de um *downburst*, como afirma Fujita (1978). O Paraná que não possuía nuvens com probabilidade de tempestade, recebeu nuvens que se desenvolveram rapidamente e que eram propensas a tempo severo, representadas na figura 75, em que se originam nuvens de topo elevado, destacadas em cor de rosa.

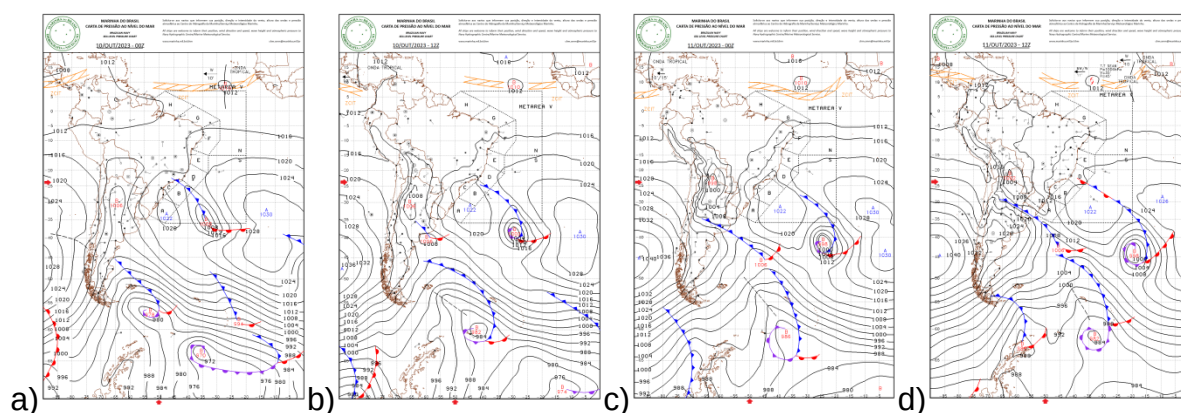
Figura 75 - Imagem de satélite Meteosat Realçada, de 10 a 12 de outubro no Brasil



Fonte: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

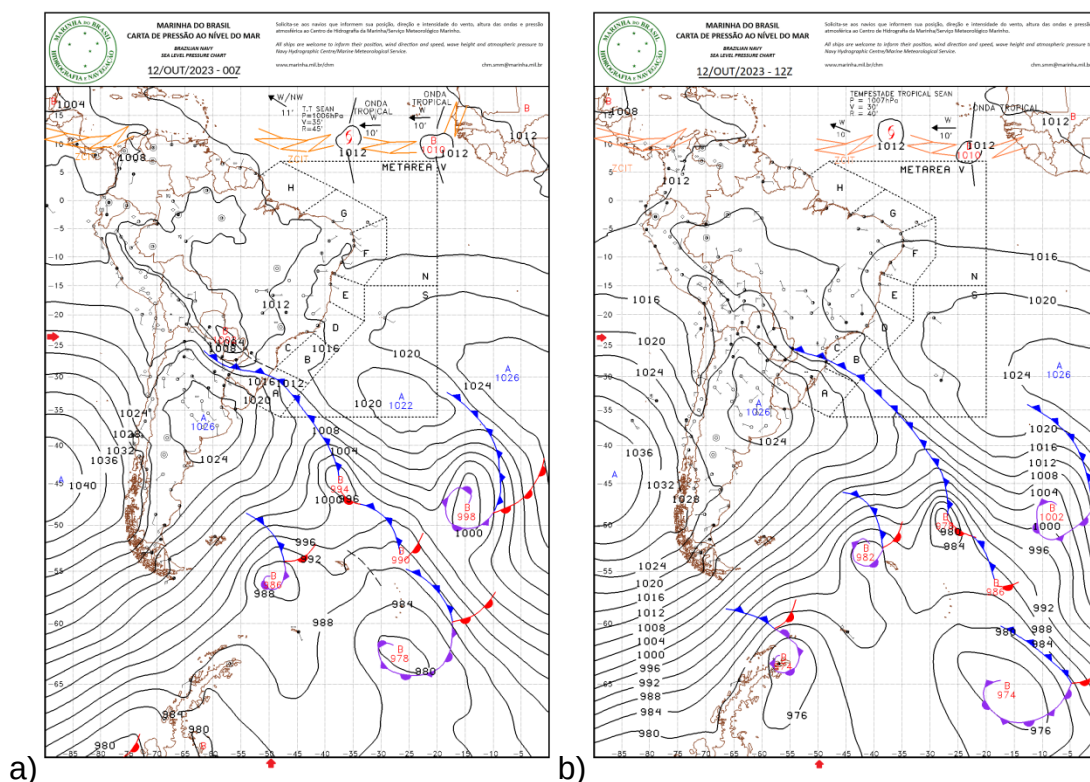
De acordo com as cartas da marinha brasileira, desde o dia 10 de outubro, na carta das 00Z havia a presença de uma intensa baixa pressão na região do grande Chaco, bem como uma alta pressão no oceano. No dia seguinte uma frente fria avançava para a Região Sul do Brasil. O dia 11 de outubro foi caracterizado pela presença de um cavado que conectava os sistemas de alta (que atingiu uma extensão maior) e baixa pressão, intensificando a nebulosidade na Região Sul. O nível de pressão aumentou intensificando a instabilidade, que foi fortalecida pelo forte avanço da frente fria, mas horas depois (dia 12) oscilou novamente possuindo 1002 hPa. (Figuras 76 e 77a)

Figura 76 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 10/10/2023 às 00Z e 12Z e do dia 11/10/2023



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

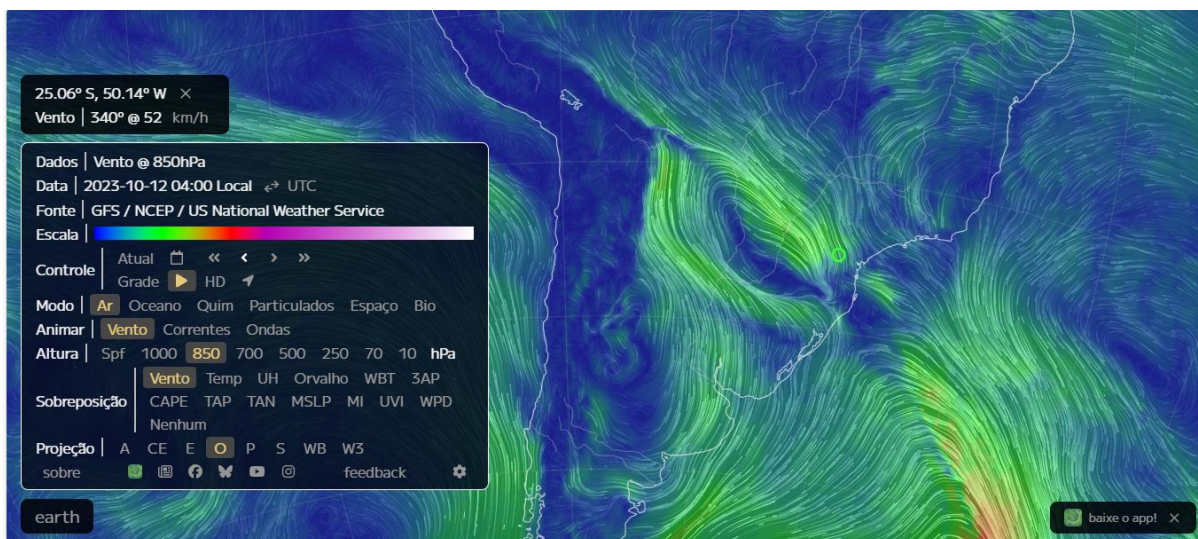
Figura 77 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 12/10/2023 às 00Z e 12Z



Fonte: Marinha do Brasil (2023)

Na figura 77, pode-se verificar o avanço da frente fria em direção ao Paraná, responsável por provocar chuva nos estados da Região Sul. Na imagem 77a observa-se uma zona de baixa pressão no Paraguai, e nas imagens 77a e 77b a presença de alta pressão na Argentina (com zona de atuação capaz de integrar o Uruguai), bem como ciclones subtropicais no extremo sul do Oceano Atlântico, próximo à Antártida. Na figura 78, havia a grande influência de JBNs no leste do Paraná, com o município de Ponta Grossa recebendo elevada umidade, provenientes do noroeste do País e do oceano, contribuindo para o ambiente severo.

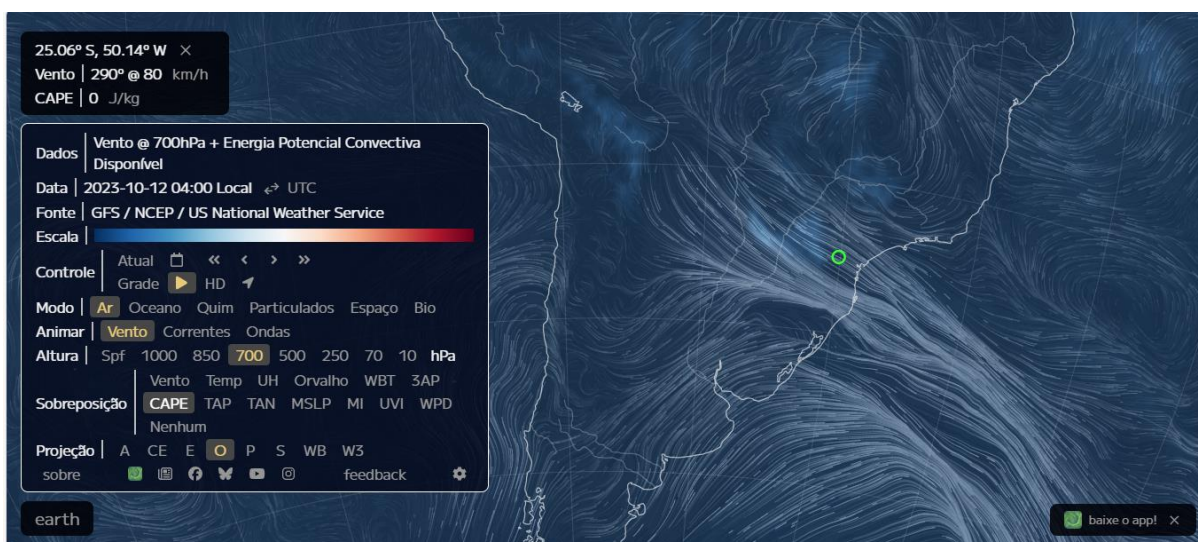
Figura 78 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de outubro de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Porém, o índice CAPE mostrado às 4:00 horas da manhã, não indicava nenhuma possibilidade de tempestade severa. No entanto, começaram a surgir índices elevados horas depois, com potencial para a formação de tempestades de vendavais, dentre eles de *downbursts*. Às 12:00 horas, há registros de 2533 J/kg, que indica um ambiente muito instável (Figura 79).

Figura 79 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 12 de outubro de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Constataram-se diversos pontos com danos, observando imagens dos danos da tempestade em diversos meios de comunicação obtidos na *internet*, principalmente nos bairros a oeste da área urbana de Ponta Grossa.

Os danos mais significativos foram destelhamentos de uma escola municipal em um dos lados, a queda da cruz da Igreja São Sebastião, no Bairro Nova Rússia (Figura 80). O evento extremo alterou o planejamento da festividade de Nossa Senhora Aparecida.

Figura 80 - Danos registrados em 12 de outubro de 2023, Ponta Grossa/PR



Fonte: Fábio Angelo - RPC/g1 (2023)

Houve danos na vegetação, como quedas de árvores (Figura 81). Uma característica evidente de *downbursts* é apresentada através de danos que indicam uma mesma direção do vento.

A maioria dos danos estavam na disposição de sudoeste para nordeste, com direção padronizada, se assemelhando com características de *downbursts*. Somente em um local houve uma disposição de danos oposta. A diferença de padronização pode ocorrer quando há um *starburst*, ou nas extremidades das rajadas, no anel de vórtice (Fujita, 1985).

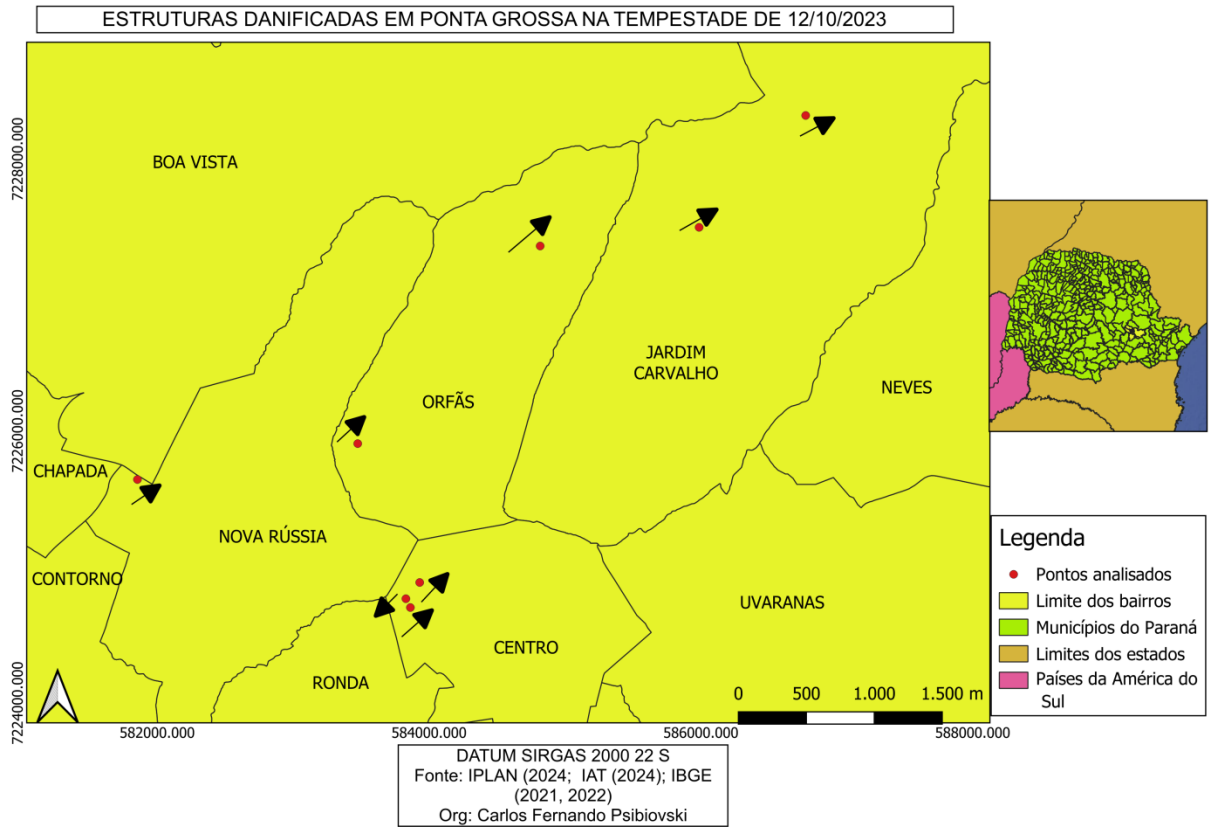
Figura 81 - Danos registrados em 12 de outubro de 2023, Ponta Grossa/PR



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

No evento do dia 12 de outubro de 2023 constatarem-se danos em vários pontos da cidade de Ponta Grossa. A abrangência dos danos no perímetro urbano de Ponta Grossa, demonstra que o evento foi capaz de atingir diferentes regiões da cidade, principalmente no centro. Os pontos analisados com maior distância estavam mais de 5 km distantes.

Figura 82 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa, no dia 12 de outubro de 2023



Fonte: O autor (2025)

O quadro 8 detalha algumas informações sobre a ocorrência de 12 de outubro de 2023, havendo registros nas mídias de notícias e pedidos de auxílio para a defesa civil.

Quadro 8 - Informações de danos referentes ao dia 12 de outubro de 2023

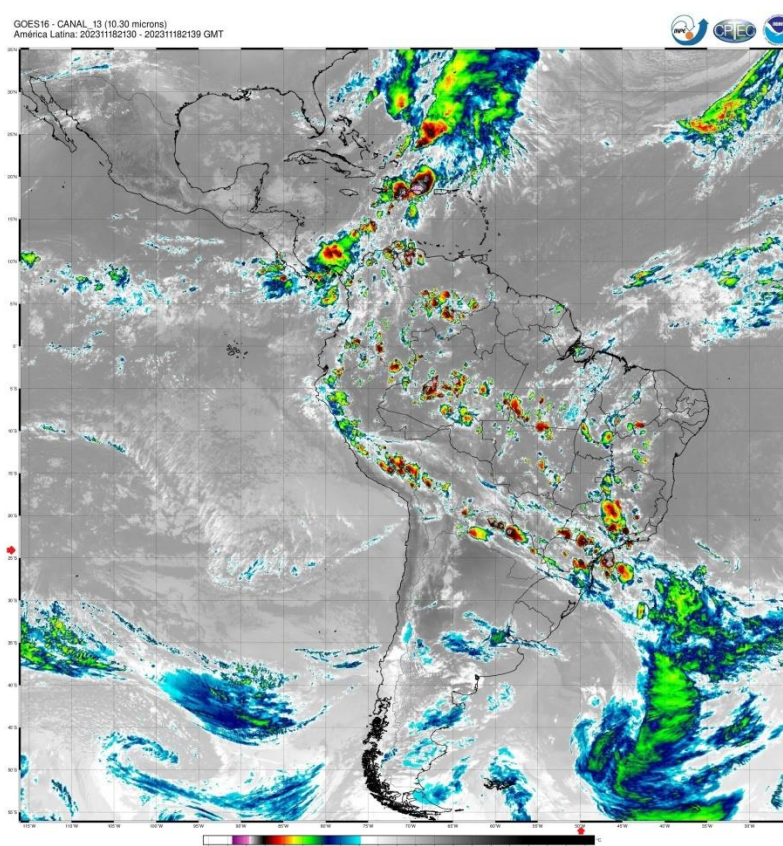
Endereço	Destruição	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro
Rua Barão do Tefé	Queda de poste	Defesa Civil	25°05'28.*"S 50°10'05.*"W	Centro
Rua Rio Grande do Norte	Queda de árvore	Defesa Civil	25°04'49.*"S 50°10'20.*"W	Órfãs
Rua Amante Garcia	Quedas de árvores	Defesa Civil	25°03'57.*"S 50°08'51.*"W	Jardim Carvalho
Rua Barão do Cerro Azul	Destelhamento	Defesa Civil	25°05'26.1"S 50°10'07.1"W	Centro
Amadeu Maggi	Queda de árvore	Defesa Civil	25°04'01.*"S 50°09'31.*"W	Órfãs
Avenida Dom Pedro II	Queda da cruz da paróquia	Jornal Colabore; arede	25°04'57.9"S 50°11'17.9"W	Nova Rússia
Rua Paulo Kloth	Destelhamento	Jornal Colabore	25°03'30.*"S 50°08'23.*"W	Jardim Carvalho
Rua Comendador Airton Plaisant	Destelhamento	arede	25°05'22.*"S 50°10'03.*"W	Centro

Fonte: O autor

4.2.6 Ocorrência de 18 de novembro de 2023

Na figura 83, pela coloração e pelas dimensões pontuais é um indicativo de supercélulas discriminadas no Estado do Paraná. Verifica-se nuvens supercelulares se aproximando de Ponta Grossa durante a tarde, associada a uma frente vinda do Oceano Atlântico e do estado vizinho de Santa Catarina. O litoral do estado de São Paulo foi uma área no país que possuía perigo de fortes vendavais, possuindo supercélulas que atingiam até -90°C de temperatura.

