

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

THIAGO MEJ

AVALIAÇÃO DE DANOS DE TORNADOS OCORRIDOS NO ESTADO DO PARANÁ  
UTILIZANDO A ESCALA FUJITA MELHORADA

PONTA GROSSA  
2025

THIAGO MEJ

AVALIAÇÃO DE DANOS DE TORNADOS OCORRIDOS NO ESTADO DO PARANÁ  
UTILIZANDO A ESCALA FUJITA MELHORADA

Dissertação apresentada à banca examinadora,  
como requisito parcial para obtenção do Título de  
Mestre em Gestão do Território, do Programa de Pós-  
Graduação em Geografia da Universidade Estadual  
de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karin Linete Hornes

PONTA GROSSA

2025

M515                      Mej, Thiago  
Avaliação de danos de tornados ocorridos no estado do Paraná utilizando a Escala  
Fujita Melhorada / Thiago Mej. Ponta Grossa, 2025.  
157 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. Tempestade severa. 2. Impacto socioeconômico. 3. Classificação de desastre.. 4.  
Impacto socioeconômico. 5. Tornado. I. Hornes, Karin Linete. II. Universidade Estadual de  
Ponta Grossa. Gestão do Território: Sociedade e Natureza. III.T.

CDD: 910

18/04/2025, 10:06

SEI/UEPG - 2425681 - Termo



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA**

**Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa  
- PR - <https://uepg.br>**

**TERMO THIAGO MEJ**

**"DANOS E RASTROS DE TORNADOS NO ESTADO DO PARANÁ COM A APLICAÇÃO  
DA ESCALA FUJITA MELHORADA"**

**Ponta Grossa, 21 de fevereiro de 2025**

**Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em  
Gestão do Território, no Programa 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:**

**Profa. Dra. Karin Linete Hornes - UEPG Prof. Dr. Luiz Fernando Pires - UEPG  
Prof. Dr. Leandro Redin Vestena - UNICENTRO**



Documento assinado eletronicamente por Luiz Fernando Pires, Professor(a), em 21/02/2025, às 16:35, conforme  
Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Leandro Redin Vestena, Usuário Externo, em 24/02/2025, às 18:45, conforme  
Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por karin Linete Hornes, Professor(a), em 15/04/2025, às 14:48, conforme  
Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código  
verificador 2425681 e o código CRC E652753C.

“Dedico em especial a minha amada esposa Michelle, por  
todo incentivo, apoio, paciência e compreensão”.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para a realização desta dissertação.

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me guiar meus passos.

Minha esposa por me amar e acreditar em mim.

Agradeço a meus pais pela educação que me deram.

Agradeço a professora Karin Linete Hornes pelo apoio, orientação durante toda a pesquisa. Suas experiências foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aqui agradeço aos professores Júlio Manoel França da Silva e Leandro Vestena pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Agradeço a Marinha do Brasil por disponibilizar prontamente as cartas sinóticas utilizadas neste trabalho.

Aos colegas “*Twisters*” pelos campos que fizemos.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, participaram dessa jornada. A todos, meu sincero agradecimento.

## RESUMO

Os tornados constituem fenômenos meteorológicos extremamente destrutivos que se desenvolvem em condições de alta instabilidade atmosférica. No sul do Brasil, esses eventos estão frequentemente associados a sistemas convectivos intensos. Embora a literatura registre ocorrências tornádicas na região, sua classificação sistemática ainda é incipiente, resultando em subestimativa tanto da frequência quanto da intensidade desses eventos. Diante desse cenário, torna-se imperativa a adoção de parâmetros padronizados como a Escala Fujita Melhorada (EF) para uma categorização adequada. A metodologia adotada neste estudo buscou no trabalho de Almeida et al. (2023) seis eventos severos ocorridos no estado do Paraná. A avaliação dos danos foi realizada mediante análise de registros fotográficos e videográficos obtidos em fontes diversas, incluindo mídias sociais e sites de notícias, sempre que possível coletados imediatamente após as ocorrências. Esses registros foram confrontados com os Indicadores de Danos (DI) da EF, com especial atenção ao Grau de Dano (DoD), permitindo uma classificação precisa dos eventos. Os resultados demonstraram uma significativa variação na intensidade dos ventos associados aos danos observados. Destaca-se a ocorrência de um tornado classificado como EF4 no município de Nova Laranjeiras (1997), com DI 2 e DoD 8. Eventos de categoria EF3 foram registrados em Cascavel (2023), Francisco Beltrão (2015) e Marechal Cândido Rondon (2015), afetando tanto áreas urbanas quanto rurais. Em Ponta Grossa, identificaram-se dois eventos distintos: um EF2 em 2015, que atingiu áreas residenciais, e um EF1 em 2024, com danos em zonas rurais e urbanas. A análise comparativa das imagens de dano em relação aos parâmetros da EF permitiu não apenas confirmar a natureza tornádica desses eventos, mas também estabelecer as intensidades dos ventos envolvidos. Esses resultados possuem relevância prática, fornecendo subsídios para órgãos como a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros no registro e documentação de eventos futuros. Contudo, os resultados também evidenciam a necessidade de desenvolver DI específicos para o contexto brasileiro, considerando as particularidades do sistema construtivo nacional. Tais avanços permitiriam avaliações mais precisas da vulnerabilidade das edificações e a proposição de técnicas construtivas mais adequadas. Além disso, os dados obtidos representam uma base para a formulação de políticas públicas eficazes de gestão de desastres e para o aumento da resiliência das infraestruturas e comunidades frente a eventos extremos.

Palavras-chave: Tempestade Severa, Impacto socioeconômico, Classificação de desastre.

## ABSTRACT

Tornadoes represent extremely destructive meteorological phenomena that develop under conditions of high atmospheric instability. In southern Brazil, these events are frequently associated with intense convective systems. Although the literature documents tornadic occurrences in the region, their systematic classification remains incipient, resulting in underestimation of both their frequency and intensity. This scenario makes the adoption of standardized parameters such as the Enhanced Fujita Scale (EF) imperative for proper categorization. The methodology of this study drew upon the work of Almeida et al. (2023) to examine six severe events occurring in the state of Paraná. Damage assessment was conducted through analysis of photographic and video records obtained from diverse sources, including social media and news websites, collected whenever possible immediately after the occurrences. These records were cross-referenced with the EF Damage Indicators, with particular attention to the Degree of Damage (DoD), enabling precise event classification. The results demonstrated significant variation in wind intensity associated with observed damage. Particularly noteworthy was an EF4 tornado in Nova Laranjeiras municipality (1997), with Damage Indicator (DI) 2 and DoD 8. EF3 events were recorded in Cascavel (2023), Francisco Beltrão (2015), and Marechal Cândido Rondon (2015), affecting both urban and rural areas. In Ponta Grossa, two distinct events were identified: an EF2 in 2015 impacting residential areas, and an EF1 in 2024 causing damage in both rural and urban zones. Comparative analysis of damage imagery against EF parameters not only confirmed the tornadic nature of these events but also precisely established the involved wind intensities. These findings have immediate practical relevance, providing valuable support for organizations such as Civil Defense and Fire Departments in recording and documenting future events. However, the results also highlight the crucial need to develop Damage Indicators specific to the Brazilian context, considering particularities of national construction systems. Such advances would enable more accurate assessments of building vulnerability and the proposal of more appropriate construction techniques. Furthermore, the obtained data establishes a foundation for formulating effective public policies for disaster management and enhancing infrastructure and community resilience against extreme events.

Keyword: Severe Storm, Socioeconomic Impact, Disaster Classification

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 2.1 - TORNADO EF 3 EM WAVERLY/NEBRASCA, EM 26 ABRIL DE 2024.<br>.....                                                                                                                                                                                                   | 19 |
| FIGURA 2.2 - IMAGEM DE RADAR METEOROLÓGICO <i>DOPPLER</i> , NO QUAL É POSSÍVEL VISUALIZAR UMA LINHA DE INSTABILIDADE INDICADA PELAS SETAS, SOBRE O ESTADO DO PARANÁ E SANTA CATARINA.....                                                                                      | 21 |
| FIGURA 2.3 - REPRESENTAÇÃO DA FORMAÇÃO DE TORNADOS; (A) OS VENTOS SÃO MAIS INTENSOS EM ALTURAS MAIORES E PRODUZEM UM MOVIMENTO DE ROLO SOBRE O EIXO HORIZONTAL; (B) ESTABELECE-SE O MESOCICLONE, PRODUZINDO UMA COLUNA DE AR GIRATÓRIA QUE É ORIENTADA NO PLANO VERTICAL ..... | 22 |
| FIGURA 2.4 - TORNADO COM DOIS VÓRTICES NO CONDADO DE STANTON – NEBRASKA EM 16 DE JUNHO DE 2014.....                                                                                                                                                                            | 24 |
| FIGURA 2.5 - TORNADO MÚLTIPLOS VÓRTICE EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON E QUATRO PONTES NO DIA 19 DE NOVEMBRO DE 2015. AS SETAS AMARELAS INDICAM O DIÂMETRO DO TORNADO E AS AZUIS OS VÓRTICES. ....                                                                                  | 25 |
| FIGURA 2.6 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EF0 EM 12 DE DEZEMBRO DE 2021 EM <i>HARRISBURG, MISSISSIPPI</i> . POSSÍVEL VERIFICAR A PERDA DE POUCAS TELHAS.....                                                                                                                     | 29 |
| FIGURA 2.7 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EF1 NO CONDADO DE <i>OHIO</i> , KY, EM 25 DE JUNHO DE 2018. EM “A” PERDA PARCIAL DO TELHADO, “B” ÁRVORE ARRANCADA PELA RAIZ E EM “C” ÁRVORE QUEBRADA PELO TRONCO.....                                                                  | 30 |
| FIGURA 2.8 - DANO CAUSADO POR TORNADO EF 2 NO CONDADO DE FAYETTE/EFFINGHAM – ILLINOIS EM 3 DE ABRIL DE 2018. EM “A” PERDA DO TELHADO E PAREDE EXTERNA DANIFICADA, EM “B” GARAGEM EM COLAPSO. ....                                                                              | 31 |
| FIGURA 2.9 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EF 3 NO CONDADO DE POLK/OSCEOLA, NEBRASCA EM 20 DE JUNHO DE 2011.OBSERVANDO EM (A) UM TRATOR DE PEQUENO PORTE,                                                                                                                         |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| EM (B) CASA DESTELHADA E ÁRVORES QUEBRADAS, (C) EM MEIO AS ÁRVORES QUEBRADAS NO QUADRO VERMELHO UM QUADRICICLO E EM (D) CAMINHÃO TOMBADO. ....                                                                                                                                               | 32 |
| FIGURA 2.10 - RASTRO DE DESTRUIÇÃO PROVOCADO POR TORNADO EF 4 EM <i>ROLLING FORK, MISSISSIPPI</i> NO 26 DE MARÇO DE 2023. ....                                                                                                                                                               | 33 |
| FIGURA 2.11 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EF 5 NO JOPLIN, MISSOURI, EM 22 DE MAIO DE 2011. EM (A) ESCOMBROS DE EDIFICAÇÃO, (B) CARROS RETORCIDOS, (C) VISTA DA CIDADE DESTRUÍDA E EM (D) INDICADO PELAS SETAS VERMELHAS O RASTRO DO TORNADO. ....                                             | 34 |
| FIGURA 2.12 - ISOPLETAS DA VELOCIDADE BÁSICA $V_0$ (M/S).....                                                                                                                                                                                                                                | 40 |
| FIGURA 3.1 - IMAGEM DE RADAR DOPPLER REVELANDO A ASSINATURA DE UM VÓRTICE TORNÁDICO (TVS). ....                                                                                                                                                                                              | 48 |
| FIGURA 3.2 - IMAGEM DE RADAR DOPPLER REVELANDO UM ECO DE GANCHO DESTACADO PELO RETÂNGULO BRANCO.....                                                                                                                                                                                         | 49 |
| FIGURA 3.3 - TEMPESTADES OBSERVADAS POR MARION, TRAPP E NESBITT (2019, P. 520) COM O GOES-16. NAS FIGURAS TERMAIS (A) E (B) INDICAM O TORNADO; EM (C) E (D) OS PONTOS BRANCOS INDICAM O TORNADO EM IMAGEM DBZ. ....                                                                          | 52 |
| FIGURA 3.4 - DISTRIBUIÇÃO GLOBAL ESTIMADA DA FREQUÊNCIA ANUAL DE TORNADOS POR 10.000 KM <sup>2</sup> . ....                                                                                                                                                                                  | 54 |
| FIGURA 3.5 - OCORRÊNCIAS DE TORNADOS NO BRASIL DE 1975 A 2018 .....                                                                                                                                                                                                                          | 55 |
| FIGURA 4.1 - INDICAÇÃO DO RASTRO DE DESTRUIÇÃO (SETA AZUL) PROVOCADO POR TORNADO EM 20 DE MAIO DE 2013 EM MOORE, OKLAHOMA, COM VARIAÇÕES NA EF. AS SETAS VERMELHAS INDICAM A CONVERGÊNCIA PARA O RASTRO E OS NÚMEROS EM VERMELHO A EF.....                                                   | 61 |
| FIGURA 4.2 - OBJETOS LANÇADOS EM FORMA DE “MÍSSIL” DURANTE O TORNADO EM JOPLIN- MISSOURI EM 22 DE MAIO DE 2011 - “A” PEDAÇOS DE MADEIRA TRANSPASSAM A PAREDE, EM “B” CHAPA DE METAL CRAVADA EM ÁRVORE, “C” COMPENSADO CRAVADO EM PAREDE E EM “D” DOBRADIÇA CRAVADA EM TRONCO DE ÁRVORE ..... | 62 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 4.3 - ÁRVORES QUEBRADAS E ARRANCADAS POR EVENTO TORNÁDICO EM BIRMINGHAM, ALABAMA EM 2011. ....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 63 |
| FIGURA 4.4 - DANOS PROVOCADOS POR TORNADO EM BATHURST - NEW SOUTH WALES / AUSTRÁLIA EM 30/09/2021. CONTENDO ÁRVORES ARRANCADAS (QUADRADO VERMELHO) ESTRUTURA COMPLETAMENTE DESTRUÍDA, CAMINHÃO TOMBADO (QUADRADO LARANJA) E OS MATERIAIS ORIENTADOS (EM AMARELO). ....                                                                                                | 64 |
| FIGURA 4.5 - EM “A” ÁREA DO HOSPITAL E SINALIZADA PELO RETÂNGULO VERMELHO LOCAL DA VIGA DESLOCADA, VEÍCULOS ARREMESSADOS (CÍRCULOS AMARELOS) E O DESLOCAMENTO DE VIGA DE CONCRETO EM “B”. ....                                                                                                                                                                        | 65 |
| FIGURA 4.6 - LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DOS TORNADOS ESTUDADOS .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 66 |
| FIGURA 4.7 - CARTA SINÓTICA DE 13 DE JUNHO DE 1997 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 67 |
| FIGURA 4.8 - RESIDÊNCIAS ATINGIDAS PELO TORNADO OCASIONADAS POR TORNADO EM JUNHO DE 1997, EM NOVAS LARANJEIRAS, PARANÁ. EM “A” UMA RESIDÊNCIA PARCIALMENTE DESTELHADA E AO REDOR OUTRAS DESTRUÍDAS E UM VEÍCULO TOMBADO. EM “B” ESCOMBROS DE RESIDÊNCIA, EM “C” ESCOMBROS DE RESIDÊNCIA E PAREDES DE ALVENARIA DANIFICADAS, EM “D” RESIDÊNCIA DESTRUÍDA AO MEIO. .... | 69 |
| FIGURA 4.9 - VEÍCULOS DESTRUÍDOS POR TORNADO EM JUNHO DE 1997, EM NOVAS LARANJEIRAS, PARANÁ. EM “A” CAMINHÃO DESLOCADO, EM “B” VEÍCULO QUE FOI ARREMESSADO, EM “C” ÔNIBUS TOMBADO EM “D” CAMINHÃO TOMBADO.....                                                                                                                                                        | 70 |
| FIGURA 4.10 - COLAPSO DE ESTRUTURAS INDUSTRIAIS OCASIONADAS PELO TORNADO EM JUNHO DE 1997, EM NOVAS LARANJEIRAS, PARANÁ. ....                                                                                                                                                                                                                                         | 71 |
| FIGURA 4.11 - ÁRVORES QUEBRADAS POR AÇÃO DO TORNADO, EM JUNHO 1997, NOVA LARANJEIRAS, PARANÁ. ....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 72 |
| FIGURA 4.12 - PEDAÇO DE TABUA CRAVADO EM TRONCO DE ÁRVORE, EM JUNHO 1997, NOVA LARANJEIRAS, PARANÁ. ....                                                                                                                                                                                                                                                              | 72 |

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 4.13 - CARTA SINÓTICA EM 14 DE JULHO DE 2015, EVIDENCIANDO PELA LETRA “B” AS BAIXAS PRESSÕES, JUNTAMENTE COM ATUAÇÃO DA FRENTE FRIA (INDICADO EM AZUL) E AS MASSAS DE AR QUENTE (EM VERMELHO). .... | 74 |
| FIGURA 4.14 - VEÍCULOS DESTRUÍDOS POR TORNADO DE 13 DE JULHO DE 2015 EM FRANCISCO BELTRÃO - PR. ....                                                                                                       | 75 |
| FIGURA 4.15 - DANOS SEVEROS CAUSADOS POR TORNADO NO DIA 13 DE JULHO DE 2015 NA ÁREA RURAL DE FRANCISCO BELTRÃO - PR, INCLUINDO DESTRUIÇÃO DE ESTRUTURAS E ÁRVORES ARRANCADAS. ....                         | 76 |
| FIGURA 4.16 - ÁREA FLORESTAL SEVERAMENTE DANIFICADA POR TORNADO EM 13 DE JULHO DE 2015 EM FRANCISCO BELTRÃO - PR. ....                                                                                     | 78 |
| FIGURA 4.17 - AVIÁRIO DESTRUÍDO POR TORNADO EM 13 DE JULHO DE 2015 EM FRANCISCO BELTRÃO - PR. ....                                                                                                         | 79 |
| FIGURA 4.18 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EM ÁREA RURAL DE FRANCISCO BELTRÃO, DESTACANDO A DESTRUIÇÃO DE RESIDÊNCIAS E A DISPERSÃO DE ESCOMBROS PELO VÓRTICE DO TORNADO EM 13 DE JULHO DE 2015. ....        | 80 |
| FIGURA 4.19 - CARTA SINÓTICA DE 11 DE NOVEMBRO DE 2015 .....                                                                                                                                               | 82 |
| FIGURA 4.20 - DANO CAUSADO POR TORNADO EM PLANTA AGROINDUSTRIAL EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR, 11 DE NOVEMBRO DE 2015. ....                                                                                | 83 |
| FIGURA 4.21 - ÁRVORES DANIFICADAS PELA PASSAGEM DO TORNADO EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON, 15 DE NOVEMBRO DE 2015. ....                                                                                        | 84 |
| FIGURA 4.22 - DANOS SEVEROS EM ESTRUTURAS INDUSTRIAIS CAUSADOS POR TORNADO EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON, 15 DE NOVEMBRO DE 2015: COLAPSO DE ESTRUTURAS METÁLICAS E ALVENARIA. ....                           | 86 |
| FIGURA 4.23 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EM ÁREA RESIDENCIAL DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON EM 15 DE NOVEMBRO DE 2015. ....                                                                                    | 87 |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 4.24 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EM 15 DE NOVEMBRO DE 2015, EM ESTRUTURAS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON..... | 88  |
| FIGURA 4.25 - CARTA SINÓTICA DO DIA 04 DE DEZEMBRO DE 2023 .....                                                                            | 90  |
| FIGURA 4.26 - DANOS EM ÁRVORES CAUSADAS PELO TORNADO DE 04/12/2023 EM CASCAVEL.....                                                         | 91  |
| FIGURA 4.27 – RASTRO EM VEGETAÇÃO PROVOCADA PELO TORNADO DE 04/12/2023 EM CASCAVEL.....                                                     | 92  |
| FIGURA 4.28 - RASTRO DE DESTRUIÇÃO DO TORNADO DE 04/12/2023 EM CASCAVEL .....                                                               | 93  |
| FIGURA 4.29 - CARTA SINÓTICA DO DIA 27 DE SETEMBRO DE 2015.....                                                                             | 94  |
| FIGURA 4.30 - MOVIMENTAÇÃO DA ATMOSFERA COM JATOS DE BAIXOS NÍVEIS E JATOS POLARES EM 27/09/2015. ....                                      | 95  |
| FIGURA 4.31 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EM 27/09/2015 NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA.....                                                    | 96  |
| FIGURA 4.32 - DANOS CAUSADOS POR TORNADO EM IMÓVEIS COMERCIAIS NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA EM 27/09/2015. ....                             | 98  |
| FIGURA 4.33 - LOCALIZAÇÃO DO DESLOCAMENTO DE OBJETO LANÇADO PELO TORNADO EM PONTA GROSSA EM 27/09/2015.....                                 | 99  |
| FIGURA 4.34 - EVIDÊNCIAS DE MISSEIS DO TORNADO EM PONTA GROSSA EM 27/09/2015.....                                                           | 100 |
| FIGURA 4.35 - DANO CAUSADO EM ÁRVORES PELO TORNADO EM PONTA GROSSA NO JARDIM AMÁLIA EM 27/09/2015. ....                                     | 101 |
| FIGURA 4.36 - DANOS E ROTAÇÃO DE TELHADO EM RESIDÊNCIA LOCALIZADA NO JARDIM AMÁLIA, PONTA GROSSA -PR, EM 27/09/2015....                     | 102 |
| FIGURA 4.37 - CARTA SINÓTICA .....                                                                                                          | 103 |
| FIGURA 4.38 - DANOS CAUSADOS EM VEGETAÇÃO PELO TORNADO NA FAZENDA ESCOLA DA UEPG EM 05/04/2024. ....                                        | 105 |
| FIGURA 4.39 - EVIDÊNCIAS DE MISSEIS LANÇADOS PELO TORNADO EM 05/04/2024.....                                                                | 106 |
| FIGURA 4.40 - DESTRUIÇÃO DO TELHADO EM EMPRESA DE PESQUISA AGRÍCOLA E MISSEIS LANÇADOS PELO TORNADO EM 05/04/2024, EM PONTA GROSSA. ....    | 107 |

FIGURA 4.41 - DANOS CAUSADOS PELO TORNADO DE 05/04/2024 NA FAZENDA  
ESCOLA DA UEPG..... 109

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| QUADRO 1 - ESCALA FUJITA, VERSÃO DE 1971 .....                                                        | 27  |
| QUADRO 2 - CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE TORNADOS. ....                                             | 35  |
| QUADRO 3 - INDICADORES DE DANOS APRIMORADOS NA EF. ....                                               | 36  |
| QUADRO 4 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS TECNOLOGIAS DE IDENTIFICAÇÃO<br>DE TORNADOS NOS ESTADOS UNIDOS..... | 44  |
| QUADRO 5 - DIRETRIZES GERAIS DE REFLETIVIDADE.....                                                    | 50  |
| QUADRO 6 - DOD CONFORME DI 2 - RESIDÊNCIAS PARA UMA E DUAS<br>FAMÍLIAS.....                           | 59  |
| QUADRO 7 - EF APLICADA NA ÁREA DE ESTUDO. ....                                                        | 110 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| ASAS    | Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul                     |
| CAPE    | <i>Convective Available Potential Energy</i>                 |
| CCMs    | Complexos Convectivos de Mesoescala                          |
| Cobrade | Codificação Brasileira de Desastres                          |
| Codar   | Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos                   |
| dBZ     | Unidade de decibéis de refletividade                         |
| DI      | <i>Damage Indicator</i>                                      |
| DoD     | <i>Degree of Damage</i>                                      |
| EF      | Escala Fujita Melhorada                                      |
| EXP     | Valor Esperado                                               |
| F       | Escala Fujita                                                |
| FAA     | <i>Federal Aviation Administration</i>                       |
| GOES    | <i>Geostationary Operational Environmental Satellites</i>    |
| JBN     | Jatos de Baixos Níveis                                       |
| LB      | Limite Inferior                                              |
| LFS     | <i>Free Sinking Level</i>                                    |
| LI      | Linhas de Instabilidade                                      |
| LIFFT   | <i>Low-Level Internal Flows in Tornadoes</i>                 |
| MRMS    | <i>Multi-Radar/Multi-Sensor</i>                              |
| NSSFC   | <i>National Severe Storms Forecast Center</i>                |
| NSSL    | <i>National Severe Storms Laboratory</i>                     |
| NOAA    | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>       |
| NWS     | <i>National Weather Service</i>                              |
| OSF     | <i>Operational Support Facility</i>                          |
| SIMEPAR | Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná    |
| SPC     | <i>Storm Prediction Center</i>                               |
| SSC     | <i>Service Station Canopy</i>                                |
| TDA     | <i>Tornado Detection Algorithm</i>                           |
| TORUS   | <i>Targeted Observation by Radars</i>                        |
| TVS     | <i>Tornado Vortex Signature</i>                              |
| UAS     | <i>Uncrewed Aircraft Systems</i>                             |
| UB      | Limite Superior                                              |
| UN-ISDR | <i>The United Nations Office for Disaster Risk Reduction</i> |
| WRS     | <i>Weather Surveillance Doppler Radar</i>                    |
| ZCAS    | Zona de Convergência do Atlântico Sul                        |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                 |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                                                               | <b>16</b>  |
| 1.1      | Procedimentos Metodológicos                                                                                     | 17         |
| <b>2</b> | <b>TORNADOS</b>                                                                                                 | <b>19</b>  |
| 2.1      | Tipos de Tornados                                                                                               | 23         |
| 2.2      | Classificação de Tornados                                                                                       | 25         |
| 2.3      | Escala Fujita                                                                                                   | 26         |
| 2.4      | Escala Fujita Melhorada (EF)                                                                                    | 27         |
| 2.5      | Critérios de Classificação da força destrutiva dos Tornados                                                     | 34         |
| 2.6      | Sistemas Construtivos Norte Americano e Brasileiro                                                              | 37         |
| <b>3</b> | <b>ATIVIDADES TORNÁDICAS</b>                                                                                    | <b>42</b>  |
| 3.1      | Histórico de Estudos sobre Tornados                                                                             | 42         |
| 3.2      | Distribuição Geográfica de Tornados                                                                             | 54         |
| <b>4</b> | <b>ESTRUTURA DE DANOS CAUSADOS POR TORNADOS: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE A PARTIR DE ESTUDOS DE CASOS NO PARANÁ</b> | <b>57</b>  |
| 4.1      | Análise de Padrões de Danos                                                                                     | 57         |
| 4.2      | Estudos de Casos de Tornados no Paraná                                                                          | 65         |
| 4.2.1    | Tornado de Nova Laranjeiras em 13 de junho de 1997                                                              | 67         |
| 4.2.2    | Tornado Francisco Beltrão- PR em 13 de julho de 2015                                                            | 73         |
| 4.2.3    | Tornado de Marechal Cândido Rondon ocorrido em 11 de novembro de 2015                                           | 81         |
| 4.2.4    | Tornado em Cascavel – PR em 04 de dezembro de 2023                                                              | 89         |
| 4.2.5    | Tornado em Ponta Grossa – PR em 27 de setembro de 2015                                                          | 93         |
| 4.2.6    | Tornado em Ponta Grossa – PR em 05 de abril de 2024                                                             | 103        |
| 4.2.7    | Intensidade e subsídios a classificação de tornados no Paraná com base nos danos                                | 109        |
|          | <b>CONCLUSÃO</b>                                                                                                | <b>113</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                              | <b>116</b> |
|          | <b>ANEXO A - INDICADORES DE DANOS DA ESCALA FUJITA MELHORADA</b>                                                | <b>129</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Os tornados estão entre os fenômenos meteorológicos mais intensos e destrutivos, surgindo em condições de alta instabilidade atmosférica e frequentemente associados a sistemas convectivos. Embora sejam bem documentados em regiões como o centro dos Estados Unidos, sua ocorrência no Brasil, particularmente na região Sul, permanece subnotificada e pouco compreendida. Essa lacuna no conhecimento deve-se, em parte, à frequente confusão entre tornados e ventanias fortes, resultando em uma subestimação da frequência e intensidade desses eventos nos registros estatísticos. Conforme observado por Hornes (2022, p. 94), "os números apresentados pelo Atlas não refletem as ocorrências reais, que provavelmente são muito superiores às contabilizadas pelos órgãos da Defesa Civil". A falta de classificação imprecisa dificulta a avaliação de riscos, a mitigação de desastres e a segurança pública nas áreas afetadas.

A classificação de tornados depende da identificação e análise de padrões de danos, geralmente utilizando a Escala Fujita Melhorada (EF). No entanto, no Brasil, a aplicação de tais metodologias é limitada pela ausência de indicadores de danos adaptados às práticas construtivas locais. Isso ressalta a necessidade de estudos que não apenas classifiquem eventos tornádicos, mas também adaptem metodologia internacionais ao contexto brasileiro. Abordar essa lacuna é crucial para melhorar a precisão dos registros de tornados e desenvolver estratégias eficazes para mitigar seus impactos.

Este estudo concentra-se na análise e classificação de danos causados por tornados em cinco municípios do estado do Paraná, na região Sul do Brasil. Utilizando a EF e seus DIs e DoDs, foram avaliados seis eventos históricos de tornados com base em registros fotográficos e em vídeo coletados de sites e mídias sociais. Os eventos incluem o tornado EF 4 em Nova Laranjeiras (1997), que afetou aproximadamente 80% do município, além de tornados EF 3 em Cascavel (2023), Francisco Beltrão (2015) e Marechal Cândido Rondon (2015). Adicionalmente, dois eventos em Ponta Grossa, um tornado EF 2 em 2015 e um tornado EF 1 em 2024. Foram analisados para fornecer uma visão abrangente dos impactos de tornados na região.

Ao classificar sistematicamente esses eventos, este estudo visa contribuir para uma melhor interpretação dos danos provocados por atividade tornádica no Brasil e

fornece uma base para futuras pesquisas sobre indicadores de danos adaptados aos sistemas construtivos locais. Os resultados têm implicações práticas para os órgãos da Defesa Civil e formuladores de políticas, oferecendo percepções para melhorar a resiliência das edificações e as estratégias de resposta a desastres.

### 1.1 Procedimentos Metodológicos

Para o cumprimento dos objetivos propostos, adotou-se a seguinte abordagem metodológica. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre a gênese e a dinâmica dos eventos tornádicos, com o intuito de compreender os processos físicos envolvidos em sua formação, suas interações com a superfície terrestre e os impactos decorrentes dessas interações. Para essa etapa, foram consultados trabalhos fundamentais, tais como os de David-Jones et al. (1978), Dyer (1989), McDonald (1990), Marshall (2002), Nascimento (2005), Marcelino (2007), Marshall et al. (2007), Doswell (2008), Ahrens (2009), Cândido (2012), Bertolini (2013), Karstens et al. (2013), Atkins et al. (2014), Hornes e Balicki (2018), Hornes (2022), NOAA (2023) e Almeida et al. (2023).

Posteriormente, para a caracterização dos danos e a quantificação da intensidade dos ventos, adotou-se como referência os trabalhos e a metodologia desenvolvidos por Fujita (1971, 1981, 2006). O autor propôs duas escalas de classificação: a Escala Fujita (F-Scale), em 1971, e a Escala Fujita Melhorada (EF-Scale), revisada e implementada a partir de 2007. Atualmente, a EF é utilizada pelo National Weather Service (NWS), órgão responsável pela classificação oficial de tornados nos Estados Unidos, e serviu como base metodológica para este estudo.

Com base nessas referências, procedeu-se à avaliação sistemática dos danos, seguindo as diretrizes descritas em *A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale)* (2006, p. 13). Essa metodologia estabelece etapas específicas para a atribuição de uma classificação na EF, incluindo a análise do local afetado para dimensionar a extensão dos danos, a seleção de múltiplos DIs que indiquem a maior velocidade do vento e a classificação dos danos com base no maior DoD observado. O DI compreende 28 indicadores, cada um descrito em termos de características construtivas típicas, incluindo técnicas e materiais utilizados. Após a identificação do DI, procede-se à definição do grau de dano, que é categorizado em níveis associados a faixas de velocidade do vento, com limites inferiores e superiores (ver Anexo). A

classificação do limite esperado aplica-se a edificações que atendam a padrões construtivos normatizados. Para construções que não sigam as especificações técnicas, atribui-se o limite inferior, enquanto para edificações bem construídas, aplica-se o limite superior.

Para a aplicação da metodologia de Indicação de Danos, selecionaram-se eventos tornádicos ocorridos a partir da década de 1990, período em que os avanços tecnológicos facilitaram o registro e a coleta de dados. Com base no trabalho de Almeida *et al.* (2023), foram escolhidos tornados no estado do Paraná que apresentassem características compatíveis com a variação de danos descrita no DoD, permitindo a identificação da escala de destruição e da intensidade dos ventos.

Para a coleta de dados, realizaram-se buscas sistemáticas no Google, utilizando palavras-chave como "tornados", "temporal", "vendaval", "tempestade", "tufão" e "ciclone", com o objetivo de identificar imagens e reportagens que documentassem os danos associados aos eventos. Dessa forma, selecionaram-se os eventos tornádicos de Nova Laranjeiras, Francisco Beltrão, Marechal Cândido Rondon, Cascavel e Ponta Grossa, por apresentarem variações significativas de danos. Durante a seleção de imagens, priorizaram-se descrições realizadas até 24 horas após a ocorrência do evento (Karstens *et al.*, 2022).