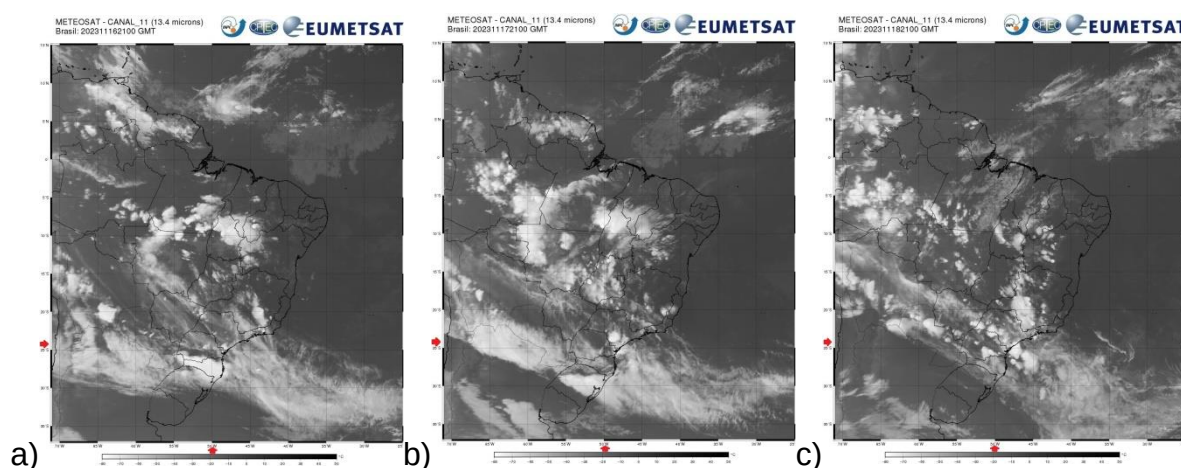
Figura 83 - Imagem de Satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 18 de novembro de 2023



Fonte: CPTEC/INPE (2023)

De 16 a 18 de novembro, as massas de ar seguiram uma tendência parecida com a ocorrência do dia 04/09/2023, que a umidade da Amazônia se movimentou até os estados do sul do Brasil, com o sul do Paraná recebendo maior umidade (Figura 84).

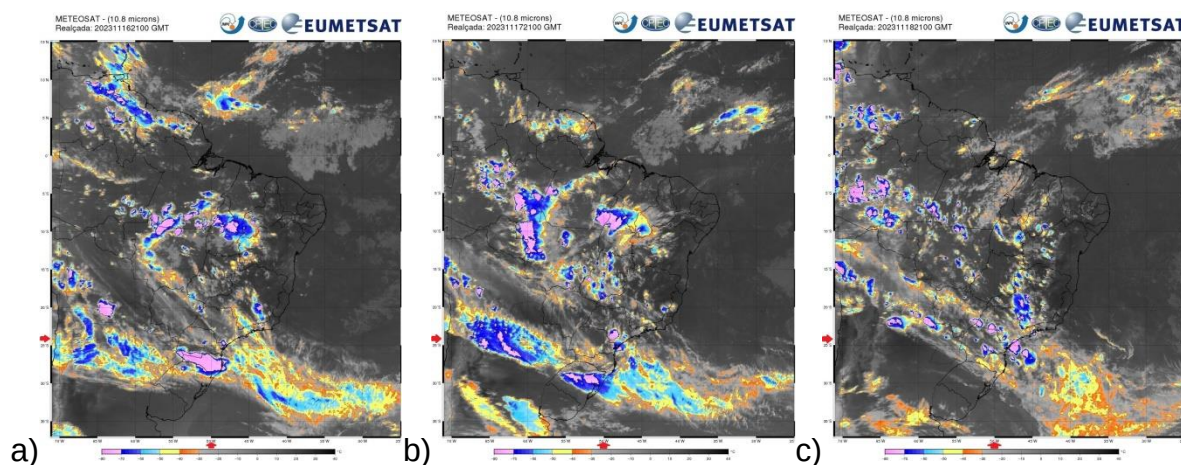
Figura 84 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 16 a 18 de novembro no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

Imagens de satélite Meteosat Realçada para os dias 16 a 18 de novembro de 2023, ilustram o desenvolvimento vertical das nuvens, já que avançavam em direção ao Paraná (Figura 85). No dia 17 de novembro o sistema se intensificou e se conectou com o cavado que estava sobre o estado do Rio Grande do Sul, como indicado na carta da marinha (Figura 87 e 88). A instabilidade continuava sobre o RS, sendo mais intensa nessa área do país, enquanto no Paraná havia a presença de alguns núcleos isolados.

Figura 85 - Imagens de satélite Meteosat Realçada, de 16 a 18 de novembro de 2023 no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2023)

O estado do Paraná possuía regiões com concentração de nuvens de intensidade moderada e forte, dispersadas pelo estado. Ponta Grossa estava sujeita a tempo severo, a imagem de radar do SIMEPAR (Figura 86) registra nuvens com potencial severo, ideais para elevada precipitação e surgimento de tempestades severas.

A imagem de radar é das 18:30 horas, durante o momento da tempestade no município (Figura 86). Nesse horário, Ponta Grossa registrava condições atmosféricas com maior possibilidade de desastres meteorológicos.

Figura 86 - Radar meteorológico do dia 18/11/2023 no Paraná

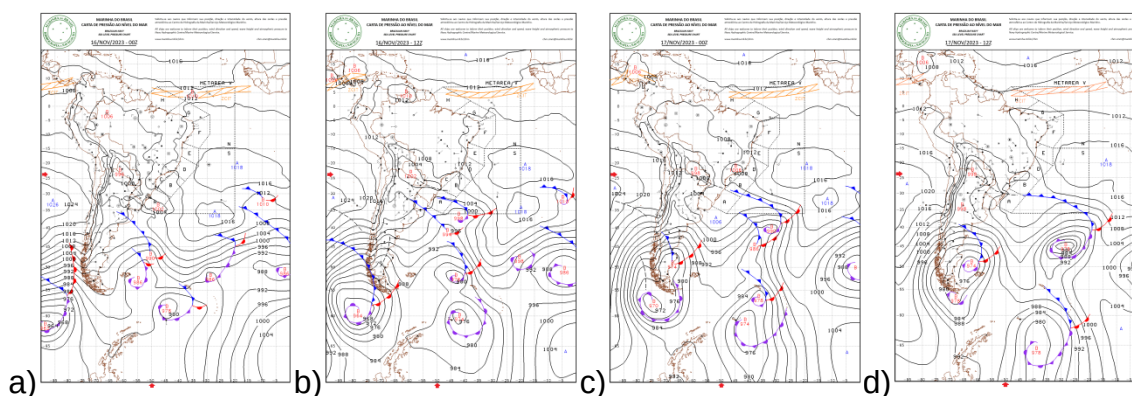


Fonte: SIMEPAR (2023)

As imagens das cartas da marinha do Brasil indicam que às 00Z na América do Sul havia a influência da área de baixa pressão no Chaco, que por um cavado interligava com a zona de baixa pressão no litoral do Rio Grande do Sul. Uma frente fria estava avançando sobre a Argentina. Na carta das 12Z a frente se localizava sobre o Uruguai, e o cavado continuava atuante. A pressão na baixa do Chaco oscilava no entorno de 1000 hPa, porém no dia 17 de novembro diminuiu para 998 hPa, e origina na Região Sudeste do Brasil uma zona de baixa pressão que não estava presente nos dias anteriores (Figura 87).

No dia 18 a baixa pressão na região do Chaco continua apresentando as mesmas características, realizando escoamento de oeste para leste em direção ao oceano, devido à presença do cavado, influenciando diretamente nas condições meteorológicas do Paraná, indicando instabilidade.

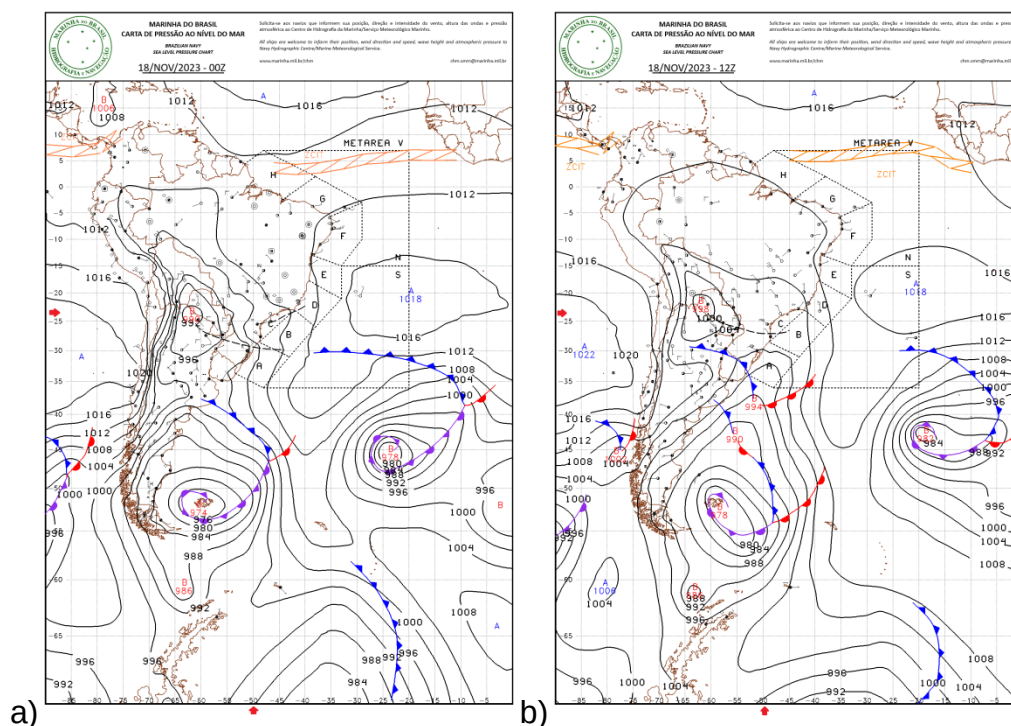
Figura 87 – Cartas sinóticas da América do Sul no dia 16/11/2023 às 00Z e 12Z e do dia 17/11/2023



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

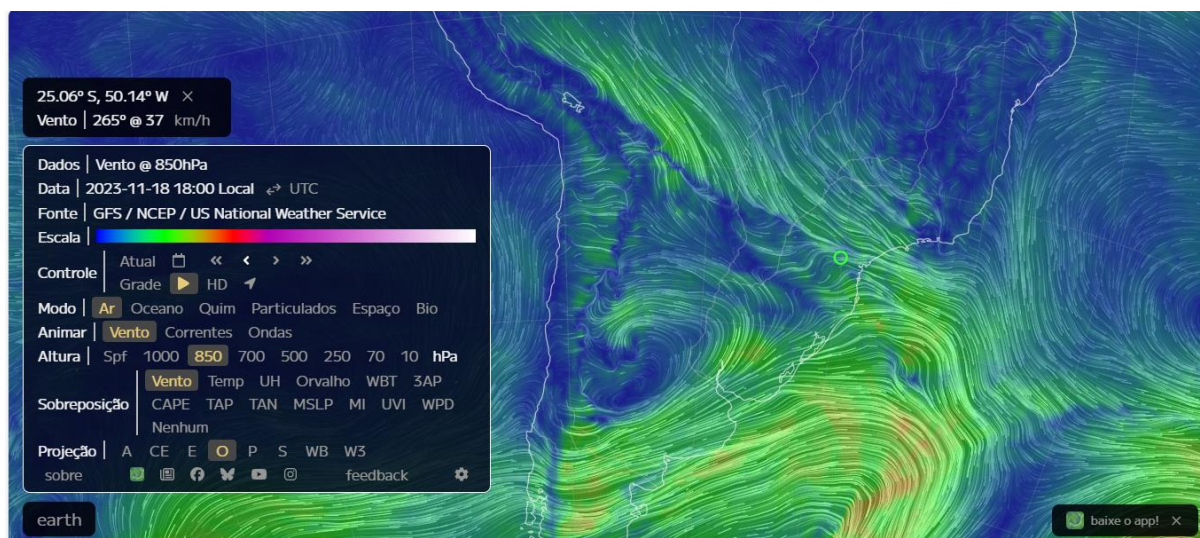
A Figura 88 contém dois panoramas distintos, com regiões ao norte da América do Sul com escassa instabilidade e a presença de uma alta pressão nas águas tropicais do oceano atlântico, como também, instabilidade e presença de baixa pressão na porção sul do continente. Uma frente fria se aproxima do estado do Paraná, e a direção predominante dos ventos permanecia a noroeste (Figura 87b). Os jatos de baixos níveis estavam atuantes às 18:00 h, abrangendo grande extensão da América do Sul (Figura 89).

Figura 88 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 18/11/2023 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

Figura 89 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de novembro de 2023

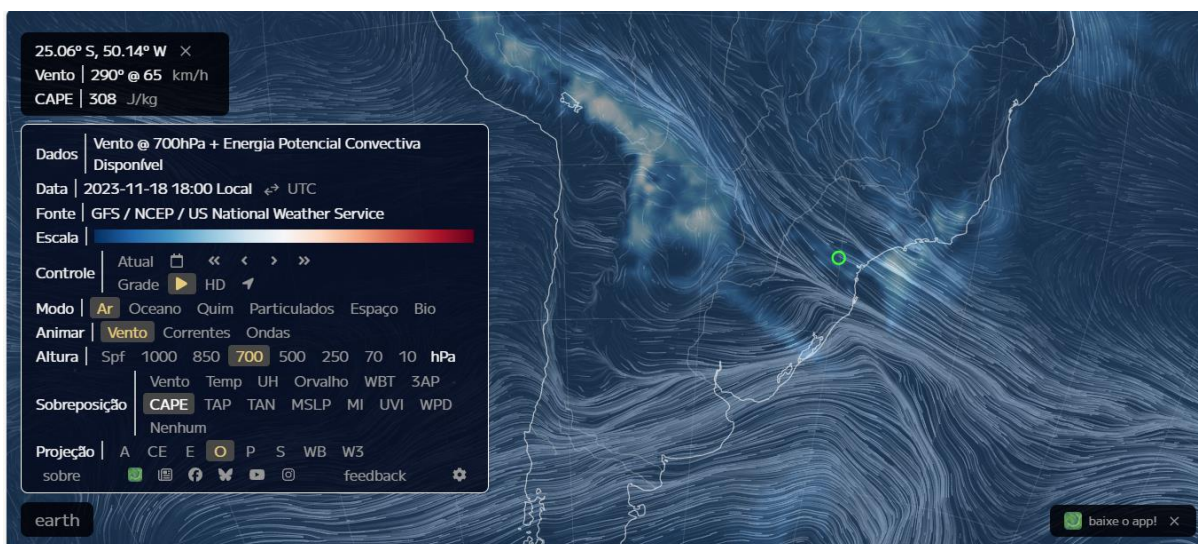


Fonte: Earth Nullschool (2023)

Na figura 90, o índice CAPE está indicando pouca possibilidade de tempestade (registrando valores próximos a 333 J/kg), com instabilidades se concentrando no sul do estado do Paraná e norte de Santa Catarina. As

possibilidades de tempo extremo apresentavam baixo potencial para todo o Brasil, se concentrando nos países vizinhos.

Figura 90 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 18 de novembro 2023

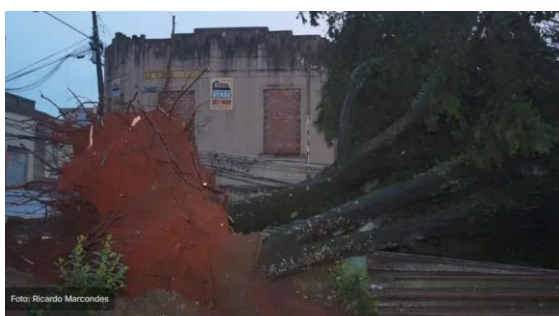


Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Análise de danos

A ocorrência desse dia resultou em poucos registros, sendo totalizados cinco pontos afetados na cidade de Ponta Grossa. Os bairros afetados foram Periquitos, Centro e Uvaranas, com o Centro registrando somente uma ocorrência e sendo reportada na mídia da cidade.

Figura 91 – Queda de árvore registrada em 18 de novembro de 2023, Ponta Grossa/PR



Fonte: Ricardo Marcondes/bnt (2023)

No bairro Periquitos foram registradas duas ocorrências, estas sendo estruturas vizinhas e em construção, com disposição de danos de nordeste para sudoeste. Por outro lado, no Centro e em Uvaranas, os demais pontos obtiveram direções distintas em que as rajadas de vento percorreram. Em Uvaranas, somente em um local a disposição dos danos era de nordeste para sudoeste, como as que ocorreram no bairro Periquitos.

O tipo de dano que mais se destacou durante esse evento foi a queda de paredes. Vale ressaltar que as áreas que obtiveram esse tipo de dano estavam em construção, ainda sem a infraestrutura necessária para resistir ao episódio, ou era construção muito antiga, sem reparo há muito tempo.

Um ponto não registrou disposição de danos aparente. A chuva danificou a estrutura do telhado e conseqüentemente seu crescente afundamento, algo que foi relatado no termo de vistoria da defesa civil, mas que não pode ser visualizada na imagem, porque afetou o interior da construção (Figura 92 à direita).

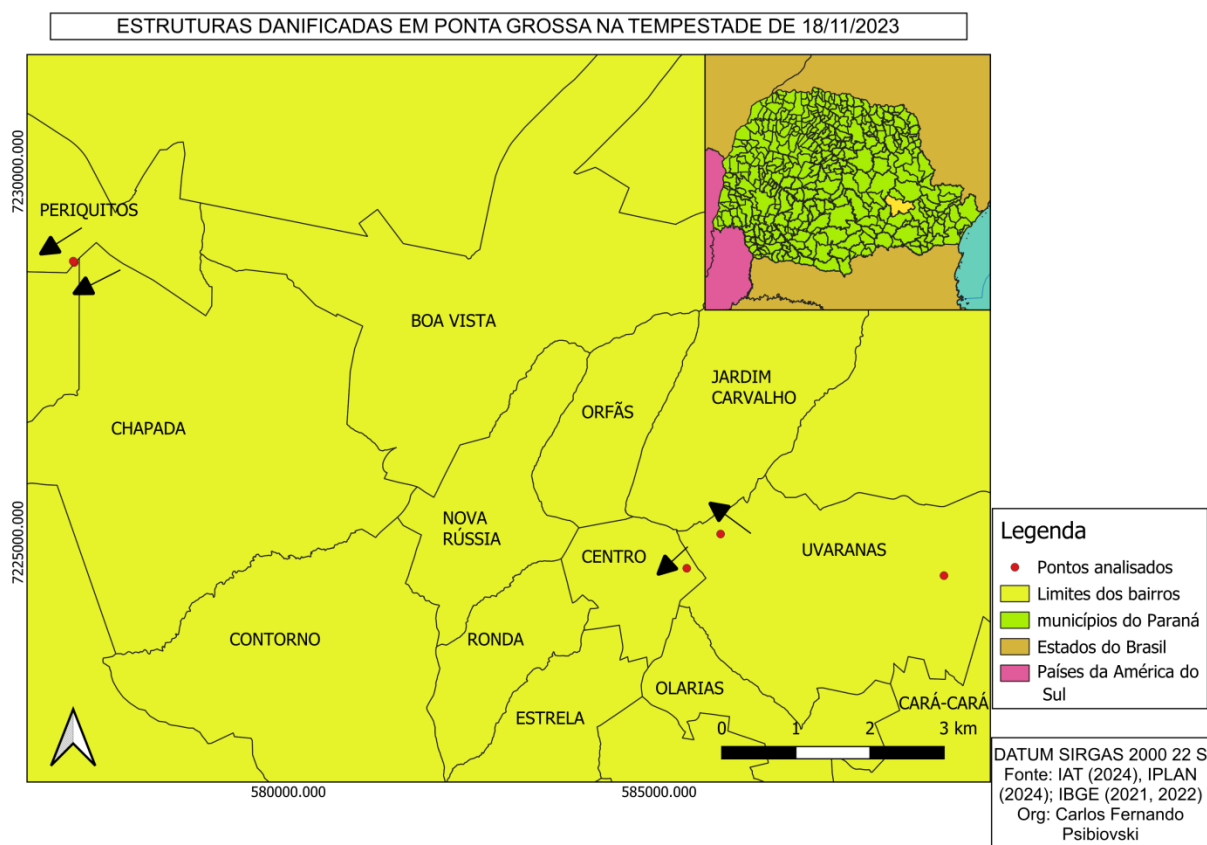
Figura 92 - Danos registrados em 18 de novembro de 2023, Ponta Grossa/PR



Fonte: Defesa Civil (2023)

Na figura 93, tem-se a direção do vento nos danos e sua localização na área urbana de Ponta Grossa, referente às ocorrências registradas do dia 18 de novembro de 2023. Houve poucos registros de ocorrências e atendimento à população, pois este evento não provocou grande repercussão no município. Essa ocorrência abrangeu uma distância maior do que as demais estudadas, correspondendo a 12 km de extensão.

Figura 93 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa, no dia 18 de novembro de 2023



Fonte: O autor (2025)

A disposição dos ventos nos danos principalmente foram de nordeste para sudoeste, com somente uma ocorrência se diferenciando desse padrão de direção (Quadro 9). Um dos pontos analisados não registraram danos que possibilitasse identificar a direção que as rajadas percorreram, se destacando o afundamento do telhado, motivo pela qual a Defesa Civil foi acionada.

Esta ocorrência contém características que se assemelham aos *downbursts*, com a maioria dos danos seguindo a mesma direção, com sua origem relacionada a uma situação sinótica favorável para a concretização do evento. A ocorrência não registrou muitos de danos, dificultando a confirmação exata do tipo de tempestade originada, mas algumas características indicam tratar-se de formação de *downburst*.

Quadro 9 - Informações de danos acarretados pelo vendaval em Ponta Grossa em novembro de 2023

Endereço	Destruição	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro
Praça Duque de Caxias	Queda de árvore / nordeste para sudoeste	Ricardo Marcondes (bnt, 2023)	25°05'29.4"S 50°09'12.0"W	Centro
Rua Elói de Cesário Leria	Queda de parede / nordeste para sudoeste	Defesa Civil	25°03'17.*"S 50°14'07.*"W	Chapada
Rua Elói de Cesário Leria	Queda de parede / nordeste para sudoeste	Defesa Civil	25°03'16.*"S 50°14'08.*"W	Chapada
Rua Campos Vergueiro	Afundamento do telhado	Defesa Civil	25°05'31.*"S 50°07'08.*"W	Uvaranas
Rua Fagundes Varela	Queda de parede / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°05'14.*"S 50°08'55.*"W	Uvaranas

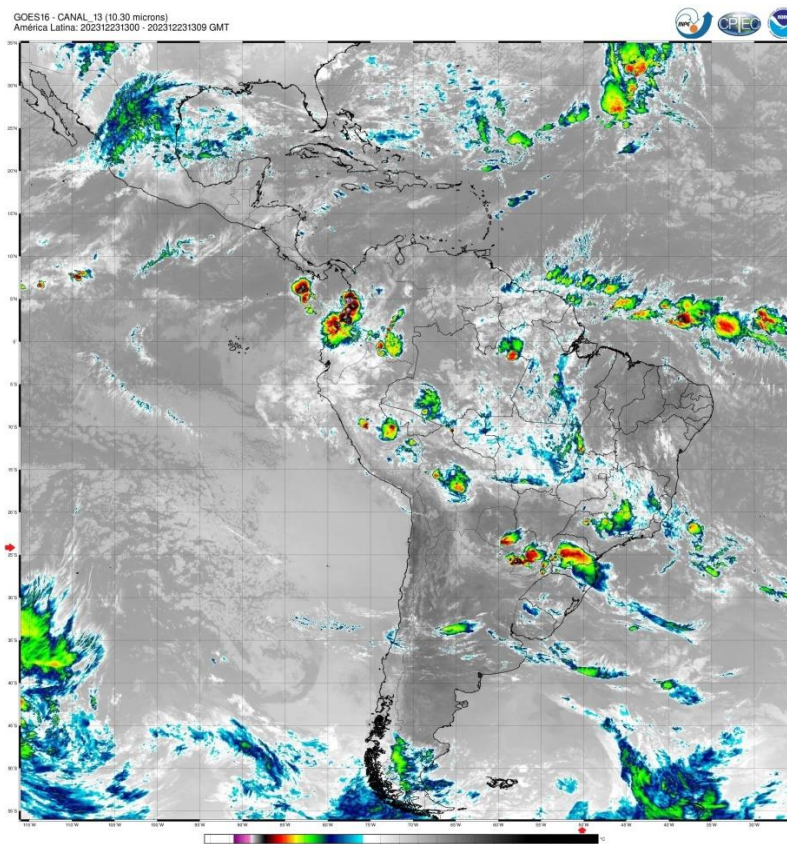
Fonte: O autor

4.2.7 Ocorrência do dia 23 de dezembro de 2023

O estado do Paraná estava sujeita a chuvas, podendo ser mais intensa no centro do estado, devido às nuvens serem de maior dimensão vertical, já no Paraguai o cenário era muito semelhante. Em outras Regiões do País como a Norte e a Centro Oeste havia chuva, mas com menor intensidade, e para a Região

Nordeste a possibilidade de precipitação era pouco provável. Esse panorama meteorológico pode ser visualizado na figura 94.

Figura 94 - Imagem de Satélite GOES 16 (canal 13) para a América Latina, em 23 de dezembro de 2023

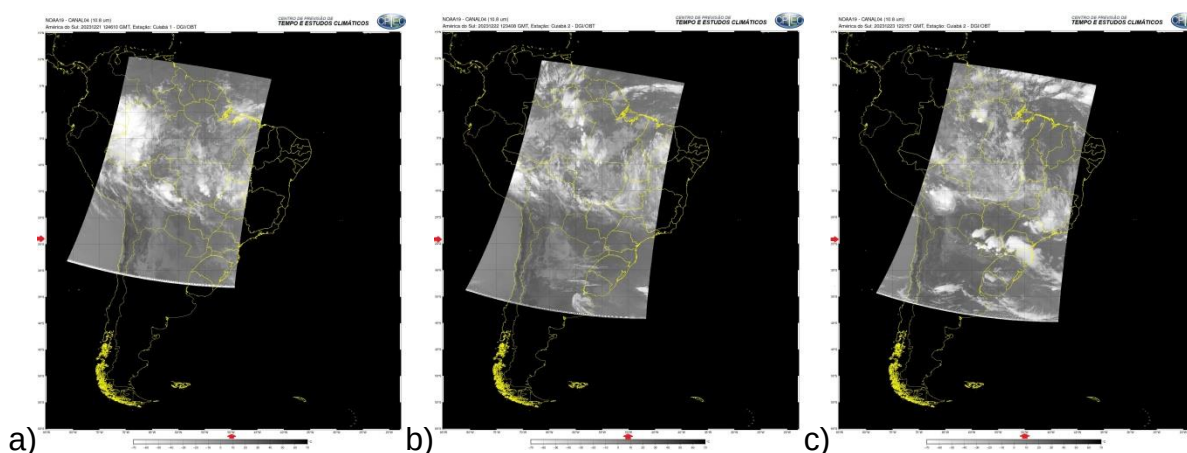


Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2023)

As imagens de satélite NOAA 19 (canal 04) de dias antes do evento, e no horário de ocorrência estão representadas nas imagens, figura 95, os quais detalham o desenvolvimento de nebulosidade até o dia 23 de dezembro de 2023. De acordo com as imagens, havia escassa nebulosidade na região sul e o avanço da Massa Polar Atlântica, que se enfraqueceu. Após, a frente que se conectou com o cavado originou um sistema frontal, criando um ambiente com elevada nebulosidade sobre o Paraná.

Para essa ocorrência não foi possível adquirir a imagem de satélite Meteosat 9 visível e no infravermelho, em que na busca realizada no *site* da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do CPTEC/INPE não encontrou resultados, desse modo foi optado pela imagem de satélite NOAA 19, do canal 04.

Figura 95 - Imagens de satélite NOAA 19 (canal 04), de 21 a 23 de dezembro de 2023 no Brasil



Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2023)

Na imagem de radar do SIMEPAR (2023) (Figura 96), pode-se observar que o norte do Paraná estava sem precipitação, enquanto o Sul apresentava chuva, mas que não propiciavam perigo de tempestade aos municípios da região. O centro do estado possui áreas com nuvens de intensa atividade convectiva, e localizadas próximas a Ponta Grossa, no entanto não estavam atuando sob o município. A imagem de radar ilustra a formação de uma linha de instabilidade, de grande extensão (Figura 96).

Figura 96 - Radar meteorológico
do dia 23/12/2023 no Paraná

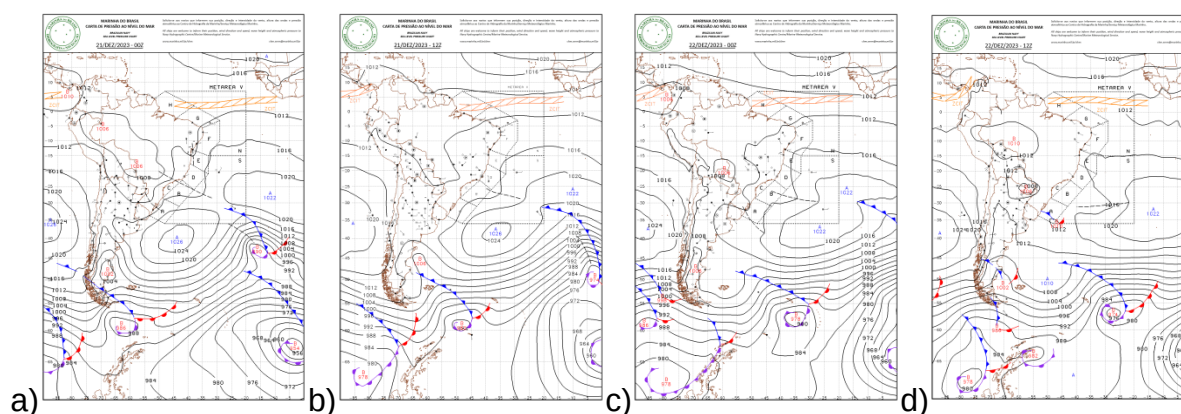


Fonte: SIMEPAR (2023)

A carta sinótica das 00Z do dia 21 de dezembro indica a presença de um cavado sobre o Rio Grande do Sul, e de outro cavado sobre a Região Sudeste do país, além da presença de baixa pressão nas áreas centrais da América do Sul, de 1006 hPa, enquanto no oceano havia uma zona de alta pressão (Figura 97). A carta das 12Z a baixa pressão e o cavado evoluem para uma frente.

No dia 22 de dezembro a baixa pressão predomina no interior do continente, com 1006 hPa, posteriormente surge uma zona de baixa pressão no oceano e a vinda de uma frente fria (Figura 97). Desde as 00Z havia a presença de um cavado no oceano, que estava se distanciando do continente, e sobre o RS, que horas depois (12Z) evoluiu para um sistema frontal. No dia seguinte, uma frente fria na Argentina se fortalece (00Z).

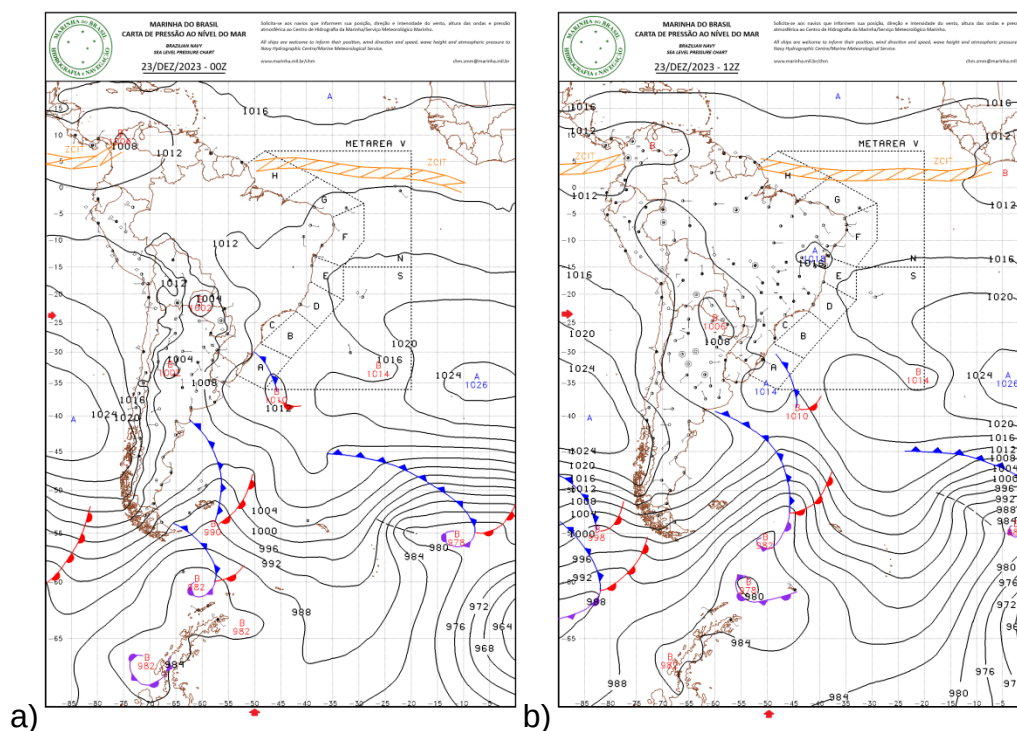
Figura 97 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 21/12/2023 às 00Z e 12Z e no dia 22/12/2023 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

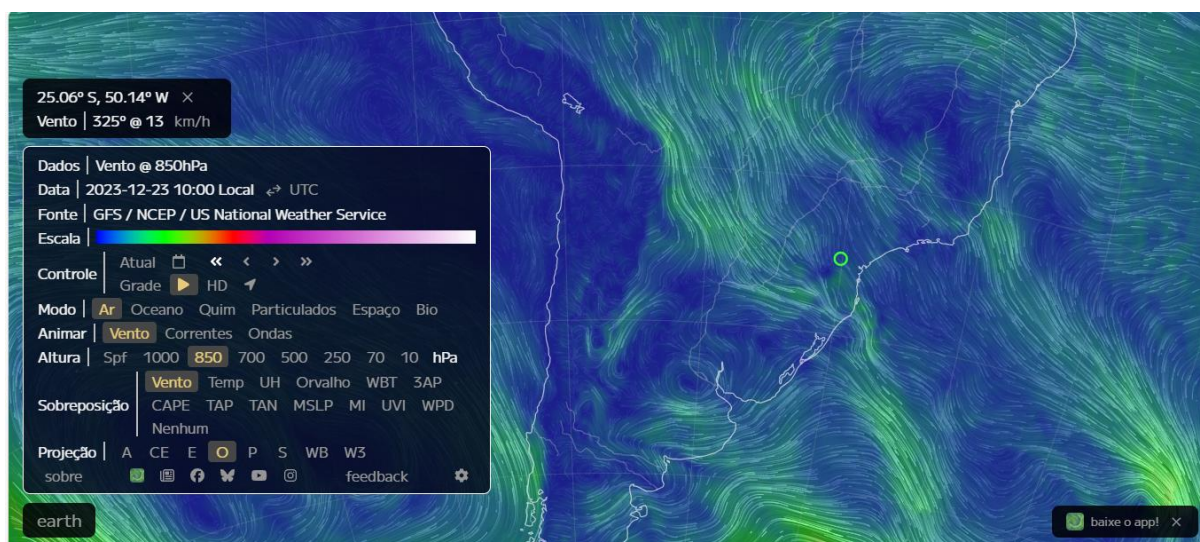
A atmosfera estava instável, havendo presença de um ciclone no oceano, com alta e baixa pressão próximas entre si, perto do Uruguai (Figura 98). A Figura 98b ilustra um padrão de ventos com direções divergentes, constituindo uma frente estacionária. Isso indica a ausência de uma direção predominante na massa de ar em movimento, o que difere dos padrões de circulação comuns em tempestades. Enquanto, para os JBNs, a área recebeu pouca influência, com áreas ao sul a serem impactadas diretamente (Figura 99).

Figura 98 - Cartas sinóticas do mar da América do Sul no dia 23 de dezembro de 2023 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2023)

Figura 99 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 23 de dezembro 2023

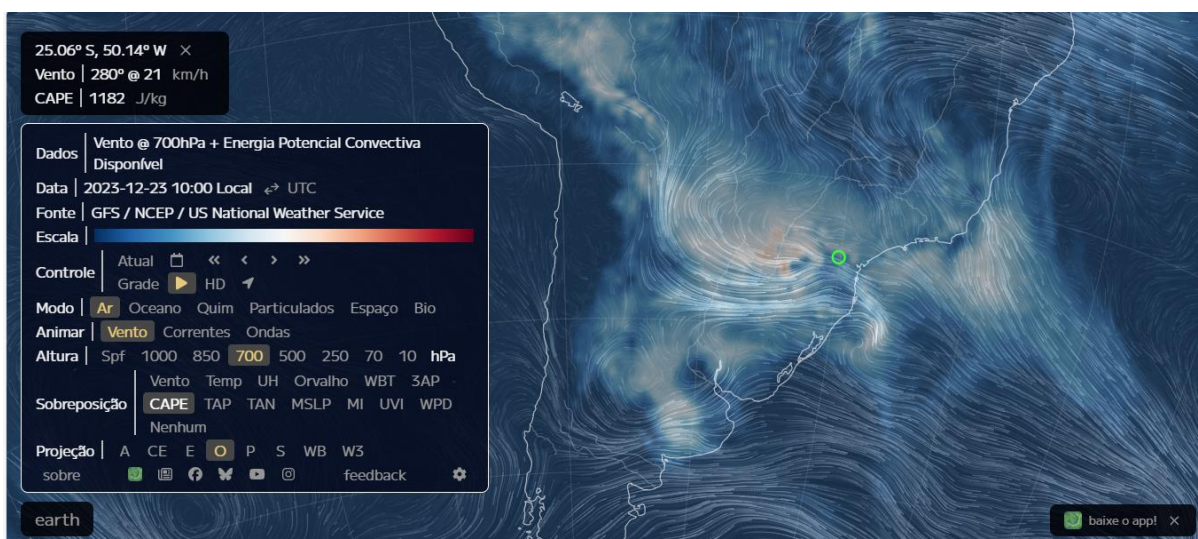


Fonte: Earth Nullschool (2023)

Na figura 100, o índice CAPE está indicando a presença de índice moderadamente instável no oeste do estado do Paraná, com potencial de provocar tempestade. Há uma extensão desse sistema nos arredores do município de Ponta

Grossa, induzindo a área em um risco de vendavais, ou outros tipos de eventos severos. No perímetro urbano e rural, encontravam-se valores que variavam entre 1106 J/Kg e 1177 J/Kg.

Figura 100 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 23 de dezembro de 2023



Fonte: *Earth Nullschool* (2023)

Análise de danos

Os danos provocados pela tempestade em Ponta grossa, na ocorrência de 23 de dezembro de 2023 corresponderam a destelhamentos. A maioria das fotografias analisadas possuíam destelhamentos parciais, atingindo um lado da residência (Figuras 101).

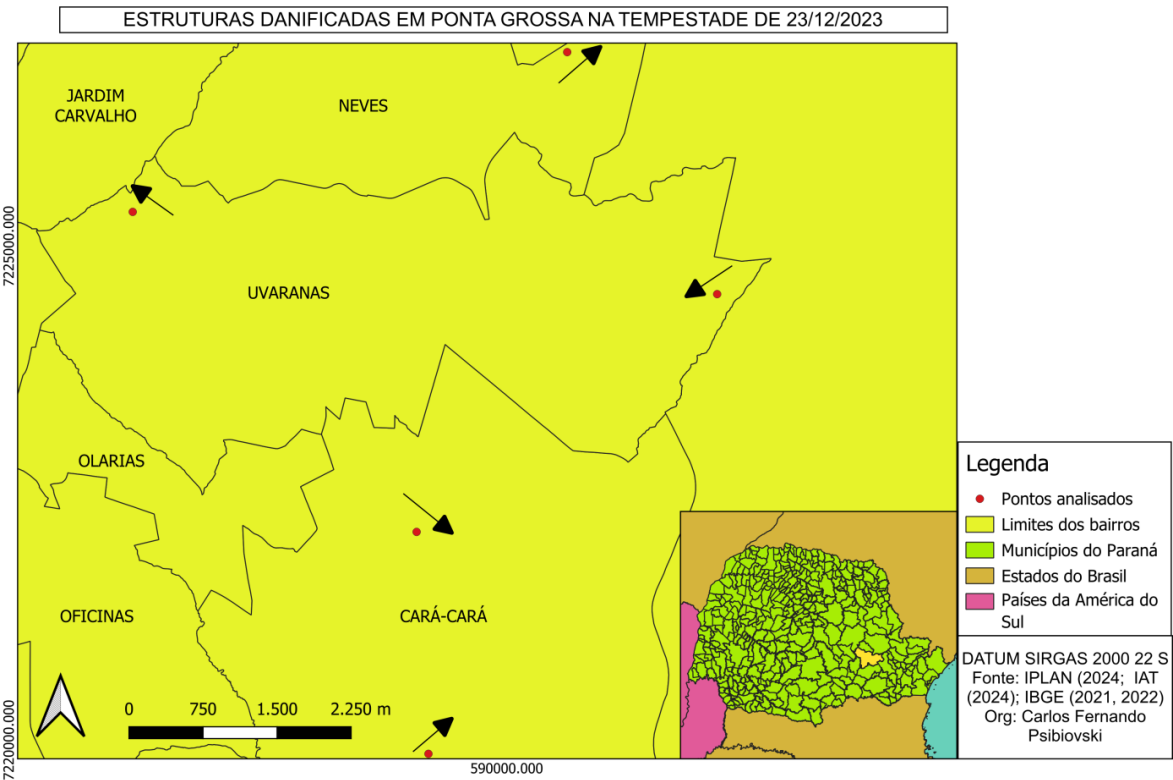
A figura 102 e o quadro 10, indicam que o evento predominou na região leste da área urbana, com pontos de ocorrência no bairro de Uvaranas e Cará-Cará. A disposição dos danos não seguia a mesma direção, indicando que não havia um padrão predominante de rajadas de ventos.