Após a coleta das imagens, procedeu-se à análise comparativa dos danos observados em cada evento com as diferentes categorias do DI. Para garantir uma análise equitativa, optou-se por comparar estruturas semelhantes, tais como árvores, residências, barracões e galpões industriais, que se aproximassem das descrições do DI submetido a um DoD. A partir dessa análise, foi possível estimar a intensidade da velocidade do vento indicada pelo DoD e, conseqüentemente, determinar a força destrutiva associada a cada evento.

## 2 TORNADOS

O tornado, visto na Figura 2.1, é uma coluna de ar em rápida rotação que sopra em torno de uma pequena área de intensa baixa pressão com uma circulação que atinge o solo (Ahrens, 2009, p. 394). São originados a partir de nuvens multicelulares com diferentes estágios de desenvolvimento e com forte cisalhamento de vento como observado por Bluestein (2013).

Figura 2.1- Tornado EF 3 em Waverly/Nebraska, em 26 abril de 2024.



Fonte: US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **Tornado Outbreak of April 26, 2024**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/oax/april262024>>. Acesso em 05 jun. 2024.

Os tornados se formam em ambientes com Energia Potencial Disponível Convectiva (CAPE) e ventos relativos ao solo que mudam e aumentam acentuadamente com a altura. Nessas condições, as tempestades podem evoluir para sistemas de convecção vigorosos e altamente organizados, conhecidos como supercélulas (Davies-Jones, 2015).

Tornados podem, às vezes, ser visíveis como uma nuvem em forma de funil, quando a pressão é suficientemente baixa para que o vapor de água se condense e as partículas de nuvem se formem. No entanto, se o ar estiver muito seco ou a pressão não for suficientemente baixa para que o funil de condensação se forme ou atinja o solo, o tornado pode aparecer como uma coluna de poeira ou detritos em rotação, ou, não havendo partículas em suspensão o cone do tornado fica imperceptível. Em alguns casos, tornados são envolvidos por precipitação tornando-os invisíveis ou visíveis apenas de um ângulo restrito.

A formação de tornado está associada à instabilidade da atmosfera, presença de umidade e fortes ventos na alta troposfera (Hornes, Kapp Junior, Estaski, 2022, p.39). A instabilidade da atmosfera, segundo Ynoue (2017, p. 118) é mais comum ao final da tarde, sendo, portanto, o período favorável para a formação de tornados.

O diâmetro da maioria dos tornados é entre 100 e 600 metros, embora alguns tenham apenas alguns metros de largura e outros tenham diâmetros superiores a 1.600 metros (Ahrens, 2009, p. 395). O tornado tem pouco tempo de duração, pode variar de um instante a várias horas, com um tempo típico de 5 a 10 minutos. Tornados associados a supercélulas tendem a durar mais, enquanto aqueles causados por linhas de instabilidade e ecos de proa geralmente duram apenas alguns minutos (*National Weather Service*, 2024),

Os tornados concentram uma quantidade enorme de energia em uma pequena região, de acordo com Cervený *et al* (2007, p.857) a maior velocidade de vento, 486 km/h, registrada por um radar Doppler aconteceu em *Bridge Creek, Oklahoma*. Devido a força centrífuga o ar é lançado para longe do centro do vórtice, Blessmann (1995, p. 42) explica que esse movimento faz com que a pressão no núcleo do tornado seja muito baixa, podendo estar a 813 milibar.

A gênese dos tornados, como mencionado anteriormente, está associada a instabilidade atmosférica, e esta pode ser provocada por sistemas convectivos, como os Sistemas Convectivos de Mesoescalas (SCMs), responsáveis pelas maiores tempestades convectivas. Eles se formam a partir da instabilidade convectiva, onde o ar quente e úmido sobe e forma nuvens Cumulonimbus. Estas nuvens podem se unir em uma grande estrutura contínua auxiliadas por ventos de nível médio e superior que ajudam na dispersão do calor e umidade, explica Houze (2004, p. 2).

Os SCMs se alinham em uma formação convectiva vigorosa conhecida como Linha de Instabilidade (LI) (Figura 2.2), esta, segundo Ahrens (2009, p. 379), se formam a partir de uma frente fria. O autor ainda explica que, às vezes, a convergência de ar em níveis baixos ocorre antes da frente fria. A subida do ar ao longo do limite frontal e da frente de rajada ajuda a formar novas células de tempestade à medida que as antigas se dissipam, mantendo a linha de instabilidade ativa por várias horas. Ocasionalmente, uma nova LI se forma à frente da linha principal de tempestades.

Figura 2.2 - Imagem de Radar Meteorológico *Doppler*, no qual é possível visualizar uma linha de instabilidade indicada pelas setas, sobre o estado do Paraná e Santa Catarina.



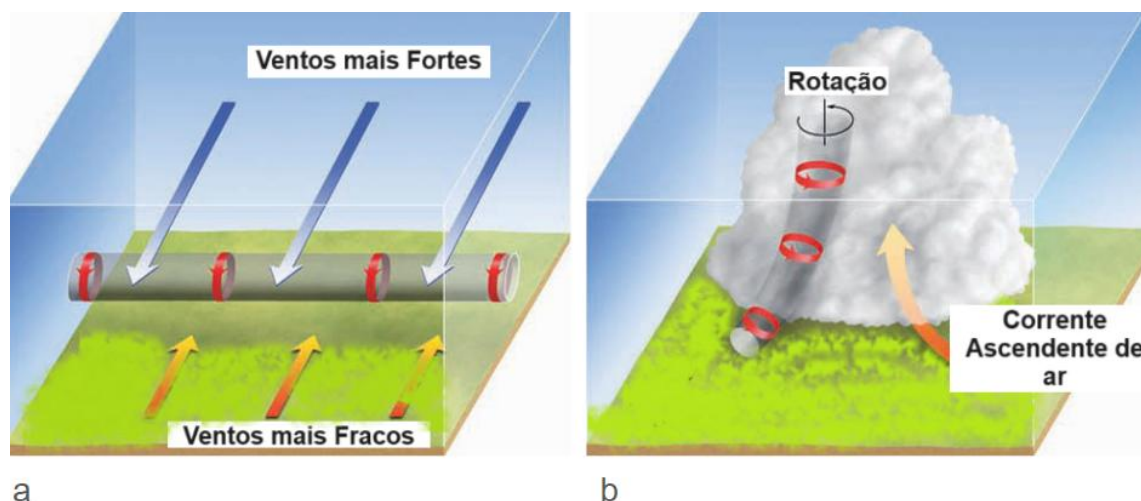
Fonte: SIMEPAR (2020).

As LIs comuns têm vida mais curta e se formam ao longo de frentes de rajada, frentes estacionárias ou ciclones de onda fraca. Embora possam causar tempo severo, essas linhas geralmente apresentam características de tempestades de trovoadas. (Hornes, 2022).

Os tornados geralmente se formam em condições de tempestades intensas e em uma atmosfera condicionalmente instável. Segundo o *National Severe Storms Laboratory*, a maioria dos tornados se origina de tempestades supercelulares, que ocorrem em ambientes caracterizados por elevado cisalhamento vertical do vento. Tornados supercelulares são aqueles gerados por tempestades denominadas supercélulas, que se distinguem por apresentarem uma única corrente ascendente giratória (mesociclone), capaz de sustentar a tempestade por várias horas. Essas supercélulas formam-se em regiões onde o forte cisalhamento vertical do vento promove a rotação da corrente ascendente, contribuindo para a organização e longevidade da tempestade. Ahrens (2009, p. 401) comenta que o cisalhamento faz com que o ar próximo à superfície gire em torno de um eixo horizontal, criando o que são chamados de tubos de vórtice. Esses tubos de vórtice também podem se formar quando existe um jato de baixo nível, logo acima dos ventos de superfície girando em

direção oposta (ver Figura 2.3). Quando uma tempestade em desenvolvimento possui uma forte corrente ascendente (ver figura 2.3b), essa corrente pode inclinar os tubos de vórtice contribuindo para a formação de tornados supercelulares.

Figura 2.3 - Representação da formação de tornados; (a) os ventos são mais intensos em alturas maiores e produzem um movimento de rolo sobre o eixo horizontal; (b) estabelece-se o mesociclone, produzindo uma coluna de ar giratória que é orientada no plano vertical



Fonte: Adaptada de Ahrens (2009, p.401).

Conforme o ar sobe e gira em torno do núcleo de baixa pressão do vórtice, ele se expande, esfria e, se estiver suficientemente úmido, condensa-se em uma nuvem visível chamada nuvem de funil. O ar sob a nuvem de funil é atraído para o núcleo, esfria rapidamente e se condensa, fazendo com que a nuvem desça em direção à superfície. Ao atingir o solo, o tornado geralmente levanta sujeira e detritos, tornando possível sua visualização.

Há também, os tornados não supercelulares, aqueles que não estão associados a uma nuvem de parede ou a um mesociclone de uma supercélula. Eles podem ocorrer com tempestades multicelulares intensas ou até mesmo com tempestades celulares comuns, inclusive as relativamente fracas. Alguns desses tornados se estendem da base de uma tempestade, enquanto outros começam no solo e se desenvolvem para cima sem um funil de condensação.

Ahrens (2009, p. 403) continua explicando que, estes tornados podem se formar ao longo de uma frente de rajada, onde a corrente de ar frio da tempestade eleva o ar quente e úmido. Esses tornados, conhecidos como *Landspout* são geralmente fracos, de curta duração e raramente causam danos significativos. Eles

frequentemente aparecem como uma nuvem giratória de poeira ou detritos perto da superfície.

## 2.1 Tipos de Tornados

O ciclo de vida de um tornado, conforme detalhado por Ahrens (2009, p. 395), envolve várias etapas nas quais ele adquire formas e forças diferenciadas. No entanto, essa descrição não é uma regra rígida, mas sim uma tendência, pois alguns tornados podem pular fases (Hornes, 2022, p. 76).

De acordo com Ahrens (2009, p. 396), os principais tornados passam por diferentes estágios de desenvolvimento: redemoinho de poeira, organização, maduro, encolhimento e decadência.

No estágio inicial, denominado redemoinho de poeira, a circulação do tornado no solo é marcada pela poeira girando para cima, formando um cone visível caso haja material disponível na superfície. O funil, geralmente curto nesse estágio, estende-se da base da tempestade em direção ao solo, apresentando uma força destrutiva inicial mais leve.

No estágio de organização, o tornado ganha intensidade, com o funil descendo completamente e conectando-se ao solo. À medida que avança para o estágio maduro, o vórtice atinge seu maior diâmetro e os danos tornam-se mais severos. Nessa fase, o tornado frequentemente se posiciona verticalmente em relação à nuvem, aumentando sua capacidade destrutiva.

Durante o estágio de encolhimento, ocorre uma diminuição da largura do funil, que pode inclinar-se e estreitar a faixa de danos na superfície. Apesar disso, os danos ainda podem ser significativos.

Finalmente, no estágio de decadência, o tornado entra em seu processo final, adquirindo a aparência de uma corda oscilante enquanto o vórtice se alonga e se contorce até se dissipar completamente. Durante esse processo, o funil pode assumir formas variadas, refletindo a dinâmica instável do sistema.

Tornados menores podem não apresentar todas essas fases, enquanto os maiores tendem a manter o contato com o solo durante a maior parte de sua trajetória, causando impactos mais severos antes de se dissiparem.

Como explica Honerkamp *et al.* (2020, p. 18), tornados podem ser categorizados como vórtice único ou multi-vórtice. Tornados de vórtice único podem

ter uma estrutura de uma ou duas células, com correntes ascendentes ou descendentes ao longo do eixo central, respectivamente. Tornados de duas células podem se transformar em multi-vórtice devido à instabilidade de cisalhamento, apresentando vórtices menores girando ao redor de um centro comum, onde se encontram os ventos mais fortes (Honerkamp *et al.* 2020, p. 18).

A Figura 2.4 mostra a presença de tornado de múltiplos vórtices que atingiu o Condado de *Stanton* – Nebraska em 16 de junho de 2014, nesta ocasião, segundo NWS – NOAA a tempestade supercélula produziu um total de 5 tornados.

Figura 2.4 - Tornado com dois vórtices no Condado de Stanton – Nebraska em 16 de junho de 2014.



Fonte: US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **June 16, 2014 Pilger Tornado Event**. Disponível em: <[https://www.weather.gov/oax/event\\_archive\\_20140616](https://www.weather.gov/oax/event_archive_20140616)>. Acesso em 05 mai. 2023.

A visualização bem definida do múltiplo vórtice não é clara, Hornes e Balicki (2018, p. 48) relatam que pouquíssimas pessoas (apenas 2) conseguiram ver os vários funis do tornado de Marechal Cândido Rondon, pois a visualização de todos os funis depende do ângulo e do posicionamento em relação ao fenômeno. A Figura 2.5 evidencia a presença de múltiplos vórtices, como destacado pelos autores no evento ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes, no estado do Paraná, no dia 19 de novembro de 2015.

Figura 2.5 - Tornado múltiplos vórtice em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes no dia 19 de novembro de 2015. As setas amarelas indicam o diâmetro do tornado e as azuis os vórtices.



Fonte: Hornes, Balicki (2018, p. 48). Sinalizações realizadas pelos autores.

Os eventos tornádicos causam rastros de destruição por onde passam, e segundo SPC – NOAA (2023)

[...] em uma área desenvolvida, um tornado age essencialmente como um liquidificador gigante cheio de milhões de projéteis pequenos e grandes - tábuas, vidros quebrados, pregos, telhas, cascalho, fios, cabos, chapas de metal, ferragens, partes de árvores, árvores inteiras, pedras, tijolos, eletrodomésticos, móveis, utensílios domésticos, até mesmo veículos e grandes partes de casas. Um caminhão basculante jogado em um prédio por um subvórtice próximo, por exemplo, pode causar danos enormes, mesmo que o vento no local da construção não seja tão forte por si só. Às vezes, um tornado enfraquece uma estrutura o suficiente para que partes ou toda ela desmorone mais tarde devido à fraqueza estrutural e desequilíbrios (tradução nossa).

## 2.2 Classificação de Tornados

Os tornados são eventos meteorológicos caracterizados por ventos extremamente fortes e concentrados, resultando em um potencial destrutivo significativo (NOAA, 2024). Segundo o NOAA (2024), especialistas determinam a intensidade dos tornados por meio da análise dos danos causados e da estimativa das velocidades do vento. Desde 2007, utiliza-se a Escala Fujita Melhorada (EF) para uma classificação mais precisa, que leva em consideração 28 indicadores de danos,

tais como construções e árvores. Cada indicador possui 8 graus de dano, variando desde danos leves até destruição total.

O desenvolvimento de escalas de classificação, como a Escala Fujita (F) e a Escala Fujita Melhorada (EF) foi fundamental para a compreensão dos tornados. A classificação baseada nos danos observados no campo permite uma avaliação precisa das características dos tornados, facilitando a implementação de estratégias de mitigação e resposta.

### 2.3 Escala Fujita

A Escala Fujita, desenvolvida por Tetsuya Theodore Fujita, é um exemplo da importância dos levantamentos de danos de tornados para compreender e classificar a intensidade desses fenômenos meteorológicos. Segundo Edwards *et al.* (s/d)

[...] a Escala Fujita (Fujita Scale), desenvolvida por T. Theodore Fujita, foi pioneira no conceito de realizar levantamentos de danos de tornados de forma organizada e detalhada, refinando suas técnicas por meio de exames de campo até pouco antes de seu falecimento em 1998. Sua avaliação do mesociclone e tornado ocorrido em Fargo, Dakota do Norte, em 20 de junho de 1957, foi um marco significativo. Fujita demonstrou que uma avaliação de danos poderia ser conduzida de maneira sistemática e analítica, visando determinar as características do fluxo de ar dos tornados e de suas áreas imediatas (tradução nossa).

Em fevereiro de 1971, Tetsuya Theodore Fujita introduziu pela primeira vez a Escala Fujita no artigo de pesquisa SMRP número 91, intitulado "*Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity*" (STORM PREDICTION CENTER, 2014). Essa escala, composta por seis níveis de intensidade, que variam de F0 (tornado fraco) a F5 (tornado violento) teve como objetivo categorizar cada tornado com base em sua intensidade e área, enquanto estimava a velocidade do vento associada aos danos causados pelo tornado.