Figura 101 - Danos registrados em 23/12/2023, Ponta Grossa/PR



Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2023)

Figura 102 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa, no dia 23 de dezembro de 2023



Fonte: O autor (2025)

Quadro 10 - Informações de danos referentes ao dia 23 de dezembro de 2023

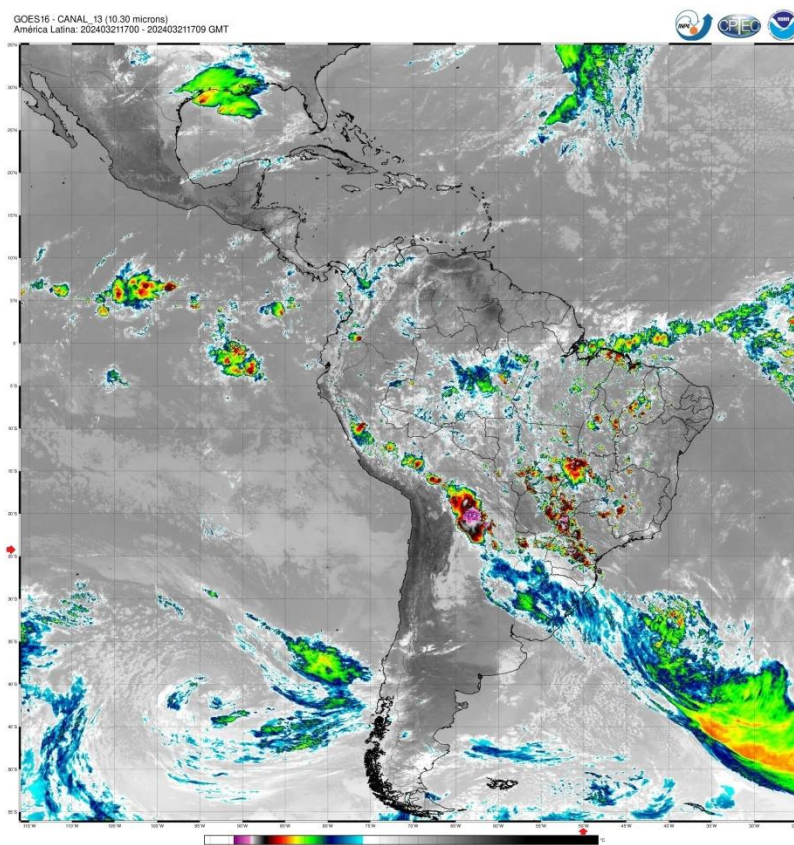
Endereço	Destruição	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro
Rua João Baptista Pedrollo	Destelhamento / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°06'51.*"S 50°06'58.*"W	Cará-Cará
Rua João Henrique G. Stanislawczuk Zukinho	Destelhamento / mau estado da construção / sudoeste para nordeste	Defesa Civil	25°08'04.*"S 50°06'54.*"W	Cará-Cará
Rua Padre Dênis Quilty	Destelhamento / nordeste para sudoeste	Defesa Civil	25°05'32.*"S 50°05'10.*"W	Uvaranas
Rua Dr. Antônio Taques Silveira	Destelhamento / sudoeste para nordeste	Defesa Civil	25°04'13.*"S 50°06'05.*"W	Neves
Rua Fagundes Varela	Destelhamento / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°05'06.*"S 50°08'42.*"W	Uvaranas

Fonte: O autor (2025)

4.2.8 Ocorrência do dia 21 de março de 2024

Esse evento tempestuoso ocorreu em um dia com grande possibilidade de tempo severo para Ponta Grossa e região, com as imagens do satélite GOES-16 indicando a presença de nuvens densas e altas, que se estendiam de oeste para leste (Figura 103). Este ambiente na atmosfera, além de proporcionar chuva em abundância, é propício para vendavais.

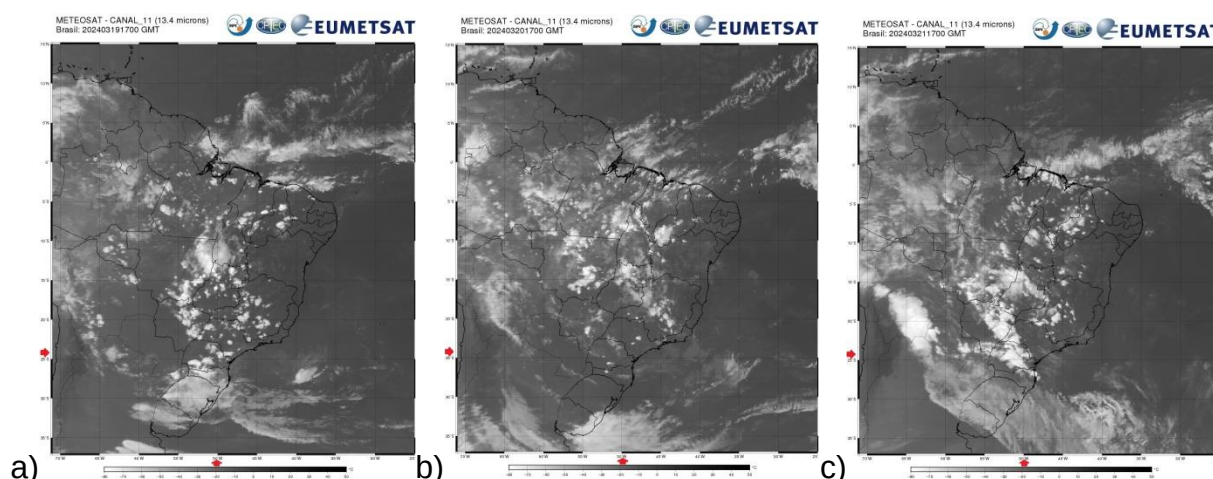
Figura 103 - Imagem de satélite GOES-16 (canal 13) para a América Latina em, 21 de março de 2024



Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2024)

As imagens de satélite de dias antes do evento e no horário de ocorrência indicam que no dia 19 de março, a massa Polar atlântica estava atuante no Rio Grande do Sul e se descocando em direção ao Oceano Atlântico (Figura 104). O dia 20 registrou que a massa de ar continuava intensificada e se deslocou até o Uruguai e região litorânea, com deslocamento para norte. O dia 21 de março de 2024 foi ideal para a origem de instabilidades no estado do Paraná, já que o sistema frontal estava atuante em toda Região Sul e atuou no Paraná, com nuvens de topo elevado e com potencial de tempo severo.

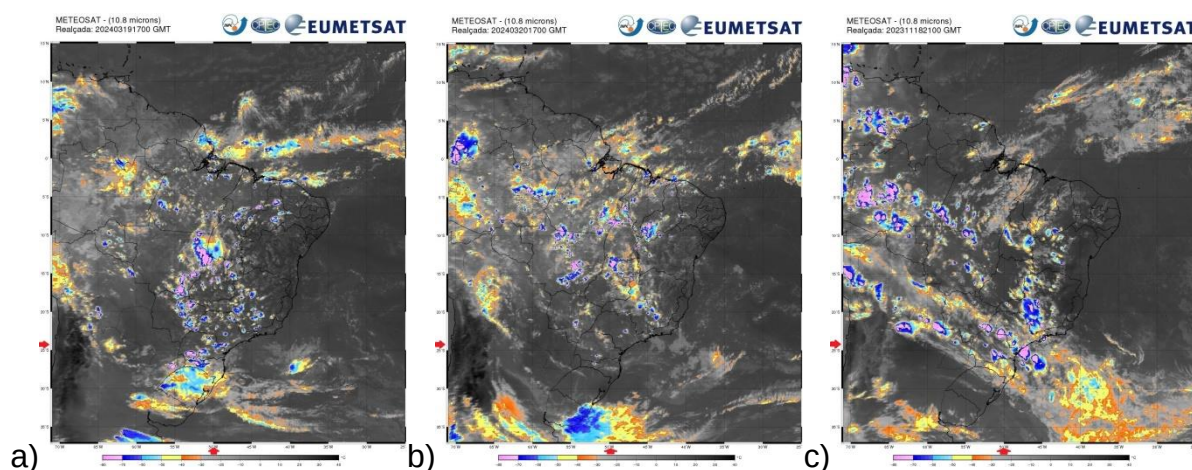
Figura 104 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 19 a 21 de março no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2024)

Na figura 105, está registrado o desenvolvimento de células com temperaturas baixas (-70°C) no Paraná, e demais regiões do Brasil. O avanço da massa polar estava bem evidente na Região Sul durante os três dias.

Figura 105 - Imagens de satélite Meteosat Realçada, de 19 a 21 de março de 2024 no Brasil



Fonte: adaptada de: copyright 2010-2012 EUMETSAT (2024)

A imagem de radar do dia 21/03/2024, às 12:00 horas, elevada nebulosidade estava presente no centro-oeste do estado do Paraná, de Santa Catarina e dos países vizinhos (Figura 106). Nesse momento, não havia presença de precipitação sobre o município de Ponta Grossa, mas como a imagem é de duas horas antes (12 h), a frente fria com nuvens de intensidade moderada, pode ter se movimentado

para Ponta Grossa e provocado vendavais, já que o evento foi registrado às 14 h (Figura 106).

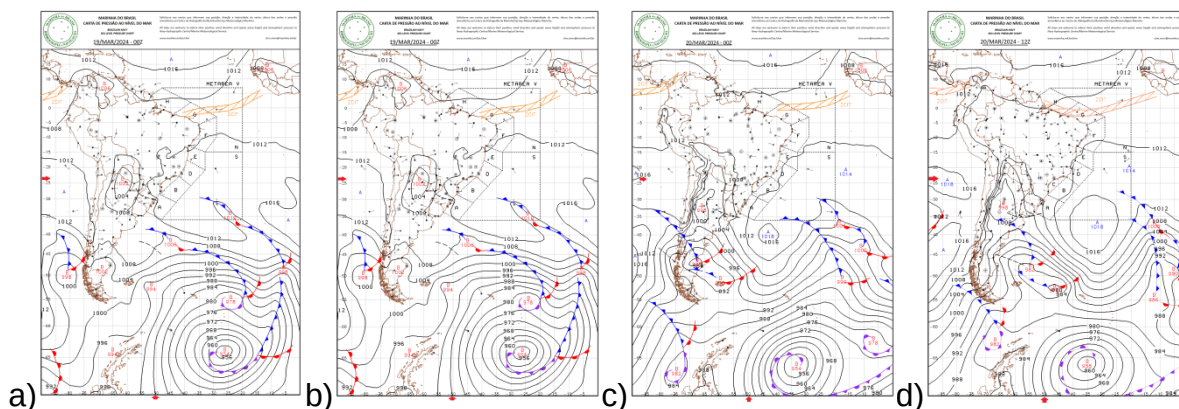
Figura 106 - Radar meteorológico do dia 21/03/2024 no Paraná



Fonte: SIMEPAR (2024)

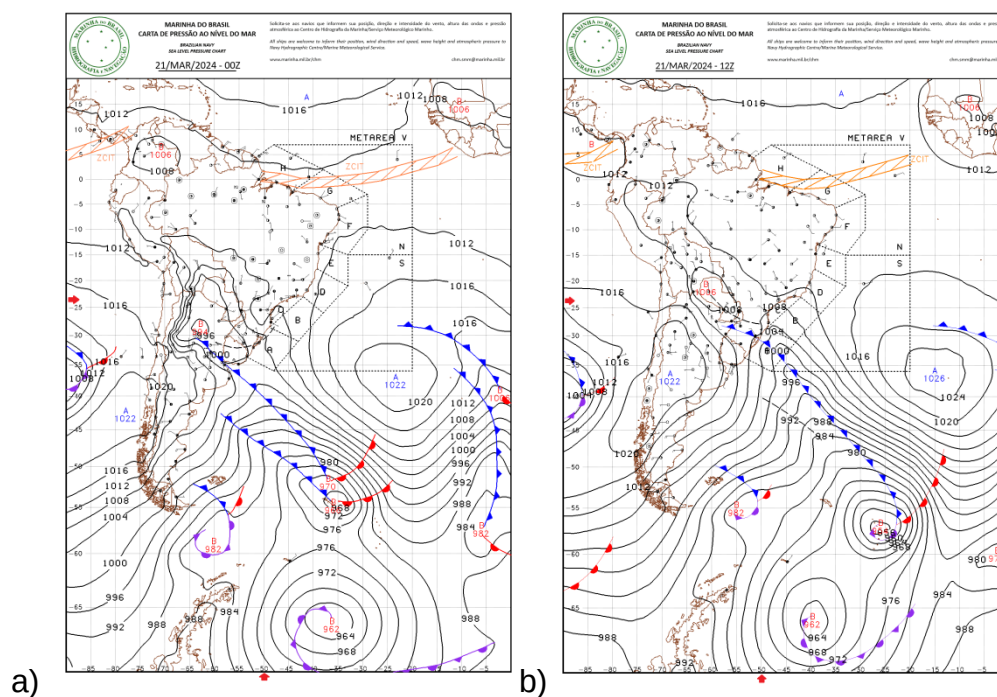
As cartas da Marinha Brasileira, para os dias 19 e 20 de março indicam, que no dia 19 de março um cavado sobre o Rio Grande do Sul, que se interligava com a baixa pressão localizada no Chaco, como também a presença da zona de alta pressão no oceano e o avanço de uma frente (Figuras 107 e 108). No dia anterior da ocorrência, uma frente avança na Argentina, no interior do continente e se estava se deslocando até o Oceano Atlântico. No norte da Argentina a baixa pressão prevalecia, e recebia influência das frentes advindas do Sul, com a maior área da região do Cone Sul apresentando instabilidade atmosférica.

Figura 107 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 19/03/2024 às 00Z e 12Z e no dia 20/03/2024 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2024)

Figura 108 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 21/03/2024 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptada de: Marinha do Brasil (2024)

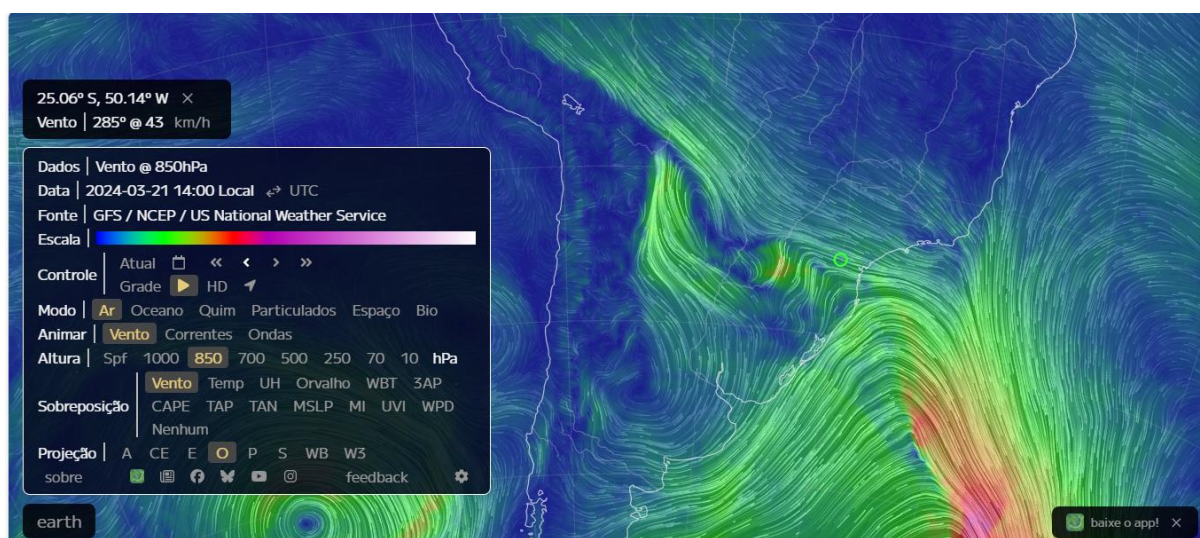
A carta da marinha brasileira (Figura 108) representa a presença da frontogêneses, ao sul do estuário platino, avançando pela Argentina e se conectando a baixa pressão do interior do continente. Uma zona de alta pressão estava presente no Oceano Atlântico, distante do continente. No dia, uma zona de baixa pressão estava presente no Paraguai e uma zona de alta pressão próximo dos Andes ao oeste da Argentina.

A carta mostra que a massa Polar ainda em organização na região central da Argentina. No interior do continente (região do Grande Chaco) havia um centro de baixa pressão e também, uma frente fria no Atlântico Sul. A baixa pressão se deslocou sobre o Rio Grande do Sul e se conectou a um sistema frontal que avançava pelo interior da Argentina, se configurando como uma ampla frente fria que avançou pelo interior da Região Sul e também pelo Atlântico. Ao deparar com ares úmidos trazidos pelo JBN, propiciou condições para chuvas abundantes e núcleos tempestuosos.

O boletim climatológico do SIMEPAR para o outono de 2024, previu menos chuvas para a estação, principalmente depois de abril. Os maiores volumes de chuva eram previstos no oeste do estado, com a vinda de frentes frias. Segundo o Boletim Agrometeorológico do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná, 2024), o regime de precipitações no estado foi menor para o ano de 2024, com o oeste do Paraná registrando índices preocupantes. A maioria dos meses, incluindo o outono estava passando por estiagem.

Na figura 109, os JBN estavam atuantes no estado do Paraná e no oceano atlântico, provocando elevada instabilidade e umidade em muitas regiões da América do Sul, provenientes da Amazônia. Os ventos advindos dos JBNs convergiam, vindos de oeste e de sul, se encontrando próximos a Ponta Grossa, e dos municípios da região.