A classificação é baseada na observação dos danos observados após a passagem do tornado, correlacionando esses danos com estimativas de velocidade do vento conforme observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Escala Fujita, versão de 1971

| Escala Fujita | Velocidade do Vento | Descrição dos Danos                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F0            | 64-116 km/h         | Árvores pequenas podem ser derrubadas, telhas de casas removidas e placas de sinalização danificadas. Estruturas bem construídas geralmente não sofrem danos significativos.                                                                               |
| F1            | 117-181 km/h        | Telhados podem ser arrancados, janelas quebradas e casas móveis deslocadas de suas fundações. Árvores de médio porte são derrubadas.                                                                                                                       |
| F2            | 182-253 km/h        | Telhados inteiros podem ser arrancados de edifícios, estruturas mal construídas são severamente danificadas ou destruídas. Árvores grandes são arrancadas e veículos podem ser levantados do solo.                                                         |
| F3            | 254-332 km/h        | Paredes e telhados de casas bem construídas podem ser completamente destruídos. Trens podem ser derrubados, veículos pesados lançados a distâncias consideráveis e a vegetação é severamente danificada.                                                   |
| F4            | 333-419 km/h        | Casas bem construídas são completamente destruídas, com a maioria das fundações expostas. Estruturas de grande porte, como escolas e edifícios industriais, sofrem danos severos ou colapsam.                                                              |
| F5            | Acima de 420 km/h   | Edifícios bem construídos são completamente destruídos e suas fundações podem ser arrancadas. Veículos de grande porte são arremessados a grandes distâncias. O impacto na paisagem é significativo, com a remoção completa de árvores e a erosão do solo. |

Fonte: Adaptada de Blessmann (2013, p. 44, tradução nossa).

## 2.4 Escala Fujita Melhorada (EF)

A Escala Fujita original vinha apresentando inconsistências por não considerar algumas características das áreas atingidas por tornados, segundo McDonald, Mehta (2004, p.1), as principais limitações foram a falta de indicadores de danos, a não consideração da qualidade e variabilidade da construção, e a ausência de uma correlação definitiva entre danos e velocidade do vento.

Após revisões e melhorias realizadas por um comitê coordenado pelo Centro de Ciência e Engenharia dos Ventos da Universidade Texas Tech, foi entregue um documento ao *Nacional Weather Service* (NWS) para que tivessem um novo critério de classificação de tornados.

Segundo o SPC a EF foi introduzida em 2007 nos Estados Unidos, substituindo a escala original. Os critérios usados por Fujita para revisar e melhorar a Escala Fujita

original incluíram uma análise mais detalhada dos danos causados por tornados e uma melhor correlação entre esses danos e a intensidade do tornado.

Os profissionais do NWS destacaram a necessidade de mais indicadores de danos para a avaliação da intensidade dos tornados. Aproveitando a experiência em análise de danos por tornados, a equipe do projeto da *Texas Tech University* sugeriu 28 novos indicadores, incluindo edifícios, estruturas e árvores. Cada um desses indicadores possui vários DoDs, organizados de maneira que cada grau sucessivo exija uma velocidade de vento maior que o anterior. Os danos variam desde a aparição inicial até a destruição total do indicador específico. A nova metodologia permite que à medida que apareçam novos DIs, sejam incorporados à lista.

A EF continua a ter seis níveis de intensidade, mas as descrições de danos associados a cada nível foram refinadas com base em estudos e análises posteriores de tornados.

Os critérios específicos usados na EF incluem a avaliação de danos a estruturas como casas, edifícios comerciais, escolas e hospitais, bem como a vegetação e outros objetos. Danos específicos a serem observados incluem a remoção de telhados, destruição de paredes, colapso de edifícios e o movimento de veículos pesados. Fujita realizou uma análise minuciosa dos danos causados por tornados em diferentes tipos de estruturas e objetos. Ele estudou como os tornados afetam casas, edifícios comerciais, escolas, hospitais, bem como vegetação e outros objetos, e como esses danos variam de acordo com a intensidade do tornado.

[...] a escala EFA destina-se à aplicação em edifícios, estruturas ou outros edifícios individuais, indicador de danos. Ela também foi projetada para obter uma classificação para um evento de tornado. [...] um único edifício, estrutura ou outro DI não deveria ser usado para avaliar um evento de tornado. Vários DIs devem ser considerados na atribuição de uma EF para classificação de um evento de tornado (McDonald, Mehta, 2004, p.1, tradução nossa).

Portanto, para classificar os danos relacionados aos tornados, deve considerar todos os imóveis atingidos pelo evento, não apenas um edifício ou imóvel. Com base nessas observações de danos a intensidade do tornado é então determinada e atribuída a um dos seis níveis da EF, variando de EF0 a EF5. Cada nível é determinado pela análise dos danos observados após a passagem do tornado, como observado na descrição geral:

- EF 0 (Tornado Fraco): Danos leves: Normalmente limitados a danos superficiais, como danos em telhados, galhos de árvores quebrados e objetos leves deslocados. Geralmente não representam uma ameaça significativa à segurança. Os ventos variam de 104 a 136 Km/h. Na Figura 2.6, observa-se um dano de pequena magnitude no telhado do galpão.

Figura 2.6 - Danos causados por tornado EF0 em 12 de dezembro de 2021 em *Harrisburg, Missisipi*. Possível verificar a perda de poucas telhas.



Fonte: US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **Dec 10-11 2021 Tornado Event**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/pah/December-10th-11th-2021-Tornado>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

- EF 1 (Tornado Moderado) - Danos moderados: Podem incluir a remoção de telhados de casas, quebra de janelas, árvores derrubadas e danos estruturais leves a edifícios. Os danos podem exigir reparos, mas as estruturas principais geralmente permanecem intactas. Os ventos variam de 138 a 177 Km/h. Na Figura 2.7 é possível observar os danos causados por um tornado EF1. Na figura 2.7a observa-se os danos em telhado de residência, a estrutura fica destruída, as telhas e o madeiramento são arrancados. Na figura 2.7c em primeiro plano a presença de um tronco de árvore quebrado, ao fundo uma cerca derrubada e galhos de vegetação espalhados pelo gramado. Ao observar figura 2.7b nota-se uma árvore arrancada pela raiz.

Figura 2.7 - Danos causados por tornado EF1 no Condado de *Ohio*, KY, em 25 de junho de 2018. Em “a” perda parcial do telhado, “b” árvore arrancada pela raiz e em “c” árvore quebrada pelo tronco.



Fonte: US DEPARTMENT OF COMMERCE. Disponível em: <<https://www.weather.gov/lmk/EF-1TornadoConfirmedOhioCounty>>. Acesso em 15 abr. 2024.

- EF 2 (Tornado Considerável) - Danos consideráveis: Danos mais extensos que podem resultar na destruição parcial de edifícios (ver Figura 2.8), incluindo paredes colapsadas, telhados arrancados, casas deslocadas de suas fundações. A partir desta categoria as casas móveis são completamente destruídas, grandes árvores são quebradas ou arrancadas, carros podem ser arremessados. Os danos podem representar uma ameaça à segurança das pessoas devido ao estágio de destruição. Os ventos variam de 178 a 217 Km/h. A figura 2.8a ilustra a destruição da parede e do telhado de uma residência feita em *wood frame*, enquanto na figura 2.8b a estrutura de uma garagem residencial entrou em colapso pela passagem do tornado. De acordo com o *US DEPARTMENT OF COMMERCE* (2018) os ventos chegaram a 201 Km/h.

Figura 2.8 - Dano causado por tornado EF 2 no Condado de Fayette/Effingham – Illinois em 3 de abril de 2018. Em “a” perda do telhado e parede externa danificada, em “b” garagem em colapso.



Fonte: US DEPARTMENT OF COMMERCE. Disponível em: [https://www.weather.gov/lxx/04\\_03\\_2018](https://www.weather.gov/lxx/04_03_2018). Acesso em 15 abr. 2024.

- EF 3 (Tornado grave) - Danos significativos: podem resultar na destruição parcial de edifícios, incluindo a perda de telhados e paredes exteriores; casas com fundações fracas podem ser destruídas, as árvores começam a perder sua casca. Os danos podem representar uma ameaça significativa à segurança das pessoas (Figura 2.9). Os ventos variam de 218 a 265 Km/h.

Figura 2.9 - Danos causados por tornado EF 3 no Condado de Polk/Osceola, Nebraska em 20 de junho de 2011. Observando em (a) um trator de pequeno porte, em (b) casa destelhada e árvores quebradas, (c) em meio as árvores quebradas no quadro vermelho um quadriciclo e em (d) caminhão tombado.



Fonte: US DEPARTMENT OF COMMERCE (2020)

Nesta categoria, os danos apresentam alta intensidade, caracterizados por marcas significativas de destruição. Na Figura 2.9a, observa-se um trator retorcido e deslocado de sua posição original. Na Figura 2.9b, uma casa em meio a vegetação com paredes danificadas e o telhado arrancado, a vegetação de grande porte apresentou diversas avarias como troncos e galhos quebrados e algumas foram arrancadas, nota-se vários escombros espalhados. A Figura 2.9c evidencia uma área com vegetação de grande porte quebradas e um quadriciclo que foi arremessado em meio a vegetação (retângulo vermelho), enquanto a Figura 2.9d apresenta um caminhão tombado e galhos de árvores fraturados e dispersos, indicando a força do fenômeno. Esses elementos reforçam a gravidade dos impactos associados a este nível de intensidade.

- EF 4 (Tornado Extremo) - Danos extremos: Podem resultar na destruição completa de edifícios, incluindo casas e edifícios comerciais. Paredes e estruturas são totalmente derrubadas ficando irreconhecíveis, representando uma ameaça grave à vida e à segurança. Carros são lançados a distâncias significativas.

A Figura 2.10 mostra os estragos causados por um tornado de categoria EF4, onde a velocidade do vento está entre 267 e 321 km/h. Neste evento, 26 pessoas vieram a óbito.

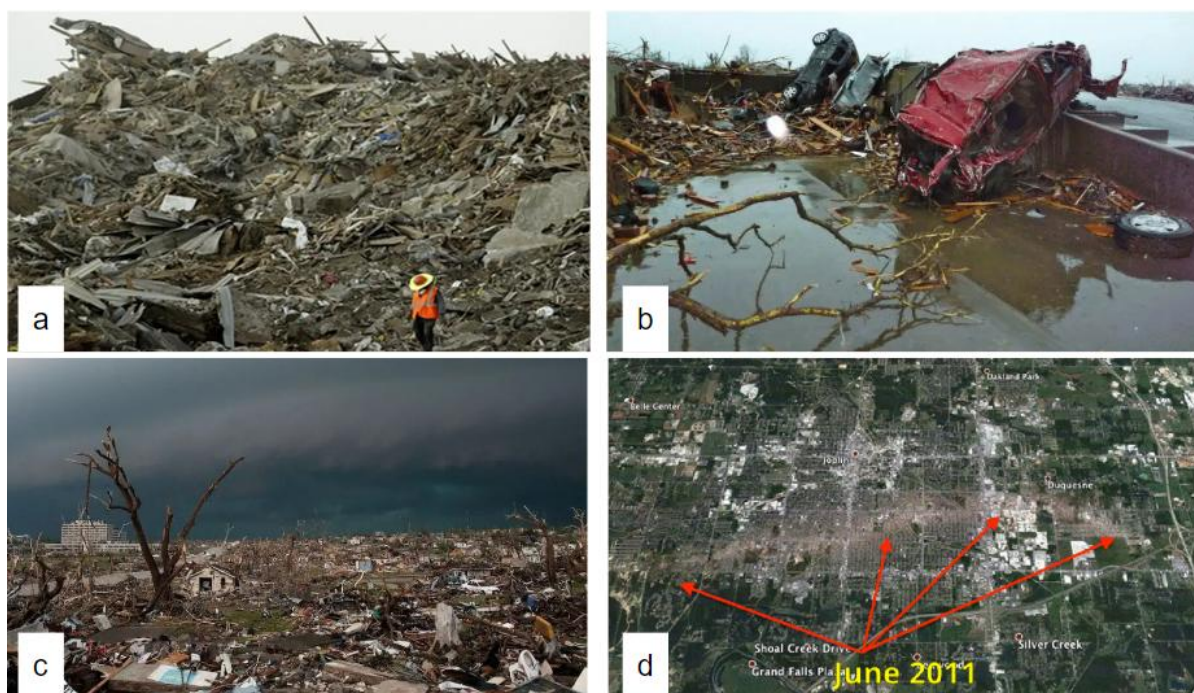
Figura 2.10 - Rastro de destruição provocado por tornado EF 4 em *Rolling Fork, Mississippi* no 26 de março de 2023.



Fonte: NOAA (2023). Disponível em: <<https://www.noaa.gov/news/freight-train-of-atmospheric-rivers-brought-record-rain-snow-in-march>>. Acesso em 15 abr. 2024

- EF 5 (Tornado Violento) - Danos catastróficos: Danos catastróficos com velocidades do vento ultrapassando os 321 Km/h, que podem resultar na destruição total de estruturas, incluindo casas e edifícios comerciais de grande porte. Estruturas são arrancadas de suas fundações, representando uma ameaça iminente à vida e à segurança.

Figura 2.11 - Danos causados por tornado EF 5 no Joplin, Missiori, em 22 de maio de 2011. Em (a) escombros de edificação, (b) carros retorcidos, (c) vista da cidade destruída e em (d) indicado pelas setas vermelhas o rastro do tornado.



Fonte: EDMAN (2021).

A Figura 2.11 mostra como ficou o Condado de Joplin, Missori, em 22 de maio de 2011, após a passagem de um tornado EF 5, na Figura 2.11a tem-se a pilha de escombros pós-evento, em Figura 2.11b veículos destruídos juntos a galhos e escombros. Já nas Figura 2.11c e Figura 2.11d a cidade destruída, a destruição ao solo, enquanto a seguinte aponta a trajetória do tornado e o rastro de destruição deste evento.

## 2.5 Critérios de Classificação da força destrutiva dos Tornados

A classificação de tornados é realizada com base em uma combinação de observações visuais, avaliações de danos, e medições meteorológicas. Esses critérios fornecem uma análise detalhada das características do tornado, permitindo uma categorização precisa de sua intensidade. Cada nível reflete a gravidade dos danos observados e a potencial ameaça à vida e à segurança das pessoas.

De acordo com o SPC (2014), o comitê desenvolvedor da EF estabeleceu alguns critérios para sua criação. Entre eles, deveria manter como base a Escala F,

realizar uma avaliação consistente de danos juntamente com o uso do banco de dados de tornados e, além disso, incluir os seguintes dados adicionais:

- coletar a largura média e máxima do caminho de danos;
- ter uma base para atribuição dos danos.

Cada um destes indicadores possui uma descrição da construção típica para aquela categoria de indicador (ver Quadro 2). Então, o próximo passo é encontrar o DoD. Cada DOD em cada categoria recebe uma estimativa esperada da velocidade do vento, um limite inferior da velocidade do vento e um limite superior da velocidade do vento.

Quadro 2 - Critérios para classificação de Tornados.

| CRITÉRIO                                   | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Manter a base da Escala F                  | A EF deve ser baseada na Escala Fujita original, garantindo consistência na transição entre as escalas.                                                                         |
| Avaliação consistente de danos             | Realizar uma avaliação detalhada e padronizada dos danos causados pelos tornados, utilizando um banco de dados abrangente de eventos tornádicos anteriores.                     |
| Largura média e máxima do caminho de danos | Coletar dados sobre a largura média e máxima do caminho de danos, permitindo uma análise mais precisa da extensão e do impacto do tornado.                                      |
| Base para atribuição dos danos             | Estabelecer uma base sólida para a atribuição dos danos observados a velocidades de vento específicas, usando descrições detalhadas de construções típicas para cada indicador. |
| Grau de Dano (DOD)                         | Determinar o Grau de Dano para cada indicador, com estimativas esperadas de velocidade do vento, incluindo limites inferiores e superiores.                                     |

Fonte: *Storm Prediction Center* (2014, tradução nossa).

Juntamente com os critérios citados acima, foram estabelecidos segundo McDonald, Mehta (2004, p.7), para que haja uma identificação correta do evento tornádico, a observação dos 28 indicadores de danos na EF (ver

Quadro 3), sendo subdividida em sete categorias, onde do indicador 1 ao 5 são residências, 7 a 14 são estruturas comerciais e varejo, 15 e 16 são escolas, os indicadores 17 a 20 são edifícios profissionais, 21 a 23 são edifícios com cobertura

metálica, 24 a 26 são torres e postes, e, por fim, 27 e 28 são vegetações, estabelecendo critérios baseados na observação dos danos causados por um tornado em vegetações arbóreas.

Quadro 3 - Indicadores de danos aprimorados na EF.

(continua)

| NÚMERO<br>(detalhes<br>vinculados) | INDICADOR DE DANOS                                                  | ABREVIACÃO (em<br>inglês) |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1                                  | Pequenos celeiros, dependências agrícolas                           | SBO                       |
| 2                                  | Residências unifamiliares ou bi familiares                          | FR12                      |
| 3                                  | Casa móvel de largura única (MHSW)                                  | MHSW                      |
| 4                                  | Casa móvel de largura dupla                                         | MHDW                      |
| 5                                  | Apto, condomínio, sobrado (3 andares ou menos)                      | AGIR                      |
| 6                                  | Motel                                                               | M                         |
| 7                                  | Apto de alvenaria ou motel                                          | MAM                       |
| 8                                  | Prédio de pequeno varejo (comida rápida)                            | SRB                       |
| 9                                  | Pequeno profissional (consultório médico, agência bancária)         | São Petersburgo           |
| 10                                 | Shopping center                                                     | SM                        |
| 11                                 | Grande shopping                                                     | LSM                       |
| 12                                 | Prédio de varejo grande e isolado ("big box").                      | LIRB                      |
| 13                                 | Showroom de automóveis                                              | RAS                       |
| 14                                 | Edifício de serviços automotivos                                    | ASB                       |
| 15                                 | Escola - ensino fundamental de 1 andar (halls internos ou externos) | ES                        |
| 16                                 | Escola de Ensino Fundamental e Médio                                | JHSH                      |
| 17                                 | Prédio baixo (1-4 andares).                                         | LRB                       |
| 18                                 | Prédio de altura média (5-20 andares).                              | MRB                       |
| 19                                 | Arranha-céu (mais de 20 andares)                                    | HRB                       |
| 20                                 | Prédio Institucional (hospital, governo ou universidade)            | BI                        |
| 21                                 | Sistema de construção metálica                                      | MBS                       |
| 22                                 | Cobertura da estação de serviço                                     | SSC                       |
| 23                                 | Armazém (paredes inclinadas ou madeira pesada)                      | WHB                       |
| 24                                 | Torre de linha de transmissão                                       | TLT                       |

(continuação)

| NÚMERO<br>(detalhes<br>vinculados) | INDICADOR DE DANOS                               | ABREVIÇÃO (em<br>inglês) |
|------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|
| 25                                 | Torre independente                               | FST                      |
| 26                                 | Poste independente (luz, bandeira,<br>luminária) | PSF                      |
| 27                                 | Árvore - madeira dura                            | TH                       |
| 28                                 | Árvore - madeira macia                           | TS                       |

Fonte: Adaptado de **Enhanced Fujita Tornado Damage Scale**. Disponível em:  
<<https://www.spc.noaa.gov/efscale/ef-scale.html>>. Acesso em 06 jan. 2024(tradução nossa)

A classificação de tornados é um componente essencial da meteorologia aplicada e das ciências de desastres, com impacto direto na previsão de tempestades severas, engenharia estrutural e gestão de riscos. A Escala Fujita Melhorada (EF) oferece um sistema padronizado para quantificar a intensidade dos tornados com base nos danos observados, correlacionando-os a estimativas de velocidade do vento.

Essa padronização é crucial para garantir uniformidade e precisão nas avaliações, possibilitando análises comparativas entre diferentes eventos. Além disso, a classificação dos tornados desempenha um papel estratégico na gestão de riscos, orientando a definição de ações voltadas à mitigação dos danos. A EF também contribui para a organização sistemática dos dados, facilitando sua aplicação em pesquisas científicas, no desenvolvimento de estratégias preventivas e na formulação de políticas públicas para a redução dos impactos de desastres.

## 2.6 Sistemas Construtivos Norte Americano e Brasileiro

O DoD observados nos DI da Escala Fujita Melhorada foram elaborados com base na observação de destruição provocadas por tornados em residências típicas norte americanas. O Relatório de Recomendação da Escala Fujita Melhorada apresenta no DI-2 as características de uma construção típica, sendo composta por telhado com telhas de asfalto, telhas, ardósia ou cobertura de telhado de metal; podendo ser plano, com inclinações ou com partes planas e inclinadas. Há um deck de telhado de madeira compensada/OSB ou prancha de madeira, as treliças são de madeira pré-fabricadas ou viga de madeira e construção de vigas. O revestimento

externo é folheado de tijolo, painéis de madeira, estuque, sistema de isolamento e acabamento externo, revestimento de vinil ou metal; as paredes de madeira ou metal, blocos de concreto ou painéis de concreto isolante. E a garagem pode ser única ou dupla anexa a casa.

Já as edificações de uso coletivo e comerciais como consultórios médicos, escolas, centros comerciais, shopping, prédios institucionais entre outros destacados nos DI apresentam um sistema construtivo mais robusto envolvendo estruturas metálicas, laje de concreto e paredes de alvenaria.

De acordo com o *International Code Council* (2025) os Estado Unidos são atingidos por cerca de 1200 tornados por ano, sendo 60 deles com categoria EF 3. Visando a proteção das pessoas e tendo como marco a passagem do tornado de Joplin em 2011, o NIST propôs recomendações para desenvolvimento de “novos métodos para projetos de edifícios resistentes a tornados, orientação aprimorada para abrigos comunitários contra tornados e comunicações de emergência aprimoradas e padronizadas” (Kuligowski *et al.*, 2014, p.13).

Ainda, de acordo com o NIST (2024) foram estabelecidas outras orientações que merecem destaque,

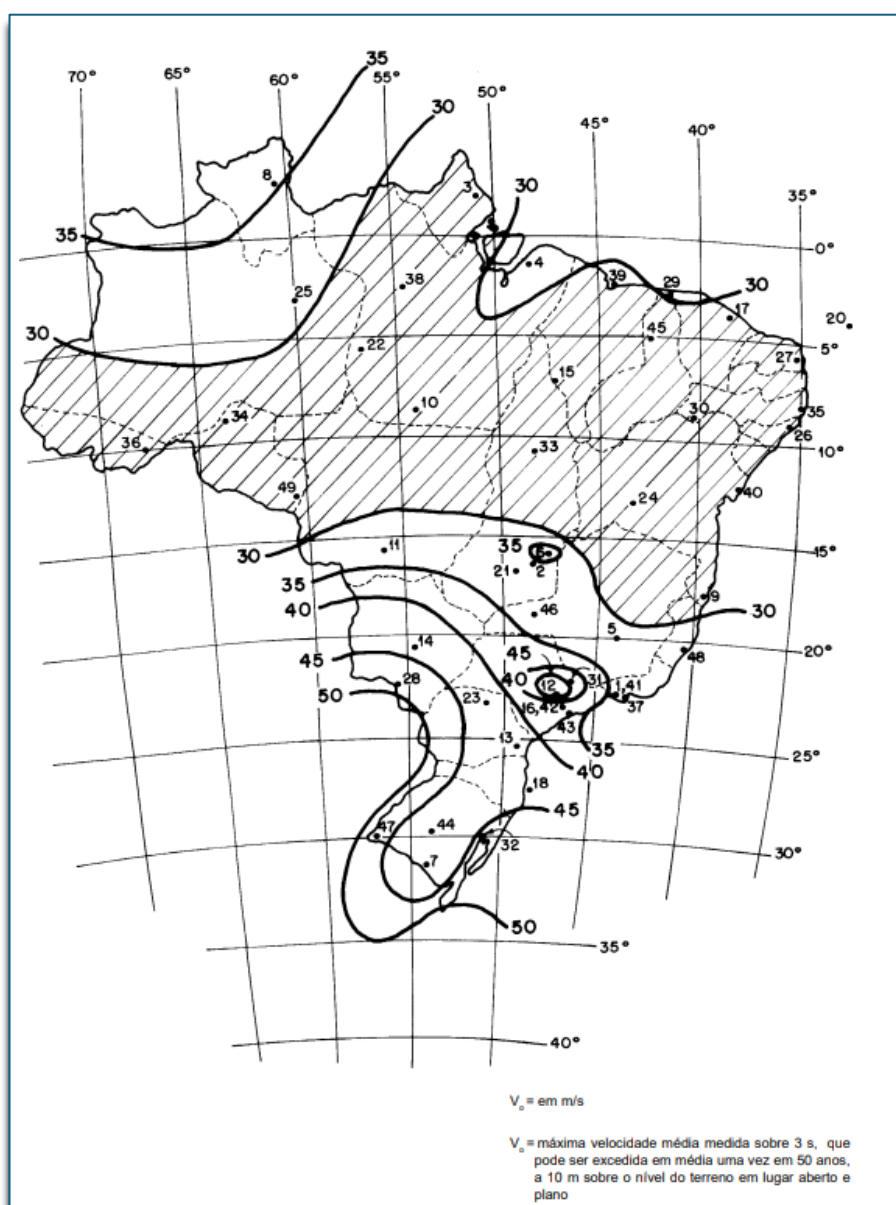
[...] instalar abrigos contra tornados em edifícios residenciais multifamiliares, comerciais e outros edifícios maiores, novos e existentes (hospitais, escolas, grandes lojas de varejo e outros espaços comerciais que acomodam de 200 a 300 pessoas por vez) e, como parte desse esforço, desenvolver e implementar diretrizes nacionais uniformes para ajudar as comunidades a localizar, projetar, instalar e operar esses abrigos; e criar códigos e padrões nacionais para comunicações de emergência claras, consistentes e precisas e, então, garantir que os gerentes de emergência, o Serviço Nacional de Meteorologia e a mídia nas comunidades locais tenham um plano conjunto para transmitir essas mensagens de forma rápida e persuasiva durante tornados.

Essas recomendações e avanços na construção de edificações mais resistentes a tornados nos Estados Unidos evidenciam a importância de adaptar as estruturas às condições climáticas extremas, minimizando danos e perdas humanas.

No Brasil, as edificações residenciais e comerciais apresentam particularidades construtivas que variam significativamente do padrão observado nos Estados Unidos. As residências brasileiras, em sua maioria, são construídas com paredes de alvenaria estruturais ou convencionais e coberturas de telhas cerâmicas ou de fibrocimento, o que conferem maior tensão estrutural, mas também aumentam os riscos de danos severos devido ao peso e à fragmentação de materiais em caso de colapso. Além disso, edificações comerciais e de uso coletivo frequentemente utilizam estruturas de

concreto armado com estruturas metálicas, que, embora mais robustas, podem ser igualmente vulneráveis a ventos extremos caso não sejam projetadas para suportar cargas aerodinâmicas associadas a eventos severos como tornados.

A Figura 2.12 mostra o mapa de velocidade do vento proposto pela NBR 6123 que trata das Forças Devidas ao Vento em Edificações, definindo parâmetros de cálculos para edificações e projetos que estão sujeitos as forças dos ventos.

Figura 2.12 - Isopletas da velocidade básica  $V_0$  (m/s)

Fonte: NBR 6123

Com base na análise das isopletas apresentadas no mapa nota-se que as regiões ao sul do Brasil, especialmente no extremo sul, possuem as maiores velocidades máximas do vento, chegando a 180 km/h. Entretanto contextualizado com o trabalho de Almeida (2024) a região Sul do Brasil apresenta as maiores concentrações de tornados onde os ventos podem ultrapassar a velocidade média de 144 km/h estabelecidos pela NBR.

Conforme abordado neste capítulo, é possível assimilar que a classificação de tornados não apenas aprimora a compreensão científica desses fenômenos, mas também tem implicações práticas significativas para a segurança pública, a

engenharia, o planejamento urbano e a gestão de desastres. O conhecimento e a aplicação rigorosa de critérios de classificação padronizados constituem, portanto, uma prática indispensável na mitigação dos impactos devastadores causados por tornados.

### 3 ATIVIDADES TORNÁDICAS

A meteorologia troposférica tem avançado significativamente nas últimas décadas, buscando não apenas entender os fenômenos atmosféricos, mas também aplicar esse conhecimento para mitigar os impactos adversos de eventos extremos. Nesse cenário, a complexidade e a imprevisibilidade dos tornados continuam a desafiar cientistas e profissionais da área, evidenciando a necessidade constante de aprimorar técnicas de previsão e resposta a desastres.

Identificar, conhecer e compreender os eventos meteorológicos adversos o que Lilly (1976), citado por Doswell (2008), chamou de "a última fronteira na meteorologia troposférica" é essencial para garantir um reconhecimento adequado das atividades voltadas para salvar vidas, reduzir danos materiais e aumentar a resiliência das comunidades afetadas. Ao longo dos anos, tecnologias e metodologias foram desenvolvidas para aprofundar o conhecimento sobre os eventos tornádicos.

Neste capítulo, será discutida brevemente a evolução das tecnologias e metodologias utilizadas nos estudos sobre tornados, com ênfase nos trabalhos realizados nos Estados Unidos, o país com o maior número de ocorrências desses eventos no mundo, de acordo com a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

#### 3.1 Histórico de Estudos sobre Tornados

Os estudos sobre tornados evoluíram significativamente ao longo dos anos, inicialmente, as observações eram baseadas em relatos de testemunhas e descrições qualitativas dos danos. Nas palavras de Bradford (1998, p. 484) “um relato de uma tempestade de julho de 1680 em Cambridge, Massachusetts, provavelmente foi o primeiro registro escrito de um tornado real no que hoje é os Estados Unidos”. No Brasil, segundo Hornes (2022, p. 89), o possível primeiro registro de tornado foi descrito pelo missionário jesuíta José de Anchieta na Carta de São Vicente em 1560, a relatar o seguinte:

Não há muitos dias, estando nós em Piratininga, começou, depois do pôr do sol, o ar a turvar-se de repente, a enublar-se o céu, a amiudarem-se os relâmpagos e trovões, levantando-se então o vento sul a envolver pouco a pouco a terra, até que, chegando ao Nordeste, de onde quase sempre costuma vir a tempestade, caiu com tanta violência que parecia ameaçar-nos o Senhor com destruição: abalou as casas, arrebatou os telhados e derribou

as matas; a árvores de colossal altura arrancou pelas raízes, partiu pelo meio outras menores, despedaçou outras, de tal maneira que ficaram obstruídas as estradas, e nenhuma passagem havia pelos bosques; era para admirar quantos estragos de árvores e casas produziu no espaço de meia hora (pois não durou mais do que isso), e, na verdade, se o Senhor não tivesse abreviado aquele tempo, nada poderia resistir a tamanha violência e tudo cairia por terra. (ANCHIETA, 1997 p. 104).

No Estado do Paraná um dos registros mais antigos encontrados aconteceu na cidade de Curitiba, porém o tornado foi chamado de tufão, descrito em reportagem do Jornal Diário da Tarde, que na tarde do dia 29 de dezembro de 1901:

Difficilmente os annaes das tempestades registrarão um acidente como que se desencadeou hontem nesta cidade, por volta das 4 horas da tarde. Desde pela manhã que se sentia um calor mortificante, incomodativo mesmo, facto que em outros tempos não se verificava nesta capital. O barômetro conservava-se em uma oscilação muito variável. Era o pressagio do tufão que tantos males trouxe na sua fúria indômita e aliás, dizem-nos pessoas atingidas, nunca observado com esta intensidade. [...] Observando-se d'ahi os telhados de todo o quartel, via-se que fora ele em grande parte desprovido de sua cobertura, cujas telhas voaram em todas as direcções, como folhas de papel. [...] A casa desabou totalmente, ficando apenas em pé uma pequena dependência de madeira (Diário da Tarde, 1901).

Entretanto, isso não significa que os estudos sobre tornados tenham começado nesta época no Brasil. Os estudos são mais recentes, e um dos trabalhos científicos pioneiros foi realizado por Dyer (1989). O autor analisou e identificou uma série de rastros na região sudoeste do Paraná e nas áreas de fronteira entre o Paraguai e a Argentina, utilizando fotografias aéreas e algumas imagens de satélite da década de 1970. Posteriormente, outros autores, como Nascimento (2005), Marcelino (2007), Cândido (2012), Bertolini (2013), e Hornes e Balicki (2018), desenvolveram estudos sobre a ocorrência de tornados no Brasil.

Porém, no Brasil, o volume de estudos sobre eventos tornádicos, assim como as tecnologias disponíveis para desenvolver pesquisas não são expressivos em comparação com os Estados Unidos. No Quadro 4 estão listados eventos notáveis desenvolvidos naquele país. Esses eventos destacam o início e a evolução das previsões, detecção e métodos de análise, juntamente com o desenvolvimento de tecnologias essenciais, como radar, computadores e satélites, além de sistemas de instrumentação continuamente aprimorados para medição e análise computacional de eventos tornádicos.

As informações baseiam-se em partes dos estudos de Agee e Taylor (2019) e Bradford (1999) que desenvolveram análises históricas sobre tornados nos Estados

Unidos, assim, como dados disponibilizados pelo *National Severe Storms Laboratory* (NSSL) do NOAA. Muitos outros eventos poderiam estar inclusos no Quadro 4, porém foram destacados os eventos que apresentaram uma evolução técnica científica para análise e prevenção de eventos tornádicos.

Quadro 4 - Evolução histórica das tecnologias de identificação de tornados nos Estados Unidos.