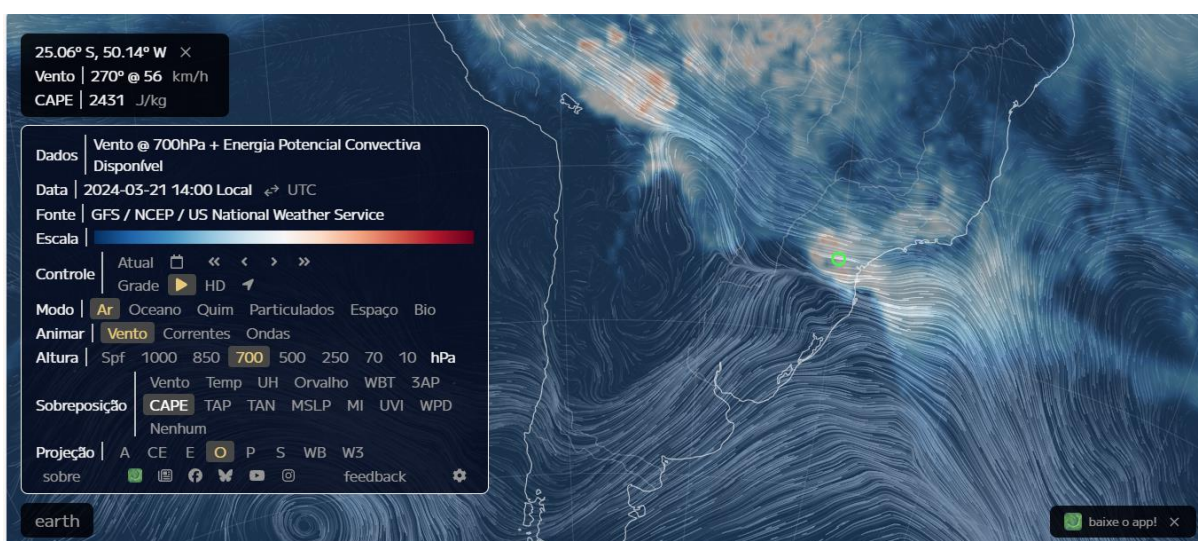
Figura 109 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 21 de março de 2024



Fonte: Earth Nullschool (2024)

Na figura 110, observa-se um ambiente propício para a formação de tempestades severas, principalmente no centro-leste do estado do Paraná, e áreas dos estados vizinhos. O município de Ponta Grossa estava registrando valores de índice CAPE para ambientes moderadamente instáveis, próximos a níveis com maior seriedade, atingindo aproximadamente 2373 J/Kg. Enquanto, em uma escala mais ampla, demais áreas da América do Sul e do Brasil estavam sujeitas a formação de eventos convectivos severos.

Figura 110 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 21 de março de 2024



Fonte: *Earth Nullschool* (2024)

Análise de danos

Os dois pontos analisados contêm disposição de danos diferentes. As rajadas de vento derrubaram somente uma árvore em uma praça com elevada arborização no centro da cidade e, destelharam uma casa com telhado vulnerável (Figura 111). As condições sinóticas eram favoráveis para tempestade severa, mas o fenômeno não ocasionou muitas ocorrências no município, atingindo áreas isoladas entre si.

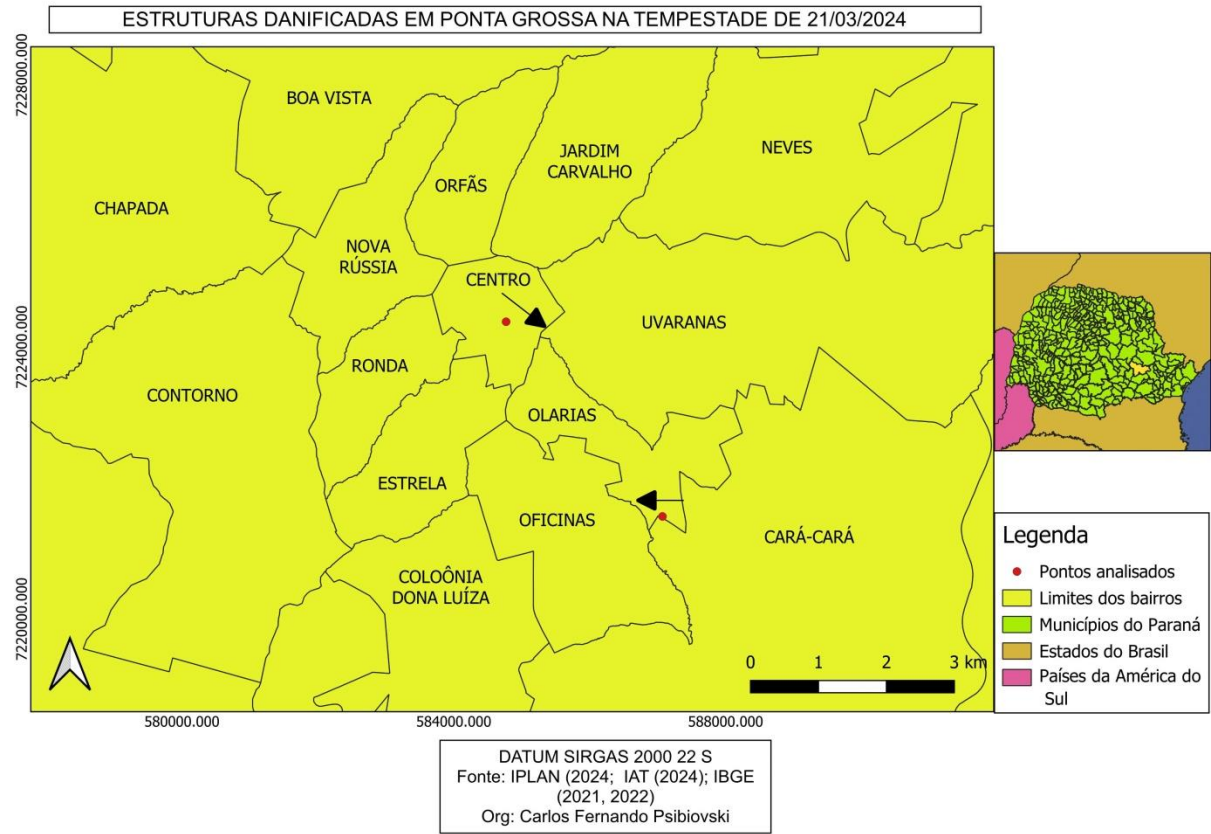
Figura 111 - Danos registrados em 21/03/2024, Ponta Grossa/PR



Fonte: Defesa Civil (2024)

O mapa (Figura 112) ilustra onde estão localizados os pontos afetados atendidos pela defesa civil municipal, e a direção da disposição de danos provocada pela tempestade. Os danos da tempestade não abrangeram 4 km de extensão na cidade de Ponta Grossa, se localizando em bairros vizinhos (Quadro 12).

Figura 112 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa, no dia 21 de março de 2024



Fonte: O autor (2025)

A análise detalhada deste evento foi prejudicada pela escassez de registros. A baixa quantidade de relatórios da Defesa Civil, somada à falta de reportagens sobre a tempestade, restringiu a análise a imagens de dois pontos, documentados pela Defesa Civil.

Quadro 11 - Informações de danos acarretados pelo vendaval em Ponta Grossa em 21 de março de 2024

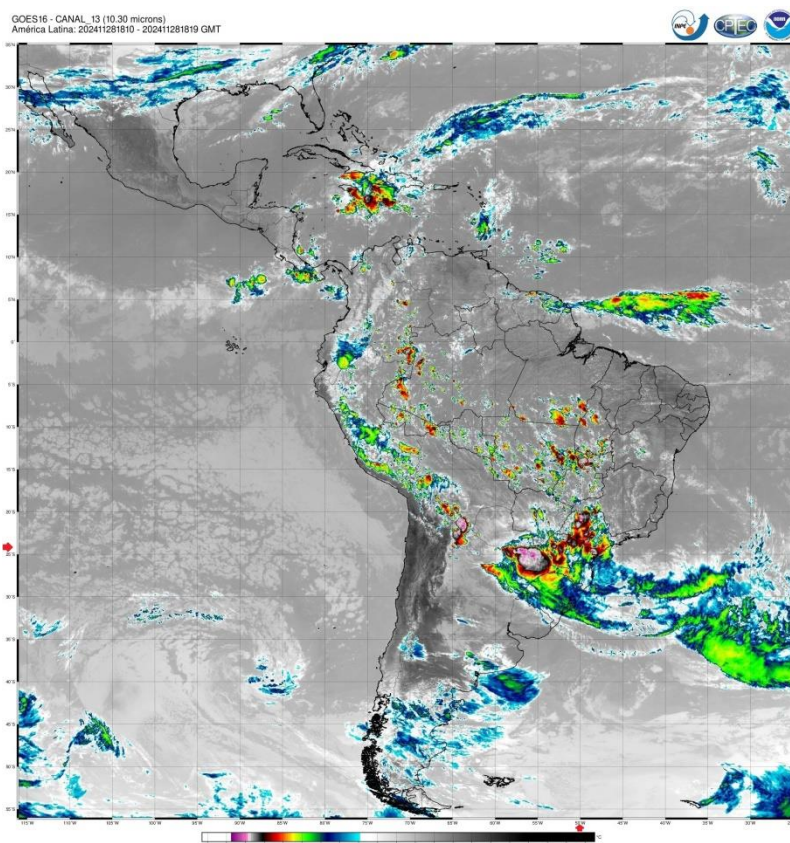
Endereço	Destruição	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairros
Praça do Rosário	Queda de árvore / noroeste para sudeste	José Adilson (dcmais, 2024); Guilherme Matavelli (a rede, 2024)	25°05'38.6"S 50°09'33.5"W	Centro
Praça Barão do Rio Branco	Queda de árvore / noroeste para sudeste	Defesa Civil	25°05'38.6"S 50°09'33.5"W	Centro
Rua Nelson Pereira Dias Junior	Queda de árvore / leste para oeste	Defesa Civil	25°07'11.*"S 50°08'10.*"W	Olarias

Fonte: O autor (2025)

4.2.9 Ocorrência do dia 28 de novembro de 2024

O Estado de São Paulo, norte do Paraná e sul do Paraguai estavam sujeitas a possibilidade de tempestades severas. De acordo com a figura 113, as nuvens de altura vertical elevada estavam com temperaturas abaixo de -70°C. Além de elevada probabilidade de tempestade, esse ambiente era propício à elevada precipitação, algo que se concretizou devido aos registros de alagamento.

Figura 113 - Imagem de satélite GOES-16 (canal 13) para a América Latina, em 28 de novembro de 2024

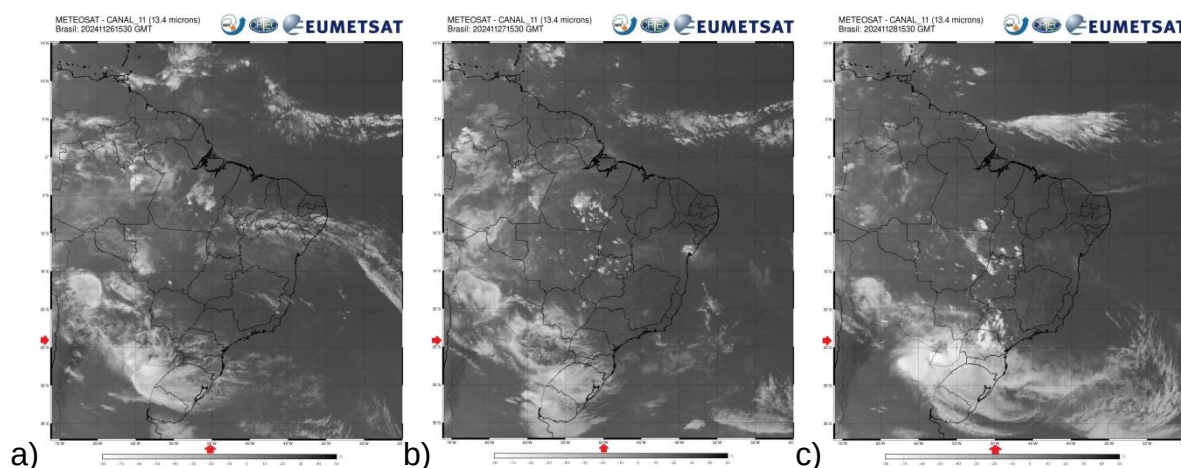


Fonte: adaptada de: CPTEC/INPE (2024)

Não estavam disponíveis as cartas da marinha do dia 28 de novembro de 2024, desse modo, foram analisada a do dia anterior. Foi possível analisar as condições sinóticas até 24 horas antes do evento, mas as condições atmosféricas mais próximas do horário da ocorrência não puderam ser analisadas.

A figura 114 registrou nebulosidade pertencente à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), como também indica a baixa pressão no Chaco e sua atuação no sul do Brasil. Borsato e Massoquim (2020a) esclarece que a ZCIT define a Massa Equatorial Atlântica, com potencial de influenciar o clima no Nordeste, havendo a presença de atuação anticiclônica e estabilidade atmosférica. A mEa não se demonstra frequente na Região Sul do Brasil, não influenciando no clima de seus estados constituintes.

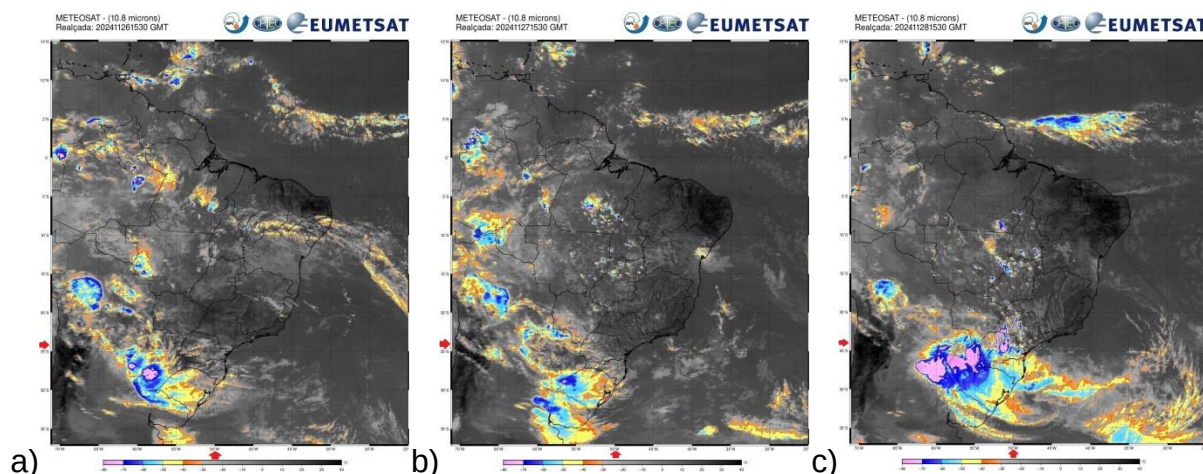
Figura 114 - Imagens de satélite Meteosat 9 (canal 11), de 26 a 28 de novembro de 2024 no Brasil



Fonte: adaptada de: Copyright 2010-2012 EUMETSAT (2024)

As imagens Meteosat 9 realçada, com imagens de dois dias antes e do dia de ocorrência, registram maior nebulosidade no Rio Grande do Sul (dias 26 e 28 de novembro), mas avançando para o Paraná. No dia 28 de novembro as instabilidades aumentaram na Região Sul, principalmente no Paraná, que recebeu nebulosidade. A imagem de satélite indica que o estado apresenta possibilidade de tempestades, principalmente as áreas centrais, registrando aglomerados de nuvens com topos de temperaturas entre -70°C e -80°C (Figura 115).

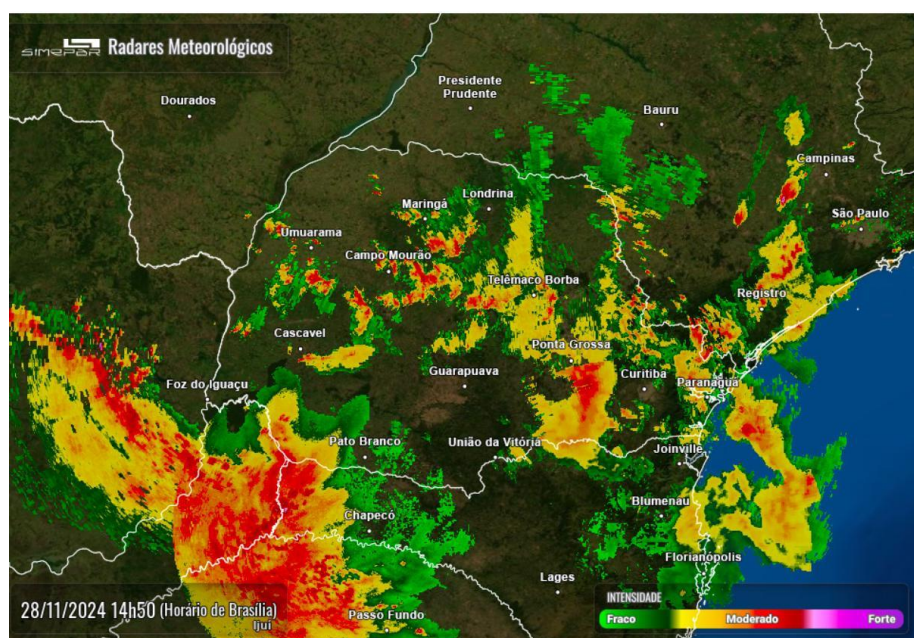
Figura 115 - Imagens de satélite Meteosat Realçada, de 26 a 28 de novembro de 2024 no Brasil



Fonte: adaptada de: Copyright 2010-2012 EUMETSAT (2024)

Na figura 116, o radar meteorológico do SIMEPAR, indica que às 14:50 horas (2h10m depois do evento), próximo a Ponta Grossa havia a atuação de nuvens de força moderada, de acordo com a legenda. As áreas com presença de precipitação se localizavam no extremo oeste de Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul, Misiones (Argentina) e o Paraguai. O estado do Paraná apresentava células menores, que poderiam se desenvolver rapidamente.

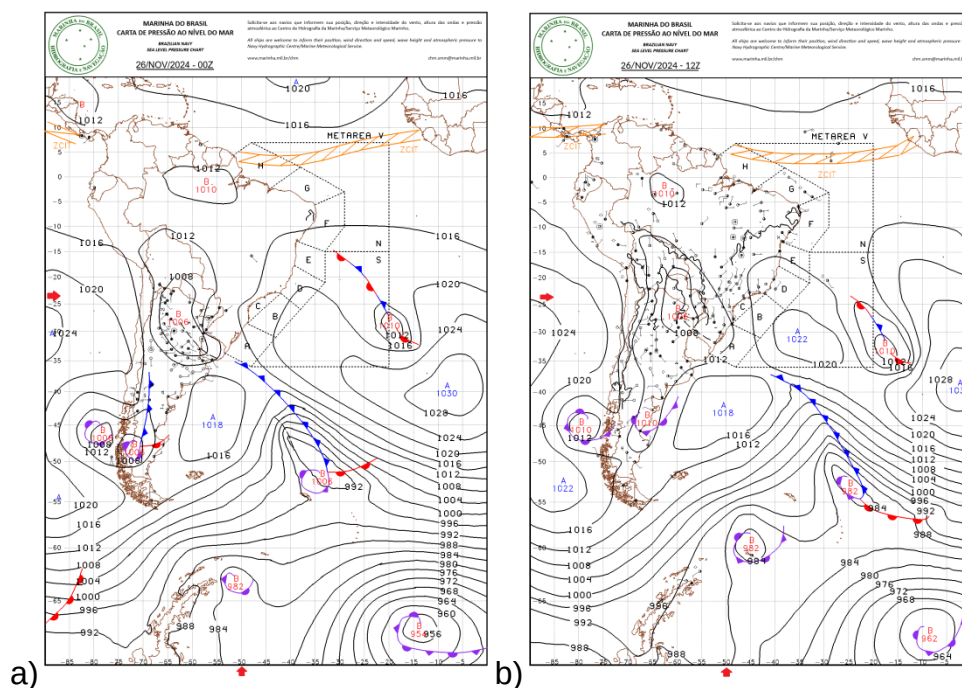
Figura 116 - Radar meteorológico do dia 28/11/2024 no Paraná



Fonte: SIMEPAR (2024)

A figura 117, registra no Norte da Argentina, a presença de uma área de baixa pressão com 1006 hPa, conectado a um cavado que se estende pelo país e pelo Uruguai. No território brasileiro predominava uma zona de baixa pressão no norte do país, e a origem de um ciclone no Oceano Atlântico Sul.