(continua)

| Período               | Evento/Desenvolvimento                                                                                                  | Descrição                                                                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Século XIX            | Início das Observações Sistemáticas                                                                                     | Em 1847, Joseph Henry iniciou um programa de observação meteorológica voluntária nos EUA (Bradford, 1998, p. 484).                    |
|                       | Primeira Linha Telegráfica                                                                                              | Em 1845, a abertura da primeira linha telegráfica comercial permitiu a comunicação rápida sobre tempestades (Bradford, 1998, p. 484). |
|                       | Esforços de Finley: registro de tornados (AGEE, TAYLOR, 2019, p. 358).                                                  | Em 1880 — Início dos registros detalhados de tornados de Finley.                                                                      |
|                       |                                                                                                                         | 1884 — Climatologia de Finley de 600 relatos de tornados (1794–1881).                                                                 |
|                       |                                                                                                                         | 1884 — Primeira previsão experimental de tornado por Finley                                                                           |
|                       |                                                                                                                         | 1885 — O oficial chefe do Serviço de Sinalização proibiu o uso da palavra "tornado", usando apenas tempestade.                        |
| Serviço Meteorológico | Em 1890, o US Weather Bureau foi estabelecido, centralizando a coleta de dados meteorológicos (Bradford, 1998, p. 484). |                                                                                                                                       |
| Século XX             | Serviço Meteorológico                                                                                                   | 1950 — Início do registro moderno de tornados (Agee, Taylor, 2019, p. 358).                                                           |
|                       |                                                                                                                         | 1950 — O Serviço Meteorológico revogou a proibição de emitir avisos de tornado para o público (Agee, Taylor, 2019, p. 358).           |

(continuação)

| Período              | Evento/Desenvolvimento                                             | Descrição                                                                                                                                                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Uso de Radar                                                       | Nos anos 1950, o radar começou a ser utilizado para detectar tempestades e, posteriormente, tornados (Agee, Taylor, 2019, p. 357).                                                 |
|                      |                                                                    | 1953 — Primeiro eco de gancho de tornado detectado por radar pelo Illinois State Water Survey em Champaign (Agee, Taylor, 2019, p. 357).                                           |
|                      |                                                                    | 1957 — Criação do Radar do Serviço Meteorológico (WSR57; usado pelo Projeto Nacional de Tempestades Severas em 1962) (Agee; Taylor, 2019, p. 357).                                 |
|                      | Desenvolvimento do Radar Doppler                                   | Na década de 1980, O radar Doppler NEXRAD (WSR-88D) foi criado; implementado na década de 1990 (Agee; Taylor, 2019, p. 357).                                                       |
| Era Moderna          | Sistema Avançado de Previsão e Aviso de Tornados (TOR)             | 1994 - Verification of the Origins of Rotation in Tornadoes Experiment VORTEX, identificação de tornados com radar móvel (NSSL, s/d).                                              |
|                      |                                                                    | 1995 — NSSFC foi renomeado para SPC (Agee; Taylor, 2019, p. 357).                                                                                                                  |
|                      | Sistema Integrado de Observações e Previsões                       | Nos anos 2000, colaboração entre agências e organizações resultou em um sistema integrado de observações e previsões.                                                              |
| Tecnologias Recentes | Radar de Polarização Dupla (Joint Polarization Experiment - JPOLE) | Introduzido após estudos iniciados em 2002, fornece informações detalhadas sobre precipitação e melhora a detecção de tornados ( <i>National Severe Storms Laboratory</i> – NSSL). |
|                      | Modelagem Computacional Avançada (NOAA)                            | Uso de supercomputadores para simular tempestades em alta resolução, melhorando previsões.                                                                                         |

(continuação)

| Período              | Evento/Desenvolvimento                    | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tecnologias Recentes | Modelagem Computacional Avançada (NOAA)   | O modelo <i>Weather Research and Forecast</i> (WRF) previsões experimentais diárias, em tempo real, de uma a 36 horas de precipitação, ameaça de raios e muito mais, com uma resolução de 4 km.                                                                                                                                                                                    |
|                      |                                           | <i>Collaborative Model for Multiscale Atmospheric Simulation</i> (COMMAS) é um modelo de nuvem 3D capaz de recriar tempestades para estudo mais detalhado (NOAA, s.d.).                                                                                                                                                                                                            |
|                      |                                           | MRMS ( <i>MULTI-RADAR/MULTI-SENSOR SYSTEM</i> ) é um sistema com algoritmos totalmente automatizados que integram de forma rápida e inteligente fluxos de dados de vários radares, observações de superfície e do ar superior, sistemas de detecção de raios, observações de satélite e modelos de previsão.                                                                       |
|                      |                                           | O projeto TORUS, ou Observação Direcionada por Radares e UAS de Supercélulas, visa entender as relações entre tempestades severas e formação de tornados.                                                                                                                                                                                                                          |
|                      | Sistemas de Alerta Baseados em Comunidade | Uso de tecnologia móvel e redes sociais para alertar rapidamente as comunidades sobre tornados.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                      |                                           | FACETs ( <i>Forecasting a Continuum of Environmental Threats</i> ) é uma reinvenção dos alertas e avisos do <i>National Weather Service</i> para o país, uma proposta de estrutura de alerta e alerta de clima severo de última geração que é moderna, flexível e projetada para comunicar informações climáticas perigosas claras e simples para atender ao público (NOAA, s.d.). |

(continuação)

| Período              | Evento/Desenvolvimento                             | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tecnologias Recentes | LIFFT (Fluxos internos de baixo nível em tornados) | LIFT ( <i>Low-Level Internal Flows in Tornadoes</i> ) com início em abril de 2024, o LIFT deve abranger vários anos e tem como objetivo coletar dados na "camada de dano" dos tornados (os 20 metros mais baixos perto do solo), uma região onde os dados não são coletados rotineiramente. |

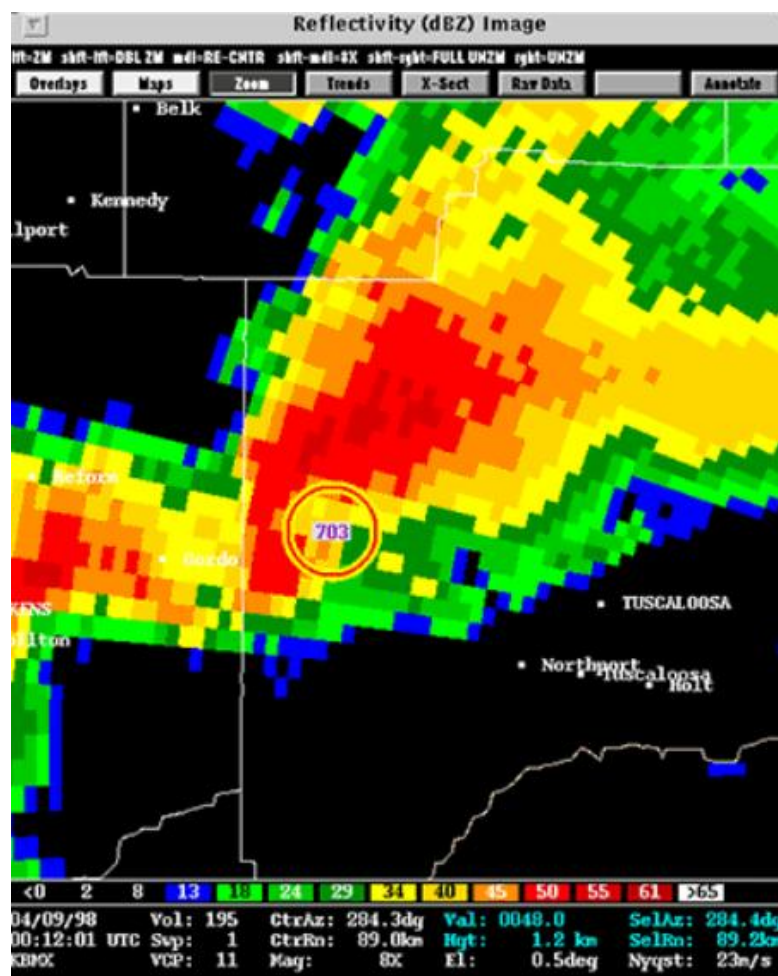
Organização: o autor

A partir do século XX, com o desenvolvimento de novas tecnologias foram sofisticando as técnicas de monitoramento atmosférico que permitiram prever as áreas com altas probabilidades de ocorrência de tornados. O desenvolvimento do radar Doppler trouxe mudanças disruptivas nos estudos de tornados, proporcionando novas descobertas, como a de um vórtice, no tornado de Union City, Oklahoma, de 24 de maio de 1973 (Brown, Lemon, Burgess, 1978, p. 29), caracterizando a presença incipiente de um tornado.

A descoberta do vórtice (ver Figura 3.1) é algo determinante para a previsão de tornados, segundo o NSSL ela possibilita identificar a região que será atingida por tornados. A assinatura de um vórtex em imagem de radar indica que a rotação é intensa e concentrada, sendo menor e concentrada em relação ao mesociclone. Essa mudança foi disruptiva, alterando o modo de previsão do tempo.

O radar é uma das ferramentas mais valiosas disponíveis para um previsor. Do projeto de pesquisa original WSR-57 ao radar Doppler, NEXRAD, tecnologia de polarização dupla e radar matriz em fase, a pesquisa da NSSL realmente mudou a face da previsão do tempo (NSSL, s.d. tradução nossa).

Figura 3.1 - Imagem de radar Doppler revelando a Assinatura de um Vórtice Tornádico (TVS).



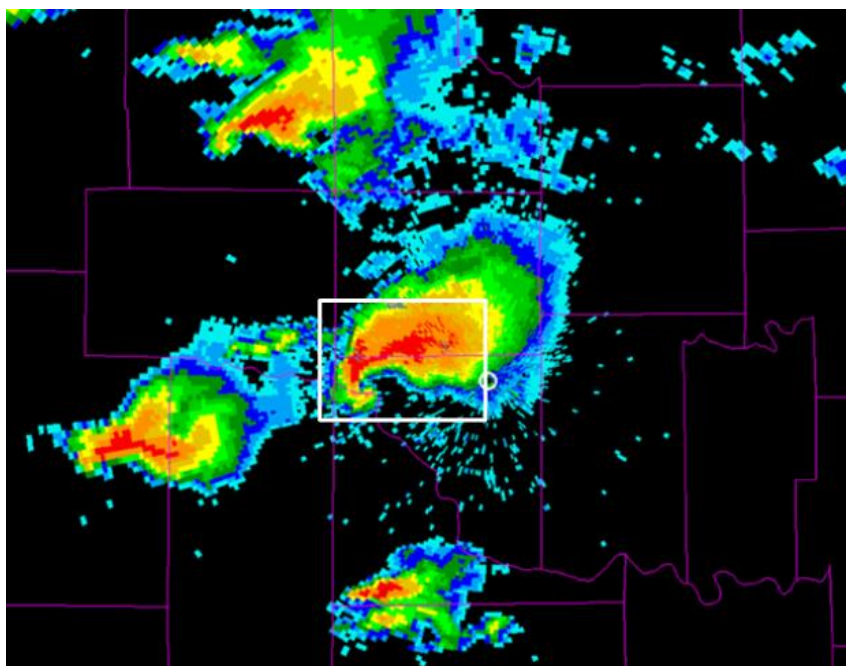
Fonte: NSSL (2024). Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/tornadoes/detection/>. Acesso em 18 abr. 2024

O radar Doppler WSR-88D devido à sua alta resolução espacial e temporal, mede a velocidade e a direção das partículas de precipitação dentro de uma tempestade, permitindo a detecção de padrões de rotação que podem indicar a presença de um tornado ou a formação iminente de um. Essa característica tornou-o uma ferramenta indispensável para a pesquisa de tornados. Tradicionalmente, a identificação de tornados envolve a combinação de observações de radar com regras empíricas. Brown, Lemon e Burgess (1978, p. 29) exemplificaram isso ao utilizar o radar Doppler para detectar o cisalhamento da velocidade radial, característico de um tornado, conhecido como a Assinatura de Vórtice de Tornado (TVS).

Outra assinatura presente em imagens de radar e que possibilita a identificação da ocorrência de tornado é o chamado “eco-gancho” (ver Figura 3.2 retângulo branco).

Um “eco de gancho” descreve um padrão em imagens de refletividade de radar que se parece com um gancho se estendendo do eco do radar, geralmente na parte traseira direita da tempestade (relativo ao movimento da tempestade). Um gancho é frequentemente associado a um mesociclone e indica condições favoráveis para a formação de tornados. O gancho é causado pela corrente descendente do flanco traseiro e é o resultado da precipitação envolvendo o lado traseiro da corrente ascendente (NSSL,2024, tradução nossa).

Figura 3.2 - Imagem de radar doppler revelando um eco de gancho destacado pelo retângulo branco.



Fonte: NSSL (2024). Disponível em: <<https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/tornadoes/detection/>>. Acesso em 15 abr. 2024.

Entretanto, Forbes (1981, p. 1457) enfatizou em seu trabalho que muitos tornados formam-se de tempestades que nunca apresentam um eco de gancho, porém, em seus estudos observou que grande parte dos tornados apresentaram o gancho e que ao aparecer na imagem do radar o tornado já estava tocando o solo, diminuindo a possibilidade de emitir algum alerta de tornado.

Essa afirmativa pode estar relacionada a característica do Doppler, à medida que a largura do feixe do radar aumenta com o alcance os picos de velocidade observados associados a um determinado vórtice diminuem em magnitude (Mitchell, *et al.*, 1998, p. 353), impossibilitando a detecção de tornados fracos.

Segundo Mitchell, *et al.* (1998, p. 353), tendo em vista essa limitação do radar Doppler WSR-88D, o NSSL desenvolveu, em cooperação com a FAA (*Federal Aviation Administration*) e a NWS *Operational Support Facility* (OSF), o NSSL *Tornado*

*Detection Algorithm* (NSSL TDA), o qual possibilitou estudar um número maior de casos de várias regiões, estações e ambientes próximos a tempestades nos Estados Unidos para o desenvolvimento de algoritmos aprimorados de detecção de clima severo.

A partir dos algoritmos existentes no radar *Doppler* WSR-88D, muitos autores desenvolveram pesquisas para aprimorar e criar algoritmos capazes de detectar a formação de eventos tornádicos (Desrochers, Donaldson, 1992; Mitchell et al. 1998; Jonnes, 2004; Jones, Mcgrath E Snow, 2004).

O WSR-88D possui a capacidade em detectar o tamanho das partículas presentes nas nuvens, conforme explicam os pesquisadores do NSSL,

A refletividade é uma medida da potência retornada ao radar, no entanto, esse retorno de potência pode variar significativamente dependendo do alvo atingido. O WSR-88D transmite um pulso com 750.000 watts de potência, mas recebe apenas uma fração dessa potência de volta ao receptor. Na verdade, o retorno de potência é tão fraco que deve ser passado por amplificadores antes que o sinal possa ser processado.

As unidades de refletividade (denotadas pela letra  $z$ ), derivadas da equação do radar, estão em  $\text{mm}^6 / \text{m}^3$ . Essas unidades são difíceis de trabalhar, e os valores brutos de refletividade variam muito dependendo do alvo. Por exemplo, pequenas gotas de água podem ter um valor bruto de refletividade de  $0,001 \text{ mm}^6 / \text{m}^3$  enquanto granizo dentro de uma tempestade severa pode ter um valor bruto de refletividade de  $36.000.000 \text{ mm}^6 / \text{m}^3$ . Isso seria bastante difícil para qualquer um trabalhar. Então, o radar aplica uma escala logarítmica para comprimir significativamente esses valores. Em vez de trabalhar com unidades difíceis, depois que a escala logarítmica é aplicada, temos unidades de decibéis (dB) de refletividade ( $Z$ ) ou dBZ. A escala vai de cerca de -35 dBZ a +85 dBZ. (NOAA, 2023, tradução nossa).

Em termos gerais, quanto maior for o valor da refletividade em dBZ, mais intensa será a precipitação, conforme ilustrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Diretrizes Gerais de Refletividade

(continua)

| dBZ | Intensidade Esperada                                               | Taxa de chuva em mm/h |
|-----|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 85  | Precipitação extremamente forte, incluindo granizo coberto de água | 420 +                 |
| 80  |                                                                    |                       |
| 75  |                                                                    |                       |
| 70  |                                                                    |                       |
| 65  |                                                                    |                       |

(continuação)

| dBZ | Intensidade Esperada                | Taxa de chuva em mm/h |
|-----|-------------------------------------|-----------------------|
| 60  | Precipitação forte ou algum granizo | 24 a 205              |
| 55  |                                     |                       |
| 50  |                                     |                       |
| 45  |                                     |                       |
| 40  | Precipitação moderada               | 3 a 12                |
| 35  |                                     |                       |
| 30  |                                     |                       |
| 25  |                                     |                       |
| 20  | Precipitação leve                   | 1 a 12                |
| 15  |                                     |                       |
| 10  | Precipitação muito leve             | 1                     |
| 5   |                                     |                       |
| 0   |                                     |                       |
| -5  | Extremamente leve (chuvisco/neve)   | Valor inexpressivo    |
| -10 |                                     |                       |
| -15 |                                     |                       |
| -20 |                                     |                       |
| -25 |                                     |                       |
| -30 |                                     |                       |
| -35 |                                     |                       |

Fonte: Adaptado de Radar Images: Reflectivity. Disponível em: <<https://www.noaa.gov/jetstream/reflectivity>>. Acesso em 06 jan. 2024. (Tradução nossa).