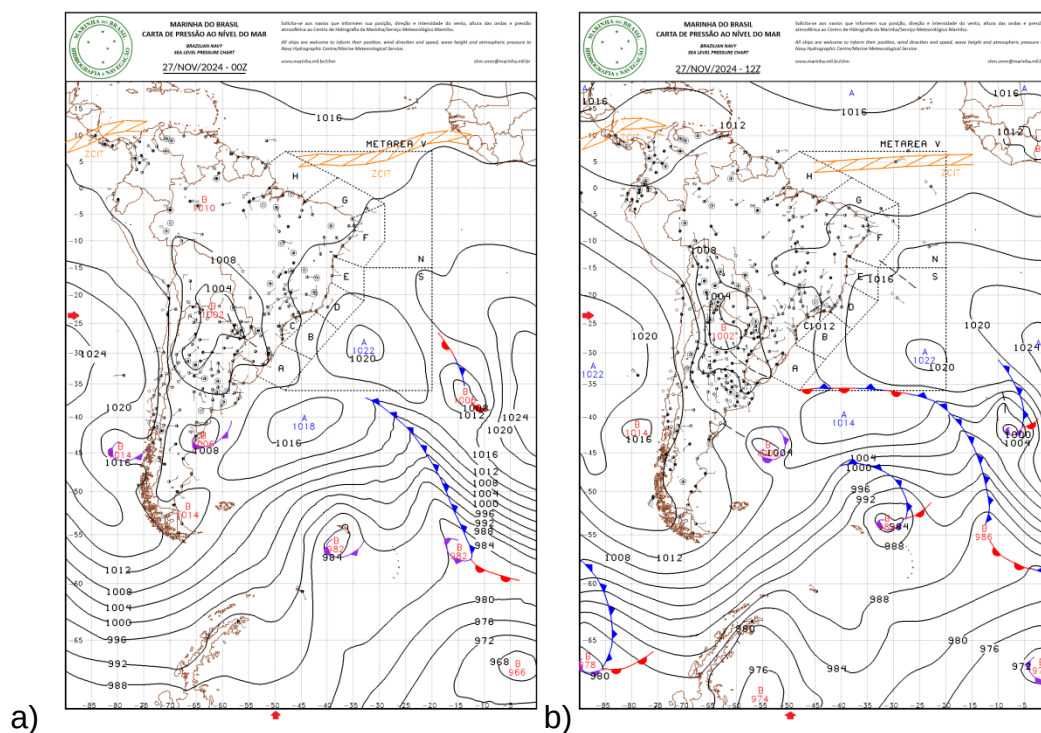
Figura 117 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 26/11/2024 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptado de: Marinha do Brasil (2024)

A figura 118, indica que havia uma área de alta pressão no Oceano Atlântico (mPa) e áreas de baixa pressão na região norte do Brasil e da Argentina, bem como o avanço de ar mais frio. Todos esses sistemas atuantes provocavam instabilidades atmosféricas na região. Se as condições meteorológicas tiverem se desenvolvido no dia seguinte, podem ter proporcionado tempo instável em várias regiões da América do Sul.

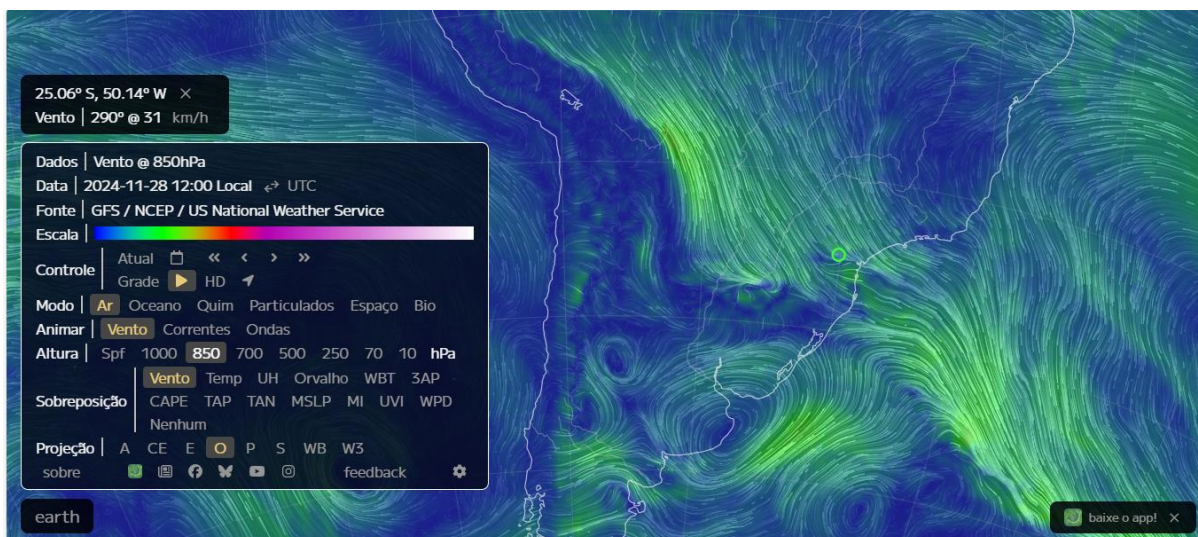
Figura 118 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 27/11/2024 às 00Z e 12Z



Fonte: adaptado de: Marinha do Brasil (2024)

A atuação dos jatos de baixos níveis, meia hora antes da ocorrência registrada, em várias áreas situadas ao norte da América do Sul, (Figura 119) indicavam o transporte de ar quente e úmido para o estado do Paraná, contribuindo para o aumento de umidade na região.

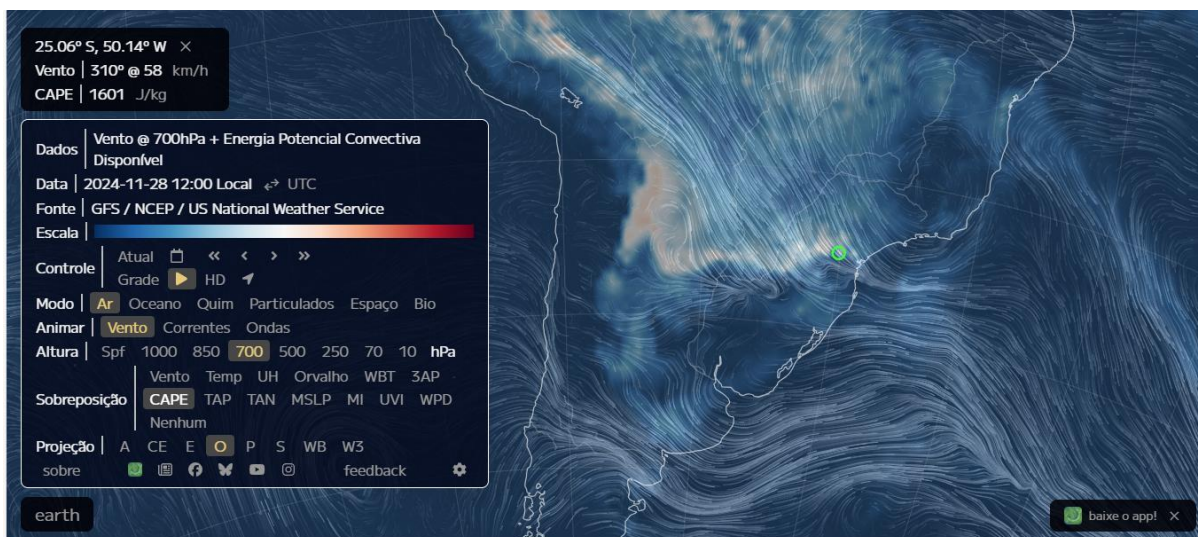
Figura 119 - Jatos de baixos níveis de pressão de 850 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 28 de novembro de 2024



Fonte: *Earth Nullschool* (2024)

Para essa ocorrência, o índice CAPE era moderadamente instável, com valores não atingindo 1800 J/kg na área urbana da cidade. As regiões centrais do estado do Paraná possuíam índices CAPE mais elevados, porém, em outras áreas, dentre elas a litorânea, o índice CAPE indicava um ambiente menos intenso.

Figura 120 - Índice CAPE com nível de pressão de 700 hPa no Centro-Sul da América do Sul em 28 de novembro de 2024



Fonte: *Earth Nullschool* (2024)

Análise dos danos

Esta ocorrência tem como destaque os episódios de alagamento, pois são escassos os pontos que foram atingidos por rajadas de ventos. Os locais em que foi possível identificar a direção em que as rajadas percorreram se distinguem imensamente entre elas, e com alguns pontos de ocorrências distantes entre si (Figura 121).

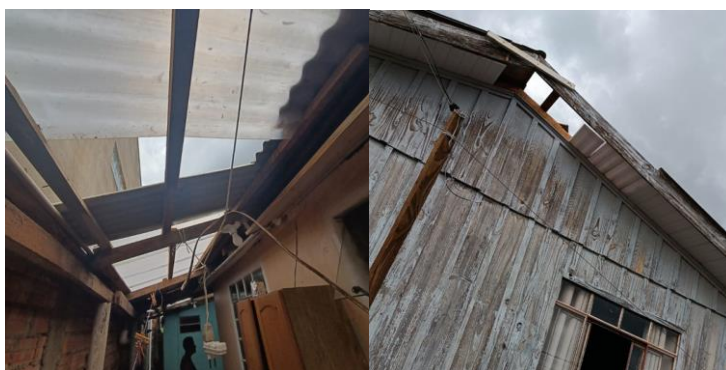
Figura 121 - Danos registrados em 28 de novembro de 2024, Ponta Grossa/PR (1)



Fonte: Márcio Lopes/aRede (2024)

A maioria dos registros de ocorrências foi de alagamento ou de danos que não permitiram a identificação da direção do vento. Poucos foram os casos de destelhamento documentados (Figura 122).

Figura 122 - Danos registrados em 28 de novembro de 2024, Ponta Grossa/PR (2)

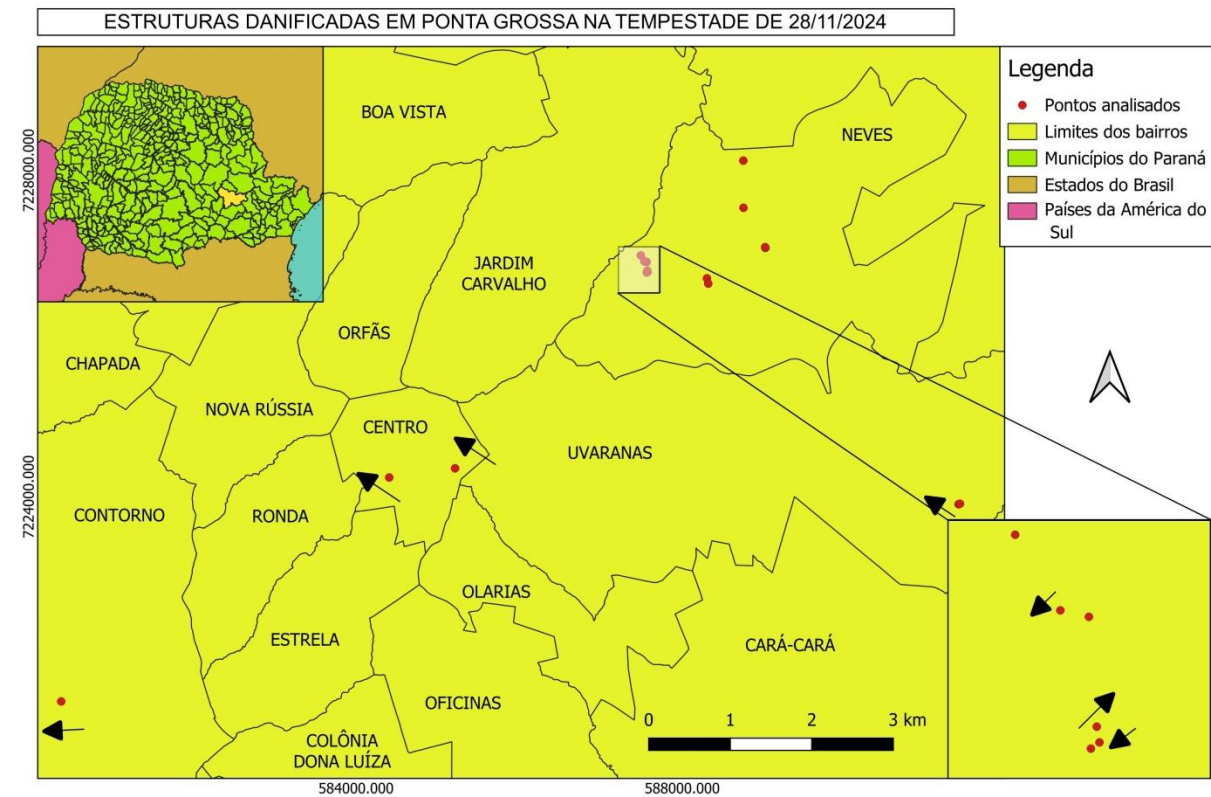


Fonte: Defesa Civil Municipal de Ponta Grossa (2024)

O mapa apresenta as áreas em que houve ocorrências atendidas pela Defesa Civil municipal, com imagens analisadas. A abrangência territorial das ocorrências foi de aproximadamente 11 km (Figura 123 e Quadro 12). Todos os pontos não estão representados com flechas indicando a disposição dos danos, já

que a maioria das ocorrências não obtiveram danos de vendavais, mas de alagamentos.

Figura 123 - Mapa de localização dos pontos analisados/afetados na área urbana de Ponta Grossa, no dia 28 de novembro de 2024



Fonte: O autor (2025)

Quadro 12 - Informações de danos acarretados pelo vendaval em Ponta Grossa em 28 de novembro de 2024

Endereço	Destruição	Fonte	Coordenadas Geográficas	Bairro
Avenida Carlito Moro	Desabamento de estruturas / leste a oeste	arede (2024)	25°07'13.1"S 50°12'09.5"W	Contorno
Avenida Doutor Vicente	Queda de árvore /	Márcio Lopes (arede, 2024)	25°05'39.3"S 50°09'17.7"W	Centro

de Machado	sudeste para noroeste			
Praça Barão de Guaraúna	Queda de árvores / sudeste para noroeste	Márcio Lopes (arede, 2024)	25°05'43.1"S 50°09'46.5"W	Centro
Rua Âmbar	Destelhamento s / nordeste para sudoeste	Defesa Civil	25°04'20.*"S 50°07'54.*"W	Neves
Rua Âmbar	Destelhamento s / quebras aleatórias	Defesa Civil	25°04'20.*"S 50°07'54.*"W	Neves
Rua Âmbar	Destelhamento s / sudoeste para nordeste	Defesa Civil	25°04'20.*"S 50°07'54.*"W	Neves
Rua Leocena	Danos no forro	Defesa Civil	25°04'16.*"S 50°07'54.*"W	Neves
Rua Leocena	Destelhamento s / nordeste para sudoeste	Defesa Civil	25°04'16.*"S 50°07'55.*"W	Neves
Rua Leocena	Danos no telhado	Defesa Civil	25°04'14.*"S 50°07'57.*"W	Neves
Rua Fagundes Varela	Alagamento	Defesa Civil	25°04'23.*"S 50°07'28.*"W	Neves
Rua José Augusto Bach	Alagamento	Defesa Civil	25°04'25.*"S 50°07'27.*"W	Neves
Rua João	Alagamento	Defesa Civil	25°04'10.*"S	Neves

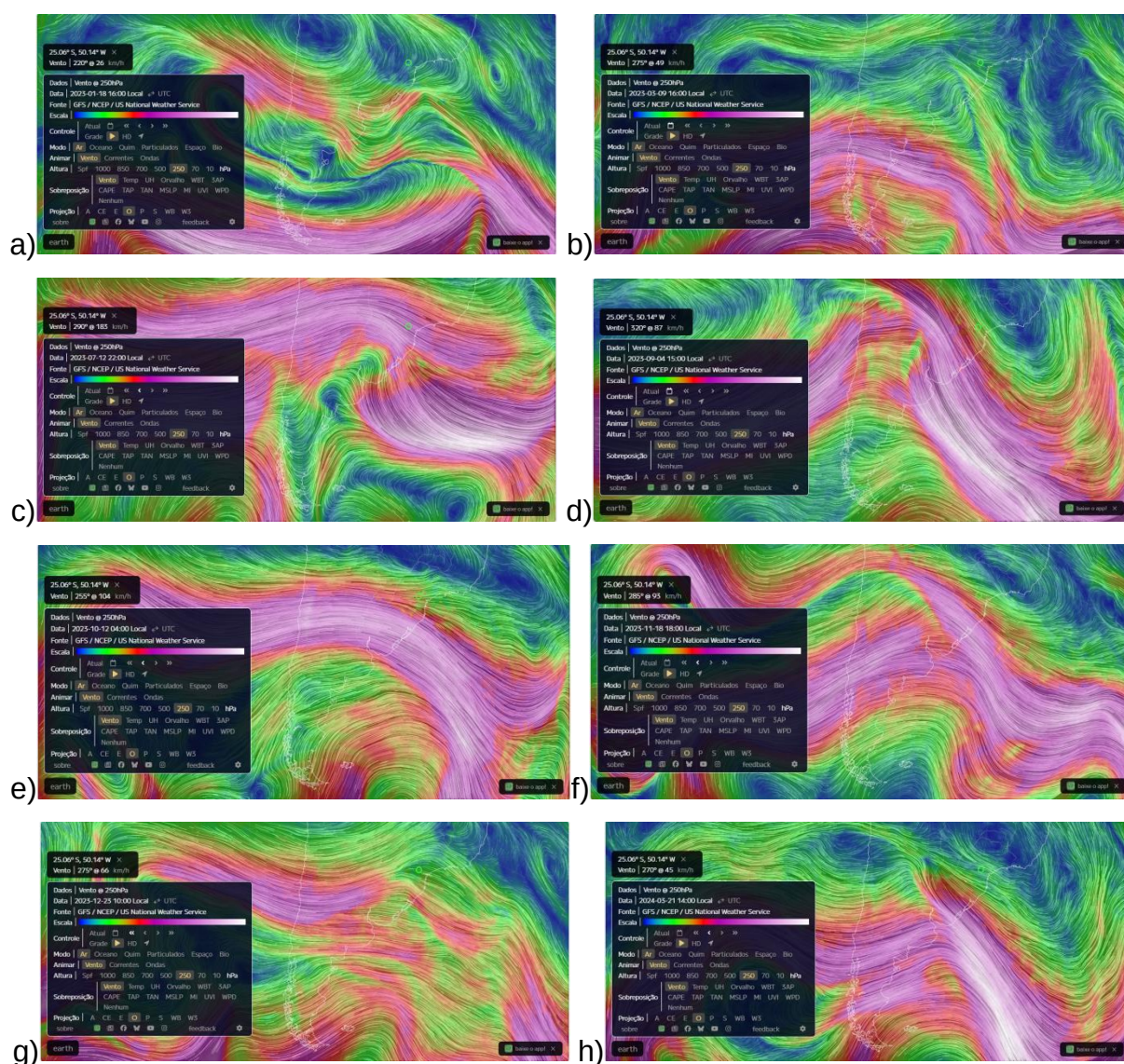
Jerônimo Simonetti			50°07'02.*"W	
Rua João Jerônimo Simonetti	Alagamento	Defesa Civil	25°04'10.*"S 50°07'02.*"W	Neves
Rua Neci Nunes Ferreira	Infiltração de água no telhado	Defesa Civil	25°03'36.*"S 50°07'12.*"W	Neves
Rua Antônio Malaquias	Alagamento e queda de muro / sudeste para noroeste	Defesa Civil	25°05'52.*"S 50°05'37.*"W	Uvaranas
Rua Antônio Malaquias	Alagamento	Defesa Civil	25°05'52.*"S 50°05'36.*"W	Uvaranas
Rua João Senger	Destelhamento / risco de desabamento	Defesa Civil	-	Neves
Rua João Jerônimo Simonetti	Danos no telhado semelhante a granizo	Defesa Civil	25°03'54.*"S 50°07'12.*"W	Neves

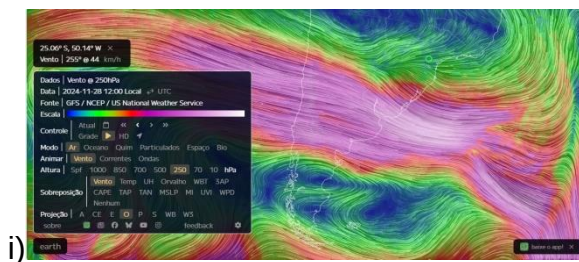
Fonte: O autor (2025)

5 PREDOMINÂNCIA DE JATOS SUBTROPICAIS DURANTE OS EVENTOS SEVEROS

Foram analisadas as condições atmosféricas no *Earth Nullschool*, a fim de ter conhecimento sobre a presença de jatos subtropicais nos dias em que ocorreram os vendavais, com pressão selecionada em 250 hPa. A figura 124 contém imagens retiradas da plataforma, pertencentes aos dias dos eventos severos, registrados em Ponta Grossa.