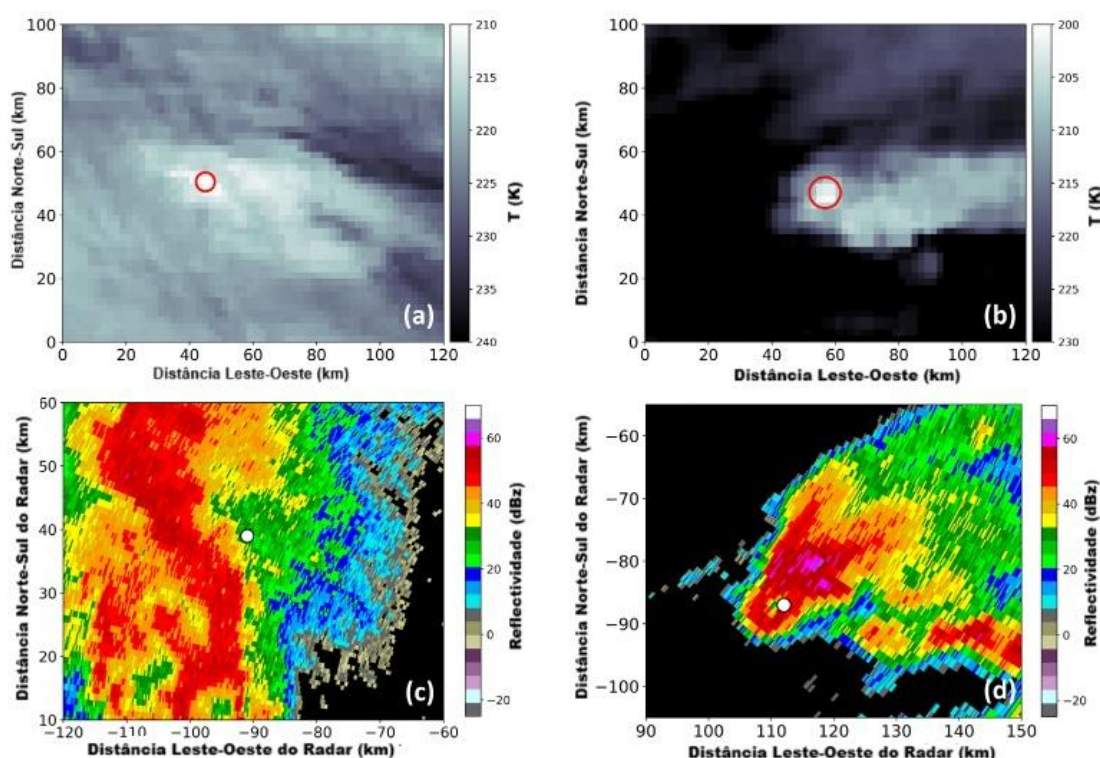
O avanço tecnológico tem sido crucial para melhorar a identificação e a análise de tornados. A ciência conta, também, com satélites que permitem a identificação de características do topo das nuvens em imagens de satélite que têm sido usadas a muito tempo em métodos de detecção de clima severo (Marion; Trapp e Nesbitt, 2019, p. 520).

Os satélites GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*) são projetados para monitorar a atmosfera da Terra em tempo real. Eles possuem instrumentos que podem ajudar na detecção e monitoramento de tempestades, incluindo aquelas com potencial de tornado. Esses satélites são posicionados em órbita geossíncrona, o que significa que eles permanecem fixos em relação a um ponto específico na Terra. O GOES tem a capacidade, devido aos sensores embarcados, de captar e fornecer imagens em diferentes comprimentos de onda,

permitindo monitorar nuvens, tempestades e outros fenômenos atmosféricos (GOES-R Series, 2016). Além disso, o satélite pode fornecer dados térmicos permitindo a observação de mudanças na temperatura da superfície da Terra.

O estudo realizado por Marion, Trapp e Nesbitt (2019, p. 520) demonstraram que as imagens de satélite possuem o potencial para observações em tempo real de tempestades de tornados. A Figura 3.3, dos mesmos autores, contém imagens de satélite infravermelho de ondas longas e imagens de radar correspondentes das tempestades de tornados; 3.3 “a” e “c” a incidência de um tornado EF0; e, 3.3 “b” e “d” a ocorrência de um tornado EF4, indicados pelos círculos vermelhos em “a e b”.

Figura 3.3 - Tempestades observadas por Marion, Trapp e Nesbitt (2019, p. 520) com o GOES-16. Nas figuras termais (a) e (b) indicam o tornado; em (c) e (d) os pontos brancos indicam o tornado em imagem dBz.



Fonte: Adaptado de MARION, TRAPP e NESBITT, 2019, p. 520.

As imagens de satélite também são usadas para identificar atividades tornádicas retrógradas. Hornes e Balicki (2018) utilizaram imagens de satélite para identificar a evolução da tempestade que gerou um tornado de múltiplos vórtices em Marechal Cândido Rondon - PR, em 2015.

Line *et al.* (2016, p. 483) utilizaram imagens de satélite para identificar um setor convectivo ativo, analisando o antes e o depois de um evento de clima severo. Weaver *et al.* (2002, p. 124) utilizaram imagens de satélite para mostrar a eficiência de imagens de varredura para previsão de curto prazo de eventos severos.

Outros autores (Dyer, 1986, p. 589; YAN *et al.*, 2001, p. 382; Hornes *et al.*, 2022; Kunkel, 2023, p. 139) utilizaram imagens de satélite não para visualizar o evento tornádico em si, mas para mensurar a magnitude do evento a partir dos rastros deixados pelo tornado, chamado por Hornes (2022, p. 42) de “caminho da lágrima”.

Quando ocorre um evento tornádico, rastros de destruição ficam por onde ele passa, possibilitando estudos relacionados à trajetória e magnitude.

[...] é uma das melhores evidências de sua ocorrência, pois indica a área percorrida pelo fenômeno. Por meio da verificação dessa trajetória, podem-se observar características de destruição, como disposição dos detritos e os tipos de danos, os quais são distintos dos causados por um vendaval comum ou microexplosões e macroexplosões. Esse percurso pode se apresentar sinuoso, contendo ou não arcos com maior nível de destruição quando o tornado for do tipo múltiplos vórtices. A trajetória pode ser contínua ou apresentar alguns pontos de descontinuidade originados pelas variações de direções (HORNES, 2022, p. 42).

Desde o século XX (como observado no Quadro 4), o avanço tecnológico tem desempenhado um papel fundamental na evolução das técnicas de monitoramento atmosférico, permitindo prever com mais precisão áreas suscetíveis à ocorrência de tornados. A introdução do radar *Doppler*, especialmente o WSR-88D, revolucionou a meteorologia, possibilitando a detecção de padrões de rotação dentro de tempestades que indicam a presença ou formação iminente de tornados. Descobertas como a do vórtice tornádico tornaram-se essenciais para a previsão e alerta de tornados, proporcionando novas maneiras de identificar regiões potencialmente afetadas por esses fenômenos.

O desenvolvimento contínuo de tecnologias, como o radar de polarização dupla, a modelagem computacional avançada e sistemas como o MRMS, aprimorou ainda mais a capacidade de detectar e prever tornados com maior precisão e antecedência. A colaboração entre diversas agências e a integração de dados de múltiplas fontes resultaram em sistemas mais sofisticados e eficazes de observação e previsão.

Além dos radares, os satélites GOES têm contribuído para o monitoramento em tempo real da atmosfera, fornecendo dados valiosos sobre tempestades e outros

fenômenos atmosféricos. Estudos demonstram que as imagens de satélite da superfície possuem o potencial de serem utilizadas para observações em tempo real de tempestades de tornados, bem como para identificar atividades tornádicas retrógradas e mensurar a magnitude dos eventos a partir dos rastros deixados.

No entanto, apesar dos avanços, desafios permanecem. O tempo de resposta para emissão de alertas ainda é uma preocupação, visto que alguns tornados podem se formar e tocar o solo antes que padrões característicos, como o eco de gancho, sejam identificados (NOAA, 2024).

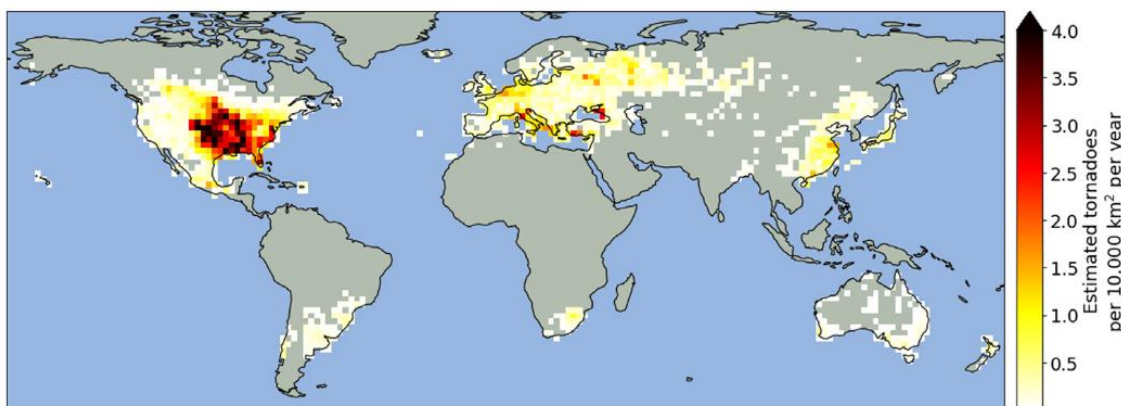
A evolução das tecnologias de detecção e previsão de tornados tem melhorado significativamente a capacidade de prever e mitigar os impactos desses eventos severos. No entanto, o desenvolvimento de novas ferramentas torna-se essencial para minimizar os danos decorrentes de tornados.

### 3.2 Distribuição Geográfica de Tornados

A distribuição global de tornados, conforme ilustrado na

Figura 3.4 evidencia uma concentração significativa no centro e sudeste dos Estados Unidos, conhecidos como "Tornado Alley", onde as taxas chegam a mais de 4 tornados por 10.000 km<sup>2</sup> por ano. Outras áreas com alta incidência incluem partes da Europa Central e Oriental, bem como regiões isoladas da América do Sul, Ásia e Austrália, embora com frequência consideravelmente menor (Maas *et al.* 2024, p.1140).

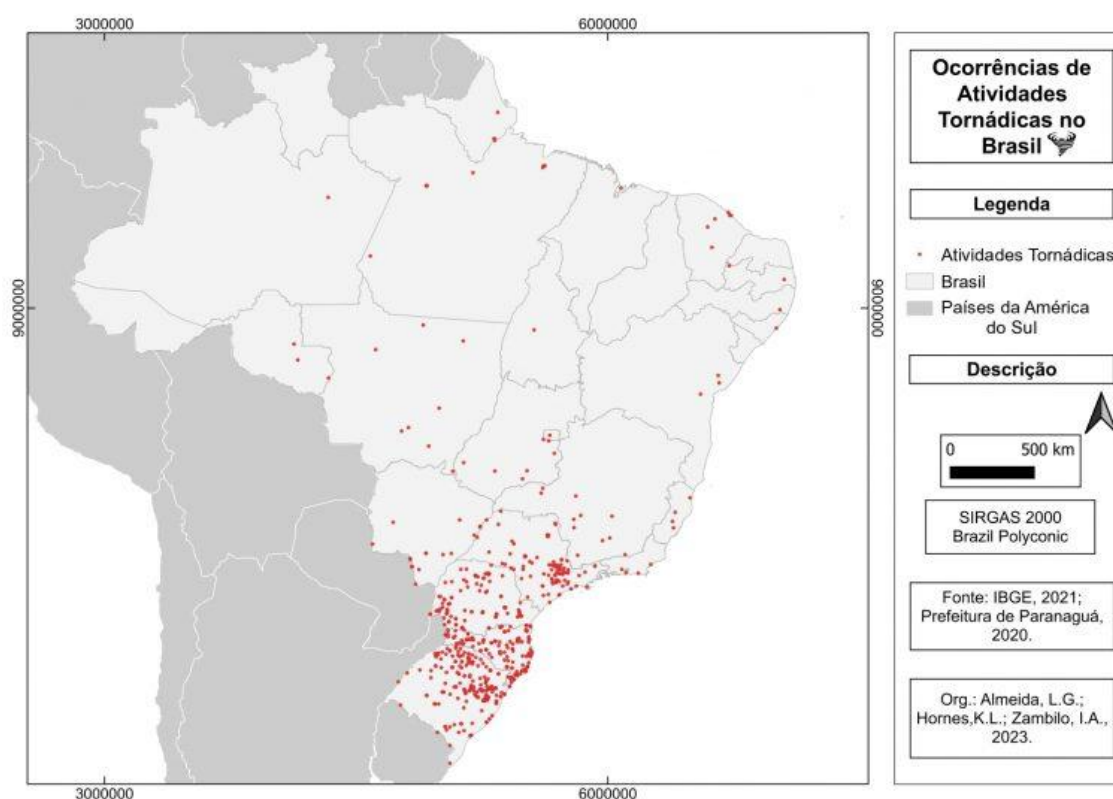
Figura 3.4. Distribuição global estimada da frequência anual de tornados por 10.000 km<sup>2</sup>.



Fonte: MAAS, M. et al. The Tornado Archive: Compiling and Visualizing a Worldwide, Digitized Tornado Database. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 22 abr. 2024. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/105/7/BAMS-D-23-0123.1.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/105/7/BAMS-D-23-0123.1.xml?tab_body=pdf)>. Acesso em 15 out. 2024.

Entretanto, ao observar a Figura 3.5 percebe-se que o território brasileiro possui uma frequência baixa para ocorrências de tornados. Um estudo divulgado recentemente traz números atualizados e superiores aos levantados por Maas *et al.* (2024). Almeida et al. (2024) analisou eventos severos entre 1975 e 2018, chegando à conclusão que o Brasil teve 581 tornados, dos quais 411 ocorreram na Região Sul, conforme ilustrado na Figura 3.5. Esses dados atualizam o número de eventos tornádicos documentados no país, destacando a Região Sul como a área mais suscetível a esses fenômenos devido às suas condições atmosféricas e geográficas.

Figura 3.5- Ocorrências de tornados no Brasil de 1975 a 2018



Fonte: ALMEIDA, L. G. HORNES, K. L. ESTIVALLET, J. OCORRÊNCIAS DE TORNADOS NO BRASIL NO PERÍODO DE 1975 A 2018. Disponível em: <[https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2023/9\\_Loriane\\_Gomes\\_de\\_Almeida-169538975923582.pdf](https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2023/9_Loriane_Gomes_de_Almeida-169538975923582.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2024.

O recorte geográfico deste estudo, centrado no estado do Paraná, justifica-se pela significativa concentração de eventos tornádicos registrados na Região Sul do Brasil, a qual responde por 70,7% dos casos documentados no país entre 1975 e 2018 (Almeida et al., 2024).

A escolha desse recorte também se alinha à necessidade de compreender melhor os padrões regionais de danos e intensidades desses fenômenos, contribuindo

para o aprimoramento de estratégias de mitigação e gestão de desastres no estado. Assim, ao concentrar a análise no Paraná, o estudo busca preencher lacunas no conhecimento científico sobre tornados em escala estadual, oferecendo subsídios para políticas públicas e ações preventivas mais eficazes.

A identificação de atividades tornádicas representa um desafio no campo da meteorologia e da análise de desastres naturais.

Uma das principais dificuldades com registro e evidência de tornados é a necessidade de observação do fenômeno. Ao contrário da precipitação ou da temperatura que podem ser medidas por instrumentos fixos, o tornado torna-se um desafio para os aparelhos atuais, por apresentar uma curta duração e atuar em uma dinâmica espacial considerada uma incógnita. Assim, registros dos fenômenos tendem a ocorrer em sua grande maioria com fotografias e filmagens onde há maiores aglomerações humanas. Em locais de baixa densidade demográfica o mesmo dificilmente será documentado, desta forma muitos tornados deixam de ser registrados (HORNES e BALICKI 2018, p. 37).

A capacidade de distinguir entre danos causados por vendavais e danos causados por tornados é crucial para melhorar nossa compreensão sobre a existência, a dinâmica desses fenômenos e aprimorar as estratégias de resposta e mitigação de desastres. Fotografias de danos são ferramentas valiosas, pois capturam evidências visuais dos impactos dos tornados, permitindo uma análise detalhada dos padrões de destruição. No entanto, a interpretação dessas imagens demanda um entendimento profundo dos sinais característicos dos tornados.

## 4 ESTRUTURA DE DANOS CAUSADOS POR TORNADOS: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE A PARTIR DE ESTUDOS DE CASOS NO PARANÁ

Este capítulo tem como objetivo explorar os métodos e técnicas utilizados para identificar atividades tornádicas a partir de fotografias de danos. Inicialmente, serão apresentados os danos causados por tornados segundo o NOAA, buscando abordar os seis níveis da Escala Fujita Melhorada, para estabelecer as características destes eventos. Em seguida, serão apresentadas as metodologias empregadas para a análise dos danos baseadas nos 21 indicadores propostos no documento *A Recommendation for an ENHANCED FUJITA SCALE (EF-Scale)* de 2006. Por fim, serão discutidos os resultados da aplicação dessas metodologias em estudos de casos de tornados ocorridos nos municípios paranaenses de Nova Laranjeiras do Sul (1997), Marechal Cândido Rondon (2015), Francisco Beltrão (13/07/2015), Itaperuçu (04/12/2018), Ponta Grossa (05/04/2024) e Cascavel (04/12/2023), evidenciando os padrões de danos associados a tornados retrógrados.