Figura 124 - Jatos Subtropicais em 250 hPa dos eventos de 2023 e 2024 na região sul da América do Sul





Fonte: *Earth Nullschool* (2023, 2024)

Nota: a) 18/01/23, b) 09/03/23, c) 12/07/23, d) 04/09/23, e) 12/10/23, f) 18/11/23, g) 23/12/23, 21/03/24 e 28/11/24.

Segundo o Pezzi, Rosa e Batista (2026) os Jatos subtropicais geralmente ocorrem nos limites da Célula de Hadley, entre as latitudes 20S a 35S, se movimentando para o sul ou para o norte dependendo a estação do ano.

Nas figuras 124a e 124g os Jatos subtropicais na Argentina, não estavam atuando sobre o território paranaense, mas haviam massas de ar provenientes dessa região, que influenciavam algumas áreas da Região Sul do País, inclusive o município de Ponta Grossa. Na figura 124b, os Jatos subtropicais estavam predominando no sul da América do Sul, dentre elas na Patagônia Argentina, e na figura 124i estavam atuantes no Uruguai e algumas áreas da Argentina. Na figura 124c os jatos subtropicais abrangiam todo o estado (e maior parte da Região Sul) proporcionando um ambiente em que essas regiões tinham influência direta deles.

Nas figuras 124d, 124e e 124f, os jatos subtropicais predominavam no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e nos países vizinhos da Argentina e Uruguai. Apesar de não estarem abrangendo todo o estado do Paraná, estavam presentes no sudoeste do estado, influenciando nas condições climáticas e dos ventos.

Na figura 124h os jatos subtropicais estavam presentes no extremo sul do Rio Grande do Sul, com o país vizinho (Uruguai) recebendo maior abrangência territorial e as influências diretas desse sistema, que se concentrava predominantemente nestas regiões.

Regiões com escassa influência dos jatos subtropicais estão presentes na figura 124a no norte da Argentina e do Chile e na figura 124d na Região Sudeste, em Minas Gerais.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a discussão dos resultados adquiridos na pesquisa, foram elaborados quadros síntese (quadro 13 e quadro 14) das informações obtidas dos nove eventos ocorridos em Ponta Grossa/PR.

O quadro 13 contém as informações sobre os nove eventos analisados, em que constam diversas variáveis, como quantidade de pontos atingidos, direção de disposição dos danos, velocidade do vento estimada e da rajada, e indícios sinóticos importantes para a formação de tempestade severa.

Os dados de velocidade do vento e de rajadas foram disponibilizados pela estação meteorológica da Fazenda Escola Capão da Onça, da Universidade Estadual de Ponta Grossa (FESCON-UEPG), localizado no distrito de Itaiacoca. Os dados foram disponibilizados de hora em hora, para algumas datas não se tornando possível obter os dados do momento da tempestade, sendo que foi necessário inserir no quadro abaixo o horário mais próximo da ocorrência.

Quadro 13 - Informações gerais sobre as nove ocorrências analisadas, durante os anos de 2023 e 2024 em Ponta Grossa

Data do evento	Quantidade de estruturas afetadas	Direção das estruturas em solo	Velocidade do vento (V). Rajada de vento (R). Estação FESCON – UEPG (2023, 2024)	Índice CAPE	Presença de <i>derecho</i> / <i>bow echo</i> / <i>hook echo</i>
18/01/2023	8	2 (SE-NW) 2 (NE-SW) 4 (-)	V = 25,7 km/h R = 8,25 km/h	Moderadamente instável e Muito instável	Não
09/03/2023	9	1 (S-N)	V = 12,38	Moderadamente	Não

		8 (-)	km/h R = 30,6 km/h	instável	
12/07/2023	5	3 (NW-SE) 1 (SW-NE) 1 (SE-NW)	V = 20,03 km/h R = 70,8 km/h	Marginalmente instável	Não
04/09/2023	14	2 (NW-SE) 1 (L-O) 1 (O-L) 1 (SW-NE) 4 (SE-NW)	V = 9,38 km/h R = 30,6 km/h	Marginalmente instável	Não
12/12/2023	8	7 (SE-NE) 1 (NE-SW)	V = 15,48 km/h R = 35,4 km/h	Muito instável (horas depois)	Não
18/11/2023	4	3 (SE-NW) 1 (NE-SW)	V = 15,78 km/h R = 32,2 km/h	Marginalmente instável	<i>Hook echo</i>
23/12/2023	5	2 (SW-NE) 1 (SE-NW) 1 (NE-SW) 1 (NW-SE)	V = 19,58 km/h R = 59,5 km/h	Moderadamente instável	Não
21/03/2024	2	1 (NW-SE) 1 (L-O)	V = 17,6 km/h R = 40,2 km/h	Moderadamente instável	Não
28/11/2024	17	3 (SE-NW) 1 (L-O) 1 (SW-NE) 2 (NE-SW) 10 (-)	Sem dados	Moderadamente instável	Não

Fonte: O autor

Nota: Na coluna “Direção das estruturas em solo”, está organizado: À esquerda número de estruturas afetadas, e entre parênteses separadas por hífen, os pontos cardeais e colaterais que indicam a orientação de disposição dos danos. Primeiro exemplo, de 18/01/2023, lê-se duas estruturas (de sudeste para noroeste).

De acordo com o quadro 13, o número de pontos atingidos variam de acordo com a data, a frequência. Destaca-se maior frequência de locais, de registro de ocorrência nos dias 28/11/2024 e 04/09/2023.

De modo geral, a direção das estruturas no solo foram similares em alguns eventos (12/10/23 e 18/11/23), enquanto em outros não se observou um direções predominantes (18/01/23, 09/03/23, 12/07/23, 04/09/23, 23/12/23, 21/03/24, 28/11/24) . As ocorrências com maior destaque em provocar vestígios padronizados foram as de 12 de outubro de 2023 e 18 de novembro de 2023, porém, a pequena quantidade de registros em algumas ocorrências não permitem afirmar a classificação, definição do tipo de evento gerador do vendaval.

As velocidades de rajada apresentaram valores maiores que as de velocidade do vento medidas pela estação meteorológica da Fazenda Escola, para a maioria das ocorrências, com o dia 12 de julho de 2023 possuindo o maior valor dentre os pontos analisados, registrando 70,8 km/h.

As ocorrências não registraram velocidades similares a que *downbursts* podem gerar, no entanto como a estação está localizada em uma área rural a leste da cidade, pode ter registrado valores de diferença acentuada de regiões mais distantes.

O índice de energia potencial (CAPE) indicou instabilidade moderada para a maioria das ocorrências (CAPE = 1000 a 2500 J/kg, de acordo com NWS, 2024a). A ocorrência de 12 de outubro de 2023 apresentou um aumento rápido de índice CAPE, registrando índice muito elevado (CAPE = 2500 a 3500 J/kg). Não foram registrados *derechos* nas ocorrências analisadas, e verificou-se a presença de possivelmente *Hook Echo* em 18 de novembro de 2023.

O quadro abaixo contém uma síntese das principais características sinóticas das ocorrências analisadas.

Quadro 14 - Síntese da Caracterização de Eventos Severos em Ponta Grossa (2023-2024)

Evento	Índice CAPE (J/kg)	Principal Massa de Ar Atuante - Paraná	Temp. Topo da Nuvem	Raio de Abrangência	Pressão baixa Chaco (hPa)	Direção dos Danos - Ventos Predominantes	Principais Danos	Classificação do tipo de vendaval
18/01/2023	2100 (Mod. Instável)	mEc	Sem potencial severo	~6 km	1006	SE-NW / NE-SW Divergentes	Destelhamentos leves (infraestrutura frágil)	Não Classificado
09/03/2023	1770 (Mod. Instável)	mEc / mTc	Sem potencial severo	Indeterminado	1010	S-N (Isolado)	Granizo isolado e destelhamentos	Vendaval e Granizo
12/07/2023	4 (Marginal. instável)	mPa (Frente Fria)	Sem potencial severo	~10 km	1002	NW-SE	Queda de muros e árvores	Linha de Instabilidade
04/09/2023	889 (Marginal. instável)	mPa	-70°C a -80°C	~4 km	1002	Diversas	Queda de galhos e destelhamentos	Não classificado
12/10/2023	2533 (Muito Instável)	mEc / mPa (Convecção)	-80°C a -90°C	> 5 km	1003	SW-NE (Padrão)	Queda de poste, cruz de igreja e árvores	<i>Downburst</i>
18/11/2023	333 (Marginal. instável)	mEc (Umidade)	-60 a -70 (próximo a Ponta Grossa)	~12 km	998	NE-SW	Queda de paredes (obras) e árvores	<i>Downburst</i>
23/12/2023	1177 (Mod. Instável)	mPa	~-60	Indeterminado	1006	Divergentes (Padrão)	Destelhamentos parciais	Tempestade Convectiva
21/03/2024	2373 (Mod. Instável)	mPa (Frente Fria)	-70 a -80	< 4 km	1006	NW-SE	Queda de árvores em praças	Não classificado
28/11/2024	1800 (Mod. Instável)	mPa	-30 a -40	~11 km	1006	Diversas	Queda de árvores e destelhamentos	Não classificado

Fonte: O autor (2026)

A análise comparativa dos nove eventos de desastres registrados em Ponta Grossa entre 2023 e 2024 revela que a identificação de um *downburst* é um desafio complexo, que exige a convergência de índices termodinâmicos, suporte dinâmico e padrões de danos organizados. Através da análise de dados, observa-se que o índice CAPE atuou como um indicador fundamental, mas não exclusivo, da severidade. O evento de 12 de outubro de 2023 destacou-se com o maior valor de energia potencial (2533J/kg), o que, aliado às temperaturas de topo de nuvem de -80°C observadas no satélite GOES-16, resultou em danos estruturais significativos, como a queda da cruz da Igreja São Sebastião e de postes. Este episódio, em particular, apresentou uma "assinatura" característica de *downburst*, com danos orientados predominantemente de sudoeste para nordeste.

No que tange à dinâmica sinótica, as Cartas de Pressão da Marinha e as imagens do *Earth Nullschool* confirmaram a importância do gradiente de pressão. Em eventos como o de 12 de julho de 2023, a acentuada diferença de 24 hPa entre a Baixa do Chaco e a Alta Pressão no Atlântico serviu como o motor mecânico para

as rajadas de 70,8 km/h medidas pela estação FASCON-UEPG. Contudo, a análise revelou que velocidades de vento moderadas foram capazes de gerar destruição desproporcional em bairros como Uvaranas e Jardim Carvalho. Isso ocorre porque a vulnerabilidade das edificações — caracterizada por telhados de fibrocimento antigos, ausência de forro e falta de manutenção — potencializou os danos, mascarando em alguns casos (como em 18 de janeiro de 2023) a real intensidade do fenômeno meteorológico.

Nos eventos de 12/10/2023 e 28/11/2024 a temperatura do topo da nuvem eram mais frios (abaixo de -70°C). Isso confirma a presença de nuvens de grande desenvolvimento vertical (Cumulonimbus), essenciais para gerar a corrente descendente que causa o *downburst*.

De acordo com Fujita (1985), microexplosões ocorrem em áreas de até 4 km (raio de abrangência). Acima disso, são consideradas macroexplosões. Eventos como os de 18/11/2023 (12 km) sugerem um sistema mais amplo ou uma série de células consecutivas.

A aplicação da metodologia de Fujita permitiu diferenciar os fenômenos por sua organização espacial. Enquanto os eventos de 12 de outubro e 18 de novembro de 2023 apresentaram indícios de *downbursts* devido à homogeneidade na direção das quedas, outros episódios foram classificados como vendavais associados a linhas de instabilidade ou frentes frias, como o de 21 de março de 2024. O evento de 28 de novembro de 2024 ilustrou um caso de tempestade severa onde a energia atmosférica converteu-se predominantemente em precipitação volumosa e alagamentos, em detrimento de microexplosões de vento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seis ocorrências analisadas (ao total 09 registros verificados) obtiveram as condições atmosféricas e sinóticas mostraram situações propícias para o desenvolvimento de tempestades severas para o município de Ponta Grossa. Que principalmente pelas imagens de satélite foi possível identificar nas imagens nuvens com potencial para tempestades, tais como os *downbursts*, tornados e chuva de granizo.

O índice CAPE, na maioria das ocorrências se apresentou moderadamente instável (quatro datas), em três apresentava-se marginalmente instável; e em dois eventos, dependendo da região da cidade, o índice era considerado como moderadamente instável ou muito instável. Na plataforma do *Earth Nullschool*, a ocorrência de 12 de outubro de 2023 não apresentava CAPE elevado durante a ocorrência da tempestade, mas posteriormente apresentou CAPE muito instável, se desenvolvendo rápido.

A velocidade de rajada de ventos apresentam-se mais elevadas que a velocidade de vento registrada, porém não eram semelhantes à de *downbursts*. Os *downbursts* podem ocorrer localmente, por isso, ventos mensurados nas estações não os registram, pois podem estar em uma localização distante. A dificuldade de obter dados de estações próximas dos pontos analisados distantes de Itaiacoca deve ser levada em consideração, sendo que poderiam indicar valores diferentes e contribuir para a pesquisa.

A análise de danos foi essencial para a caracterização dos eventos registrados pela Defesa Civil Municipal, e verificar se suas características correspondem a episódios de *downbursts*.

Pesquisas e treinamentos que envolvem a identificação correta dos tipos de tempestades severas (e demais tipos de desastres) se tornam necessárias frente ao aumento de registros e da necessidade de serem caracterizadas de uma maneira correta para quando forem realizadas consultas sobre os fenômenos, corresponderem o mais próximo da realidade. Também, contribuem para que haja conhecimento de quais desastres estão se tornando mais frequentes.

A necessidade de acesso a dados e informações para futuros registros de tempestades são essenciais para desenvolvimento de pesquisas do mesmo nicho de estudo. Para esta pesquisa foi necessária imagens de radar e de estação

meteorológica, com informações sobre velocidade médio de vento, desse modo investimentos em tais tecnologias contribuam para as análises de eventos severos e sua caracterização.

Pesquisas e trabalhos sociais que colaboram na prevenção e colaboração com a sociedade se tornam essenciais para que os desastres se tornem menos impactantes.

A maioria das ocorrências não possuíam características similares a *downbursts*, como árvores e telhas caídas na mesma direção ou arrancadas pelas rajadas de vento, bem como a presença de granizo, havendo ocorrências com registros de alagamentos ou de danos provocados por infraestrutura precária. Duas das nove ocorrências registraram danos e direção predominante das rajadas compatíveis com a bibliografia a *downbursts*, também, ocorreram em condições sinóticas favoráveis para tempestades severas.

A importância de construções reforçadas e de boa qualidade, se forem pensadas sempre a longo prazo evitam desastres resultantes de eventos naturais, e devem ser levadas em consideração. O acesso à informação, e a preocupação governamental na construção de prédios públicos é importante para a prevenção contra tempestades.

Para que seja possível a realização de uma análise mais aprofundada a respeito dos fenômenos ocorridos, seriam necessários melhores detalhamentos dos danos, fotografias com horário em comparação com imagens de radar. Imagens de drone seriam fundamentais para a confirmação das atividades. A situação da precariedade das residências não pode deixar de ser considerada, pois determinadas situações em que houve o acionamento da defesa civil nem sempre estariam relacionadas à grande severidade do evento e sim as condições vulneráveis da presente comunidade.

Destaca-se também que a Defesa Civil não possui o registro de todos os afetados, seja devido ao não acionamento dela ou também pela necessidade do rápido preenchimento dos relatórios para que a população possa acessar os auxílios disponibilizados. Vale ressaltar que um *downburst* ou outro tipo de evento natural pode ocorrer fora de áreas povoadas, desse modo não impactando nenhuma residência e não sendo reportado a Defesa Civil. Também, pode atingir uma região pouco habitada, em que poucas ocorrências não motivaram os moradores em acionar a defesa civil, e desse modo não originaram desastre.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Supercélulas**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/meteorologia-aeronautica/destaques-1/supercelulas>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- ALVALÁ, R, C, S; BARBIERI, A. Desastres Naturais. *In*: NOBRE, C, N; MARENGO, J, A. (Org.) **Mudanças climáticas em rede um olhar interdisciplinar** - Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas, 1ª edição, p. 203-230, 2017.
- AMERICA'S CYBER DEFENSE AGENCY. National Coordinator for Critical Infrastructure Security and Resilience. **Severe Stom**. Disponível em: <https://www.cisa.gov/topics/critical-infrastructure-security-and-resilience/extreme-weather/severe-storms#:~:text=A%20severe%20storm%20produces%20wind,gov%2Fbgm%2Fseveredefinitions>. Acesso em: 01 jul. 2025.
- BALICKI, M.; ANDRADE, A, R.; HORNES, K, L. Gênese e impacto de tempestades severas no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 479-498, jan./jun. 2020.
- BALICKI, M; HORNES, K, L; BISCHOF JUNIOR, A, B, H. Tempestades severas e mudanças nas paisagens. **Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental**, v.2, n.1, p. 84-95, 2020.
- BATISTA, F, E; FONSECA, M, N; FERENTZ, L, M, S; PINHEIRO, E, G; STRINGARI, D. Panorama da produção científica de riscos de desastres no estado do Paraná. **Revista de Geografia**. v. 38, n. 2, 2021.
- BORDEN, K, A; CUTTER, S, L. Spatial patterns of natural hazards mortality in the United States. **International Journal of Health Geographics**, v. 7, n. 64, dez. 2008. p. DOI: 10.1186/1476-072X-7-64.
- BORGES, F, F; REGO, N. Compreendendo desastres naturais e mitigando seus efeitos: o ensino escolar de geografia e os vendavais. *In*: JÚNIOR, L, M; STEVENS, D; LOPES, E, S, S; CAVARSAN, E, A; VALE, J, M, F; MAGNONI, M, G, M; TEIXEIRA, T; FIGUEIREDO, W, S. (organizadores). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**, Centro Paula Souza, São Paulo, 2017.
- BORSATO, V, A; MASSOQUIM, N, G. **O Delineamento das massas de ar no Brasil**. Curitiba: CRV, 2020a. 194 p.
- BORSATO, V, A; MASSOQUIM, N, G. Os Movimentos, as áreas de atuação e as propriedades das massas de ar no Brasil. **Revista GEOMAE**, v. 11, n. 1, 2020b. p. 27-56.

BLUESTEIN, H, B. **Severe Convective Storms and Tornadoes: Observations and Dynamics**. Springer, 2013.

BRASIL. ABNT NBR 6123. **Forças devidas ao vento em edificações**. Segunda edição, Rio de Janeiro, 2023.

BRASIL. Defesa Civil Nacional. **Atlas Digital de Desastres do Brasil**. 2024. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/graficos.xhtml>. Acesso em 26. nov. 2025.

BRASIL. Defesa Civil Nacional **Instrução Normativa nº 01, de 24 de Agosto de 2012**. 30 ago. 2012a. Acesso em: 29 jan. 2026. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Legislacao/Instrucao%20Normativa%2001%20-%20Procedimentos,%20Decretacao%20e%20Reconhecimento.pdf>.

BRASIL. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.608, de 10 de Abril de 2012**. Brasília, 10 de Abril de 2012b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm, acesso em: 17 dez. 2025.

BRUNK, I, W. Squall Lines. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v.34, n.1, jan. 1953.

BURIOL, T, M; BENETI, C. Visualização Científica Interativa de Dados de Radar Meteorológico. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**. Natal, v. 3, n. 1, 2015.

CALVETTI, L; COELHO, W, F; BENETI, C; INOUE, R, T; GONÇALVES, J, E; MASKE, B; NEUNDORF, R, L. Estudo de Caso de Tombamento de Torre de Transmissão de Energia Elétrica no Sudoeste do Paraná Durante Evento de Microexplosão. **Anuário do Instituto de Geociências**. v.40, n.03, p. 139-146, 2017.

CASTRO, A, L, C. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicinas de desastres**. Ministério de integração nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil. 5ª edição

CBS NEWS 6 ALBANY. **Today In Weather History - The Damaging North Country Squall Line - May 4, 2018**. 2024. Disponível em: <https://cbs6albany.com/weather/weather-extra/today-in-weather-history-the-damaging-north-country-squall-line-may-4-2018-major-power-outage-event>. Acesso em: 02 ago. 2025.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. Volume Brasil. 2ª edição revisada e ampliada, Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

CHANGNON, S, A. Windstorms in United States. **Nat. Hazards**, v. 59, p.1175-1187, 2011.

CIVITA, V. **Geografia Ilustrada: Brasil I**. Abril Cultural, São Paulo, 1971.

CLIMATEMPO. **Qual é a diferença entre tornado, downburst e microburst?**. 22 set. 2021. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2021/09/22/qual-a-diferenca-entre-tornado-downburst-e-microburst--2043>. Acesso em: 16 jan. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS – CNM. **Defesa Civil e Prevenção de Desastres: Como seu Município pode estar preparado**, Coletânea Gestão Pública Municipal: Gestão 2017-2020, Brasília, 2016.

DAMASCENO NETO, W, T. **Estruturas de torres sob a ação de ventos originados de downbursts**. 2012. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

DAS, K, K; DAS, H, R; GHOSH, A, K, SINHAMAHAPATRA, K, P. Damage potencial of extreme wind events - downburst and tornado. **Journal of Aerospace Engineering & Technology**. v. 6, p. 28-46, 2016.

DOLCE, C. **What A Squall Line Is And 5 Dangers They Pose, Including Destructive Straight-Line Winds, Tornadoes**. The Weather Channel. 21. mar. 2025. Disponível em: <https://weather.com/storms/tornado/news/2025-02-28-squall-line-danger-severe-weather-tornado-wind-rain-lightning>. Acesso em: 01 ago. 2025.

EM-DAT THE INTERNATIONAL DISASTER DATABASE. **EM-DAT overview More than 26,000 disaster records**. Disponível em: <https://www.emdat.be>. Acesso em: 01 maio 2025.

FALK, K, W. **Techniques for issuing severe thunderstorm and tornado warnings with the WSR-88D doppler radar**. NOAA Technical Memorandum NWS SR-185. S, Scientific Services Division, Fort Worth, 1997.

FLECHTNER, H, J, **Tú y el tiempo** - Visión de la moderna meteorología y sus principios científicos. 2. ed. Barcelona: Editorial Labor, S.A., 1956.

FORBES, G, S; WAKIMOTO, R, M. A concentrated outbreak of tornadoes, downbursts and microbursts, and implications regarding vortex classification. **American Meteorological Society**, v. 111, p.220-235, jan. 1983.

FRAGOSO, M. A utilização das imagens de radar meteorológico em climatologia. **Finisterra**. v. 31, n. 61, p. 29-42, 1996.

FUJITA, T, T. **Manual of downburst identification for project Nimrod**. 1978. Tese - Department of the Geophysical Sciences, The University of Chicago, Chicago, 1978.

FUJITA, T, T. **The downburst microburst and macroburst**. Chicago: The University of Chicago, 1985.

FUJITA, T, T. Tornadoes and Downbursts in the Contexto of Generalized Planetary Scales. **Journal of Atmospheric Sciences**. v.38, n.8, p. 1511-1534, ago. 1981.

GILL, N, S. **The Nile River and Nile Delta in Egypt**. ThoughtCo., Disponível em: <https://www.thoughtco.com/nile-river-nile-delta-in-egypt-111649>. Acesso em: 20 jul. 2025

HASSAN, F, A. Extreme Nile floods and famines in Medieval Egypt (AD 930–1500) and their climatic implications. **Quaternary International**, v. 173, 2007, p. 101–112.

HIGUCHI, N; SANTOS, J; LIMA, A, J, N; HIGUCHI, F, G; CHAMBERS, J, Q. A Floresta Amazônica e a água da chuva. **FLORESTA**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 427-434, jul./set. 2011.

HORNES, K, L; KAPP JUNIOR, A; ESTASKI, K. O que é um tornado?. In: HORNES, K, L. (organizadora) **Tornados no Brasil**. p. 17-36, Editora Toda Palavra, Ponta Grossa, 2022.

HORNES, K, L; PALHARES, J, M; BALICKI, M; ALMEIDA, N, R. Tornado. **Ciência Geográfica**. v. 19, jan./dez. 2015.

HORNES, K, L. Qual a velocidade de um tornado? In: HORNES, K, L. (organizadora) **Tornados no Brasil**. p. 17-36, Editora Toda Palavra, Ponta Grossa, 2022.

HORNES, K, L; VEDOVATO, N, A, R; BISCHOF JUNIOR, A, B. PINHEIRO, E, G. Caracterização da força destrutiva de um tornado múltiplo vórtice em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes - PR. **Revista Geografar**. Curitiba, v.17, n. 1, p. 114-136, jan./jun. 2022.

HUPPERT, H, E; SPARKS, S, J. Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**. v.364, p.1875-1888, 2006.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ. **Boletim Agrometeorológico IDR-Paraná: Anual 2024**. Governo do Paraná, 2024.

LERNER, L. **How one scientist reshaped what we know about tornadoes**. The University of Chicago, Uchicago News. 22 out. 2020. Disponível em: <https://news.uchicago.edu/story/how-one-scientist-reshaped-what-we-know-about-tornadoes>. Acesso em: 14 jan. 2025.

LIMA, E, G; LOREDO-SOUZA, A, M. Análise da ocorrência de *downburst* no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, p.32-38, 2015.

LOREDO-SOUZA, A, M; LIMA, E, G; VALLIS, M, B; ROCHA, M, M; WITTEWER, A, R; OLIVEIRA, M, G, K. Estudo comparativo entre ensaios em túnel de vento e danos em estruturas reais causados por um downburst. **XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería estructural**. Asunción, nov. 2016.

MARCELINO, E, V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa Maria, 2008.

MARENGO, J, A; SOARES, W, R. Episódios de Jatós de Baixos Níveis ao Leste dos Andes Durante 13-19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, n. 1, 2002. p. 35-52.

MARSHALL, T, P. Building Damage Issues in Tornadoes. **22nd Conference on Severe Local Storm**, AMS, 2004.

MATTOS, E, V; REBOITA, M, S; LLOPART, M, P; ENORÉ, D, P. Análise Sinótica e Caracterização Física de uma Tempestade Intensa Ocorrida na Região de Bauru-SP. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 43-1, p. 85-106, 2020.

MCDONALD, J, R. T. Theodore Fujita: His Contribution to Tornado Knowledge through Damage Documentation and the Fujita Scale. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 82, n. 1, jan. 2001.

MOREIRA, A, B; SANTOS, P, F, C; SOARES, D, B; NÓBREGA, R, S. Eventos extremos e a cidade: estudo de caso dos impactos causados por um evento climático em área urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.10, n.06, p. 1730-1745, 2017.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **2020 Iowa Derecho**. 11 abr. 2025. Disponível em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/31341/>. Acesso em 30 jan. 2026.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S. Department of Commerce. National Weather Service. **A Guide to F-Scale Damage Assessment**. Silver Spring: NWS, 2003.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Department of Commerce. Severe Weather 1001. **Hail Basics**. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/hail/>. Acesso em: 28 nov. 2025b.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S. Department of Commerce, National Environmental Satellite, Data, and Information Service. **Anvil Clouds over the Bay of Bengal**. 26 jun. 2019. Disponível em: <https://www.nesdis.noaa.gov/news/anvil-clouds-over-the-bay-of-bengal>. Acesso em: 01 ago. 2025.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. National Environmental Satellite, Data, and Information Service. Department of Commerce. **Long Squall Line Seen on GOES-East**. 30 abr. 2020 Disponível em: <https://www.nesdis.noaa.gov/news/long-squall-line-seen-goes-east>. Acesso em: 01 ago. 2025.

NATIONAL WEATHER SERVICE. National Oceanic and Atmospheric Administration. **During a High Windy Event**. Disponível em: <https://www.weather.gov/safety/wind-during>. Acesso em: 17 dez. 2025c.

NATIONAL WEATHER SERVICE. National Oceanic and Atmospheric Administration. **How do Downbursts form?** Disponível em:

<https://www.weather.gov/lmk/downburst#:~:text=Downbursts%20are%20powerful%20winds%20that,are%20sometimes%20misinterpreted%20as%20tornadoes>. Acesso em: 24 fev. 2025b.

NATIONAL WEATHER SERVICE. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Env Parameters and Indices: Convective Season Environmental Parameters and Indices**. Disponível em: <https://www.weather.gov/lmk/indices>. Acesso em: 22 maio de 2025a.

NATIONAL WEATHER SERVICE. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Straight-Line Winds vs. Tornado: What's the Difference?**. 13. Jul. 2013. Disponível em: https://www.weather.gov/iwx/2013_straight-line_winds_vs_tornado. Acesso em: 24 fev. 2025.

NAV CANADA, Aviation Meteorology Reference. **Squall Line**. Disponível em: <https://avmet.navcanada.ca/en/squall-line.aspx>. Acesso em: 01 ago. 2025.

NOAA National Severe Storms Laboratory. **Severe Weather 101 - Damaging Winds**. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/wind/types/>. Acesso em: 24 fev. 2025a.

NUNES, L, H; GOMES, A, M; HELD, G; NACCARATO, K; DE BONA, L; AMORIM, R, R; MACHADO, J, P. Evidências de um tornado em Campinas em Junho de 2016: considerações preliminares. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - I Congresso Nacional de Geografia Física**. Campinas, p. 1948-1962, jun./jul. 2017.

OLIVEIRA, T, M, G.; SCHIAVO, P, S.; DALL'ASTA, D.; FIIRST, C. Cair, levantar e recuperar: resiliência financeira dos municípios paranaenses frente a desastres climáticos. **Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência**. Foz do Iguaçu, v. 1, n. 1, p. 1020-135, set. 2019.

OLIVEIRA, L, R; MARTINS, E, F; MEDEIROS, R, M; MELLO, J, C, S. Turismo nas Ilhas Cayman: os efeitos da ocorrência de furacões na atividade turística local. Dos Algarves - **Revista da ESGHT/UAlg**. n. 20, p.23-47, 2011.

OUR WORLD IN DATA. **Global reported natural disasters by type**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/natural-disasters-by-type?time=earliest..latest>. Acesso em: 01 jul. 2025a.

OUR WORLD IN DATA. **Number of the deaths from natural disasters, World, 1900 to 2025**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/number-of-deaths-from-natural-disasters>. Acesso em: 01 jul. 2025b.

PARANÁ. Coordenadoria Estadual da Defesa Civil. **Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná - Mapa Público**. 23 dez. 2023c, 10:00. Disponível em: https://geodc.geo.pr.gov.br/geodc/pages/templates/initial_public.jsf?windowId=ce0. Acesso em: 03 ago. 2024.

PARANÁ. Coordenadoria Estadual da Defesa Civil. **Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná - Mapa Público**. 28 nov. 2024d, 12:30. Disponível em: https://geodc.geo.pr.gov.br/geodc/pages/templates/initial_public.jsf?windowId=ce0. Acesso em: 03 ago. 2024

PARANÁ. Coordenadoria Estadual da Defesa Civil. **Estado do Paraná: desastre**. 30 dez. 2023a, 18:30. Disponível em: <https://bi2.pr.gov.br/single/?appid=47cda2a2-9ddf-4ce2-ac9c-6725815479bb&sheet=83a81ddb-9fbc-459c-875d-5c5258c570fa&opt=currrel%2Cctxmenu>. Acesso em: 03 ago. 2024.

PARANÁ. Coordenadoria Estadual da Defesa Civil. **Estado do Paraná: desastre**. 31 dez. 2024a, 10:30. Disponível em: <https://bi2.pr.gov.br/single/?appid=47cda2a2-9ddf-4ce2-ac9c-6725815479bb&sheet=83a81ddb-9fbc-459c-875d-5c5258c570fa&opt=currrel%2Cctxmenu>. Acesso em: 03 ago. 2024.

PARANÁ. Coordenadoria Estadual da Defesa Civil. **Estado do Paraná: desastre** tempestade local/convectiva-vendaval. 23 dez. 2023b, 10:00. Disponível em: <https://bi2.pr.gov.br/single/?appid=47cda2a2-9ddf-4ce2-ac9c-6725815479bb&sheet=83a81ddb-9fbc-459c-875d-5c5258c570fa&opt=currrel%2Cctxmenu>. Acesso em: 03 ago. 2024.

PARANÁ. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. **Estado do Paraná: desastre** tempestade local/convectiva-vendaval. 28 nov. 2024b, 12:30. Disponível em: <https://bi2.pr.gov.br/single/?appid=47cda2a2-9ddf-4ce2-ac9c-6725815479bb&sheet=83a81ddb-9fbc-459c-875d-5c5258c570fa&opt=currrel%2Cctxmenu>. Acesso em: 03 ago. 2024.

PETERSON, C, J. Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change. **The Science of the Total Environment**. p. 287-311, 2000.

PEZZI, L, P; ROSA, M, B; BATISTA, N, N, M. A corrente de jato sobre a América do Sul. CPTEC/INPE. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/boletim/cliesp10a/jatclim.html#:~:text=A%20outra%20corrente%2C%20Jato%20Subtropical%2C%20est%C3%A1%20associada,e%20em%20dire%C3%A7%C3%A3o%20aos%20polos%20no%20ver%C3%A3o>. Acesso em: 10 mar. 2026.

PILOT INSTITUTE. **What Is a Squall Line? Pilot Weather Guide with Visuals**. Disponível em: <https://pilotinstitute.com/what-is-a-squall-line/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

PINTO, P. LEITÃO, P. **Relatório técnico: Tornado de Silves**. IPMEA, Lisboa, 2012. p. 1-20.

QUEIROZ, A, P. **Monitoramento e previsão imediata de tempestades severas usando dados de radar**. 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

REBOITA, M, S; CRESPO, N, M; GOZZO, L, F. Uma introdução à análises de massas de ar, frentes e ciclones extratropicais na América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.6, 2023. p.3263-3282.

RIBEIRO, B, Z; MACHADO, L, A; HUAMÁN CH; J, H; BISCARO, T. S. An Evaluation of the GOES-16 Rapid Scan for Nowcasting in Southeastern Brazil of a Severe Hailstorm Case. **American Meteorological Society**. v.34; p. 1829-1848. dez. 2019. DOI: 10.1175/WAF-D-19-0070.1.

RIO GRANDE DO SUL. Defesa Civil. **Saiba como se proteger em caso de vendavais, raios e granizo**. 30 abr. 2024. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/saiba-como-se-proteger-em-caso-de-vendavais-raios-e-granizo>. Acesso em: 17 dez. 2025.

ROMANIC, D; TASZAREK, M; BROOKS, H. Convective environments leading to microburst, macroburst and downburst events across the United States. **Weather and Climate Extremes**. v.37, jun. 2022.

SILVA, I, A; OSCAR-JÚNIOR, A, C. Análise episódica do downburst do dia quatorze de fevereiro de 2018, no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.32, p. 441-462, Dourados, 2023.

SISTEMA DE TECNOLOGIA E MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Boletim Climatológico**. Disponível em: https://www.simepar.br/simepar/timeline/boletim_climatologico. Acesso em: 21 nov. 2024.

SOBRINHO, H. D. R.; MELO, M. S. Análise geográfica dos destelhamentos na área urbana de Ponta Grossa (PR) entre 2005 e 2015 com base nos dados do corpo de bombeiros. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 09, n. 19, p. 138 – 168, set/dez. 2018.

THE TORNADO AND STORM RESEARCH ORGANIZATION. **About us – History**. Disponível em: <https://www.torro.org.uk/about-us>. Acesso em: 30 jan. 2026.

TOMINAGA, L, K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

UNITED STATES, **Disaster Mitigation Act of 2000, Public law 106–390 —October 30, 2000**. Disponível em: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-11/fema_disaster-mitigation-act-of-2000_10-30-2000.pdf. Acesso em: 01 jul. 2024

UNITED STATES. Federal Emergency Management Agency (FEMA). U.S Department of Homeland Security. **How FEMA Works**. U.S Department of Homeland Security. Disponível em: <https://www.fema.gov/about/how-fema-works>. Acesso em: 03 jul. 2024.

WAKIMOTO, R, M. Forecasting Dry Microburst Activity over the High Plains. **American Meteorological Society**. Los Angeles. p. 1131-1143, Jul. 1985.

WESTERN UNIVERSITY CANADA. **What is a downburst and how is it different than a tornado?**. Northern Tornadoes Project. Disponível em: https://www.uwo.ca/ntp/faqs/what_is_a_downburst_and_how_is_it_different_than_a_tornado.html#:~:text=While%20the%20rotating%20winds%20of,mostly%20from%20the%20same%20direction. Acesso em: 01 jul. 2025.

WILSON, J, W; WAKIMOTO, R, M. The Discovery of the Downburst: T. T. Fujita's Contribution. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 82, n. 1, jan. 2001.

WOLFSON, M, M. **Understanding and predicting microbursts**. 1990. Tese (Doutorado em Filosofia em Meteorologia). Massachusetts Institute of Technology, University of Michigan, Michigan, 1990.

XAVIER, D, R.; BARCELLOS, C.; BARROS, H, S.; MAGALHÃES, M, A, F, M.; MATOS, V, P.; PEDROSO, M, M. Organização, disponibilização e possibilidades de análise de dados sobre desastres de origem climática e seus impactos sobre a saúde no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**. v. 19, p. 3657-3668, set. 2014.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

1

COLETA DE DADOS COM A DEFESA CIVIL DE PONTA GROSSA – 2025

Prezado coordenador da Defesa Civil municipal de Ponta Grossa Sr. Elinton Krambeck vimos por meio deste solicitar os dados referentes a atividades de tempestades severas que ocorreram no município de Ponta Grossa nos anos de 2023 e 2024. Com o propósito de verificar a atuação de *downbursts* para a construção da dissertação de mestrado que está sendo realizada por Carlos Fernando Psibiovski, orientado pela Profa. Dr. Karin Linete Hornes – DEGEQ/UEPG do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Informamos que a pesquisa propõe realizar análise de danos originados por vendavais, e verificar se correspondem a episódios de *downbursts* no município de Ponta Grossa/PR. As informações solicitadas correspondem às imagens e endereços dos locais afetados por vendavais, durante o ano de 2023 e 2024, para a verificação da orientação dos danos. Informamos que em cumprimento da Lei nº 13.709/2018, nenhum nome ou endereço será divulgado. As localidades serão disponibilizadas na pesquisa com coordenadas aproximadas, sem a identificação do logradouro. Apenas as fotos das residências serão analisadas e divulgadas para averiguação da disposição dos danos. Após o término da pesquisa nos comprometemos a enviar os relatórios para acompanhamento do trabalho. Desde já agradecemos a prestimosa atenção e nos colocamos para quaisquer esclarecimentos.

Datos solicitados: 18/01/2023, 09/03/2023, 12/07/2023, 04/09/2023, 10/10/2023, 18/11/2023, 23/12/2023, 21/03/2024, 28/11/2024.

Dados do participante da pesquisa:

Nome: Eliz. P. V. da Silva RG: 123456789

2

Dados do pesquisador

Autor: Carlos Fernando Psibiovski.

RG: [REDACTED]

Orientadora: Karin Linete Hornes

Documento assinado digitalmente
KARIN LINETE HORNES
Data: 09/05/2025 17:22:04-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

RG: [REDACTED]

Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa

Ponta Grossa, 09 de maio de 2025

[Assinatura]

Assinatura do participante

Nota: Os números de RG foram ocultados no apêndice para preservar a privacidade dos dados pessoais

ANEXO A - TERMO DE VISTORIA DA DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE PONTA GROSSA/PR




CIDADANIA E
SEGURANÇA PÚBLICA
DEFESA CIVIL

pontagrossa.pr.gov.br

Termo:

Ponta Grossa, 05 de setembro de 2023.

TERMO DE VISTORIA

Em vistoria realizada pela **Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil COMPDEC**, em data 05/09/2023, conforme solicitação de **EMERGÊNCIA**, tendo como local dos fatos a Rua Pedro Mezzomo, Boa Vista - Ponta Grossa/PR, onde foi constatado o seguinte:

1. Devido as fortes chuvas houve destelhamento parcial de residência;
2. Foram entregues 10 (dez) chapas de fibrocimento de 04mm.




CIDADANIA E
SEGURANÇA PÚBLICA
DEFESA CIVIL

pontagrossa.pr.gov.br

Termo:

Ponta Grossa, 05 de setembro de 2023.

Fotos



Foto 2