A compreensão aprofundada dos danos causados por tornados não apenas contribui para a ciência meteorológica, mas também auxilia na elaboração de políticas públicas mais eficazes e no desenvolvimento de medidas preventivas e de resposta que minimizem os impactos desses eventos severos.

### 3.3 Análise de Padrões de Danos

Os tornados são fenômenos atmosféricos extremos causados por intensas oscilações das massas de ar. Trata-se de colunas estreitas de ar em rotação violenta, que se estendem de uma tempestade até o solo (NOAA, 2023). Sua visibilidade ocorre quando há condensação de gotículas de água, além da presença de poeira e detritos. Segundo Ahrens (2009, p. 394), ao atingir o solo, os tornados podem causar destruição significativa, prejuízos e, em alguns casos, vítimas fatais.

Para compreender melhor seu impacto, Fujita e seus colegas analisaram mais de 300 áreas atingidas entre 1965 e 1991 (MacDonald, 2001). Com sua habilidade para interpretar indicadores de danos, Fujita desenvolveu a Escala Fujita, que estima a intensidade dos tornados com base na velocidade do vento. No entanto, avanços nas pesquisas levaram à criação da EF, que aprimorou essa avaliação ao considerar

com mais precisão os materiais afetados e a resistência das estruturas danificadas (NOAA, 2023).

A análise dos danos causados por tornados é essencial tanto para compreender sua intensidade quanto para aprimorar práticas de engenharia e construção. Nesse contexto, a EF se destaca como uma ferramenta fundamental, permitindo a classificação dos tornados com base nos danos observados.

A EF utiliza DIs, que incluem elementos como construções, árvores e veículos, analisados em relação a rajadas de vento de 3 segundos a 10 metros de altura (Lombardo et al., 2023, p. 781). Cada DI possui uma série de DoD, que quantificam a severidade dos impactos e permitem uma classificação mais precisa do evento (ver Anexo).

Os DoD descrevem os diferentes níveis de danos que podem ocorrer em diversas estruturas, desde edifícios residenciais e comerciais até escolas, árvores e veículos. A classificação varia de danos leves, como telhas soltas, a destruição total de uma construção, representando uma das principais inovações da EF em relação à escala original.

Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa da intensidade do tornado levando em consideração a resistência variável das diferentes estruturas. Por exemplo, uma casa construída com materiais resistentes terá um DoD mais alto para o mesmo nível de intensidade de vento do que uma estrutura mais frágil, como um galpão de madeira.

Segundo o *Wind Science and Engineering Center* (2006, p. A – 3) os DoD (DoDs) são numerados de 0 a 10, com cada número indicando um nível progressivo de dano. Para cada DoD, existe uma faixa de velocidades de vento, composta por três valores: o limite inferior (LB), o valor esperado (EXP) e o limite superior (UB). Esses valores refletem as variações na qualidade das construções encontradas no campo (ver anexo).

Edwards et al. (2013, p. 644) explicam como são realizadas as interpretações dos danos usando os DoDs,

[...] os inspetores aplicam a EF comparando a estrutura danificada observada com o DI apropriado e, em seguida, selecionando o DoD mais próximo. Dentro de um DoD, então, tem-se a margem de manobra para ajustar um nível DoD para cima ou para baixo com base em uma avaliação subjetiva de fatores atenuantes, como a condição do entorno imediato ou conhecimento disponível da integridade estrutural (ancoragem, anexos, materiais de construção etc.) (tradução nossa).

O Quadro 6 ilustra os Graus de Dano (DoD) para o Indicador de Danos (DI) relacionado a residências de uma e duas famílias (FR12). Conforme a velocidade do vento, são atribuídos os graus de dano, que variam de 1 a 10, analisando-se a resistência oferecida pelos materiais construtivos em relação ao indicador de dano específico para aquele local. No caso do DI 2, por exemplo, o DoD 7 indica que, em condições normais, velocidades de vento de 212 km/h são suficientes para derrubar as paredes externas de uma residência.

No entanto, o limite inferior de velocidade do vento considera o caso em que a residência não esteja em perfeitas condições de conservação, enquanto o limite superior reflete a situação em que a qualidade construtiva seja superior à média.

Quadro 6 - DOD conforme DI 2 - Residências para uma e duas famílias.

| DOD | Descrição do dano (DI)*                                                                                                                                            | Velocidade do Vento (km/h) |                 |                 |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
|     |                                                                                                                                                                    | Esperado                   | Limite Inferior | Limite superior |
| 1   | Limiar de dano visível                                                                                                                                             | 104                        | 82              | 128             |
| 2   | Perda de material de cobertura do telhado (<20%), calhas e/ou toldo; perda de vinil ou revestimento de metal                                                       | 127                        | 101             | 156             |
| 3   | Vidros quebrados em portas e janelas                                                                                                                               | 154                        | 127             | 183             |
| 4   | Elevação da cobertura e perda significativa de cobertura materiais (>20%); colapso da chaminé; portas de garagem colapsam para dentro; queda de varanda ou garagem | 156                        | 130             | 186             |
| 5   | Casa inteira sai da fundação                                                                                                                                       | 194                        | 165             | 226             |
| 6   | Grandes seções da estrutura do telhado foram removidas; a maioria das paredes permanecem de pé                                                                     | 196                        | 167             | 246             |
| 7   | Paredes externas desabaram                                                                                                                                         | 212                        | 181             | 246             |
| 8   | A maioria das paredes desabou, exceto pequenas salas internas                                                                                                      | 244                        | 204             | 286             |
| 9   | Todas as paredes                                                                                                                                                   | 273                        | 228             | 318             |
| 10  | Destruição de materiais projetados e/ou bem construídos residência; laje varrida e limpa                                                                           | 321                        | 265             | 354             |

Fonte: Adaptada do SPC – NOAA. Disponível em: <<https://www.spc.noaa.gov/efscale/2.html>>. Acesso em 06 mar. 2024, (Tradução nossa).

\*Os imóveis são construídos em sistema de estrutura de aço ou estrutura de madeira.

Há um dilema relacionado ao uso dos DIs, pois algumas residências podem apresentar danos enquanto outras, próximas, não são afetadas. A escolha do melhor DI requer uma observação cuidadosa do entorno, como explicam LaDue e Ortega (2008, p. 4),

A variabilidade na intensidade dos danos entre os DIs apresenta um dilema para os avaliadores: uma estrutura pode apresentar danos consistentes com um EF2, enquanto estruturas vizinhas mostram pouco ou nenhum dano. Para determinar a causa dessa variabilidade, os avaliadores precisam ir além dos limites da EF e buscar evidências de variação na velocidade do vento em áreas sem DIs. Muitas vezes, esse método exige uma visão aérea para que as dimensões, orientações e formas dos danos em DIs e não-DIs possam ser comparadas. Se o caminho do dano for particularmente estreito, pode não haver tantos DIs qualificados disponíveis para comparação inter-DI (Tradução nossa).

Além disso, LaDue e Ortega (2008, p. 8) observaram que pequenos vórtices intensos também podem causar grandes variações nos danos em espaços de apenas alguns metros.

Os tornados podem causar desde danos menores, como a remoção de telhas e quedas de galhos de árvores, até a destruição total de edificações e a completa desfiguração da paisagem. Essas características geralmente exigem que os danos sejam utilizados como uma “proxy” para a avaliação do evento (Lombardo et al., 2023, p. 781).

Stevenson *et al.* (2018, p. 3) explicam que objetos podem ser lançados pelo tornado e intensificar os prejuízos, sendo uma característica deste evento.

Uma característica comum de tornados fortes é a presença de detritos lançados pelo vento, gerados por velocidades que excedem o limite necessário para lançar vários elementos no ar. Esses detritos podem ser uma causa significativa de danos adicionais. Além dos danos causados pelo impacto de detritos em edifícios e veículos, o movimento e o voo de itens como equipamentos agrícolas, fardos de feno e outros conteúdos de edifícios resultam em perdas adicionais (Stevenson et al. 2018, p.3. Tradução nossa).

Outra evidência marcante em áreas atingidas por tornados é o chamado “rastros”, conforme ilustrado na Figura 0.1 e analisado por Atkins et al. (2014). Nesse estudo, os autores utilizaram fotografias aéreas para examinar em detalhes a trilha deixada pelo tornado, observando que um único evento pode apresentar diferentes classificações na Escala Fujita Melhorada (EF). Isso ocorre porque a maior velocidade de sucção se concentra no centro do tornado (Li et al., 2024), resultando em danos

mais severos na faixa de passagem principal e gradualmente menores em direção às bordas do funil.

As imagens também revelaram uma significativa variação nos danos observados em diferentes DIs. Em alguns casos, residências foram completamente destruídas, enquanto outras, situadas na mesma direção do tornado, sofreram apenas danos parciais, evidenciando a complexidade da interação entre a intensidade do vento e a resistência das estruturas atingidas.

Figura 0.1 - Indicação do rastro de destruição (seta azul) provocado por tornado em 20 de maio de 2013 em Moore, Oklahoma, com variações na EF. As setas vermelhas indicam a convergência para o rastro e os números em vermelho a EF.



Fonte: Atkins *et al.*, 2014. Sinalização feita pelos autores.

O movimento ascendente do fluxo de ar que forma o tornado, combinado com seu movimento rotacional, gera um efeito de "aspiração", sugando materiais ao longo de seu caminho. De acordo com McDonald (1990, p.717), "objetos e detritos recolhidos e transportados pelos ventos dos tornados variam em tamanho, desde cascalho, de telhado, até vagões ferroviários". Esses materiais são arremessados

como "mísseis" e possuem força suficiente para penetrar em paredes, veículos, solo e outras superfícies (Figura 0.2).

Figura 0.2 - Objetos lançados em forma de "míssil" durante o tornado em Joplin-Missouri em 22 de maio de 2011 - "a" pedaços de madeira transpassam a parede, em "b" chapa de metal cravada em árvore, "c" compensado cravado em parede e em "d" dobradiça cravada em tronco de árvore



Fonte: Explorer/Adventurer & Storm Chaser George Kourounis. Tornado Disaster in Joplin, Missouri May 22/2011. Blog George Kourounis. Hull, s/d. Disponível em: < [http://www.stormchaser.ca/Tornadoes/2011\\_05\\_22\\_Joplin/2011\\_05\\_22\\_Joplin.html](http://www.stormchaser.ca/Tornadoes/2011_05_22_Joplin/2011_05_22_Joplin.html) >. Acesso em: 14 ago. 2024.

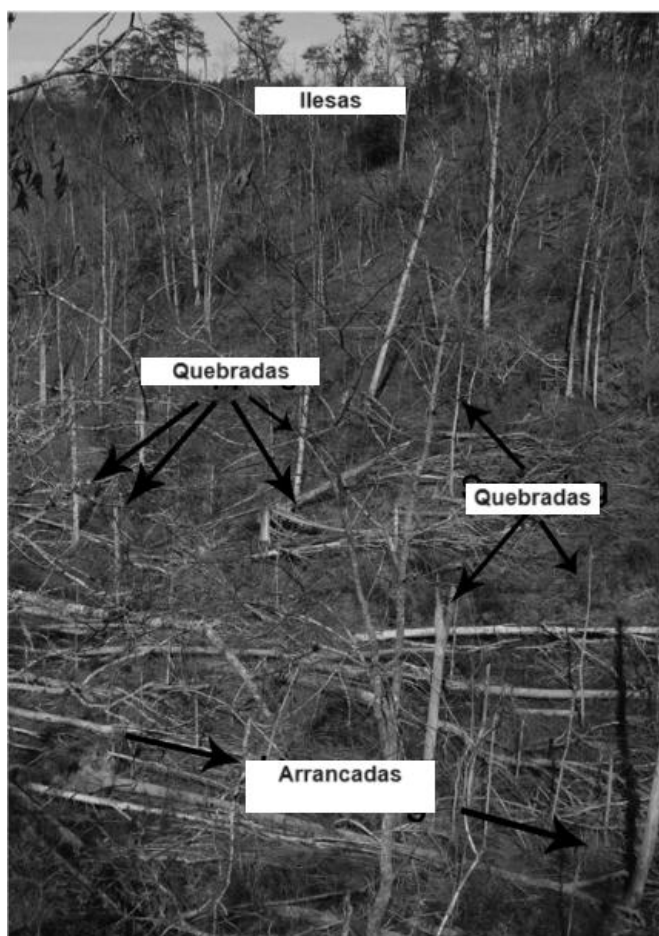
Marshall (2002, p. 587), ao estudar o surto de tornados na noite de 3 de maio de 1999 em Moore, Oklahoma, evidenciou uma grande quantidade de detritos lançados pelo tornado. Segundo ele,

[...] os detritos ingeridos pelo tornado se tornaram projéteis de alta velocidade que penetraram telhados, paredes e veículos. A maioria dos projéteis eram pedaços quebrados de madeira provenientes de casas, móveis e árvores. Projéteis de madeira maiores incluíam tábuas de 2,4 m (8 pés) de comprimento e 5 cm x 10 cm (2 pol. x 4 pol.) ou 5 cm x 15 cm (2 pol. x 6 pol.) de espessura. Uma tábua de 5 cm x 15 cm (2 pol. x 6 pol.) entrou pelo telhado de uma casa e penetrou no freezer da geladeira. Em outra casa, foi encontrado um poste de cerca de madeira de 2,4 m (8 pés) de comprimento

que atravessou uma janela e se alojou em uma parede interna. Várias tábuas de madeira também foram encontradas penetrando o revestimento de tijolos. Projéteis foram encontrados nos lados norte e sul do caminho do dano, geralmente em áreas onde ocorreram danos de F0 a F2 em residências Marshall (2002, p. 587, tradução nossa).

Em áreas naturais, como florestas, também se observam características relacionadas a passagem de tornados. Karstens et al. (2013) realizaram uma análise detalhada dos rastros deixados por tornados em áreas vegetadas, com ênfase especial em regiões arborizadas. O estudo concentrou-se na queda de árvores após a passagem de um tornado em Birmingham, EUA, em 2011 (Figura 0.3). Os autores destacaram a presença significativa de árvores quebradas e arrancadas pela raiz, fornecendo informações valiosas sobre a intensidade do tornado e seus impactos diretos na vegetação.

Figura 0.3 - Árvores quebradas e arrancadas por evento tornádico em Birmingham, Alabama em 2011.



Fonte: Adaptada de Karstens *et al.* (2013). As setas já constavam na imagem

Adotando uma abordagem analítica contínua é possível identificar outras características distintas na passagem de um tornado. Na Figura 0.4, nota-se a orientação semicircular dos objetos destruídos e a deposição predominante do lado direito da imagem. De acordo com David-Jones et al. (1978, p. 17), “a disposição dos materiais indica a presença de um ponto de forte convergência superficial no núcleo do vórtice [...] as forças radiais estão em equilíbrio ciclostrófico (a força do gradiente de pressão radial para dentro é equilibrada pela força centrífuga)”.

Figura 0.4 - Danos provocados por tornado em Bathurst - New South Wales / Austrália em 30/09/2021. Contendo árvores arrancadas (quadrado vermelho) estrutura completamente destruída, caminhão tombado (quadrado laranja) e os materiais orientados (em amarelo).



Fonte: Adaptado de GORMAN, M. GREGORY, X. COCKBURN, P. **Tornado tears through regional NSW, injuring three people, damaging properties near Bathurst**. Disponível em: <<https://www.abc.net.au/news/2021-09-30/nsw-tornado-injures-three-people-and-destroys-properties/100504728>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

Na Figura 0.4 é possível visualizar a diferença dos estragos nas edificações e na vegetação, como árvores arrancadas e galhos quebrados. Observando as edificações, nota-se, no centro da imagem, um barracão colapsado e, na parte inferior, destaque para o telhado e as janelas quebradas.

As características relacionadas à força dos tornados são evidenciadas no trabalho de Marshall et al. (2007, p. 7), que pesquisou os danos causados por um tornado EF-5 na noite de 4 de maio de 2007, na cidade de Greensburg, Kansas. Na Figura 0.5a tem-se hospital construído em estrutura de alvenaria destruído por tornado

EF 5. Em “b”, os autores destacam o deslocamento de uma viga de 4.500 kg de concreto e aço do telhado do hospital (retângulo vermelho da Figura 0.5a).

Figura 0.5 - Em “a” área do hospital e sinalizada pelo retângulo vermelho local da viga deslocada, veículos arremessados (círculos amarelos) e o deslocamento de viga de concreto em “b”.

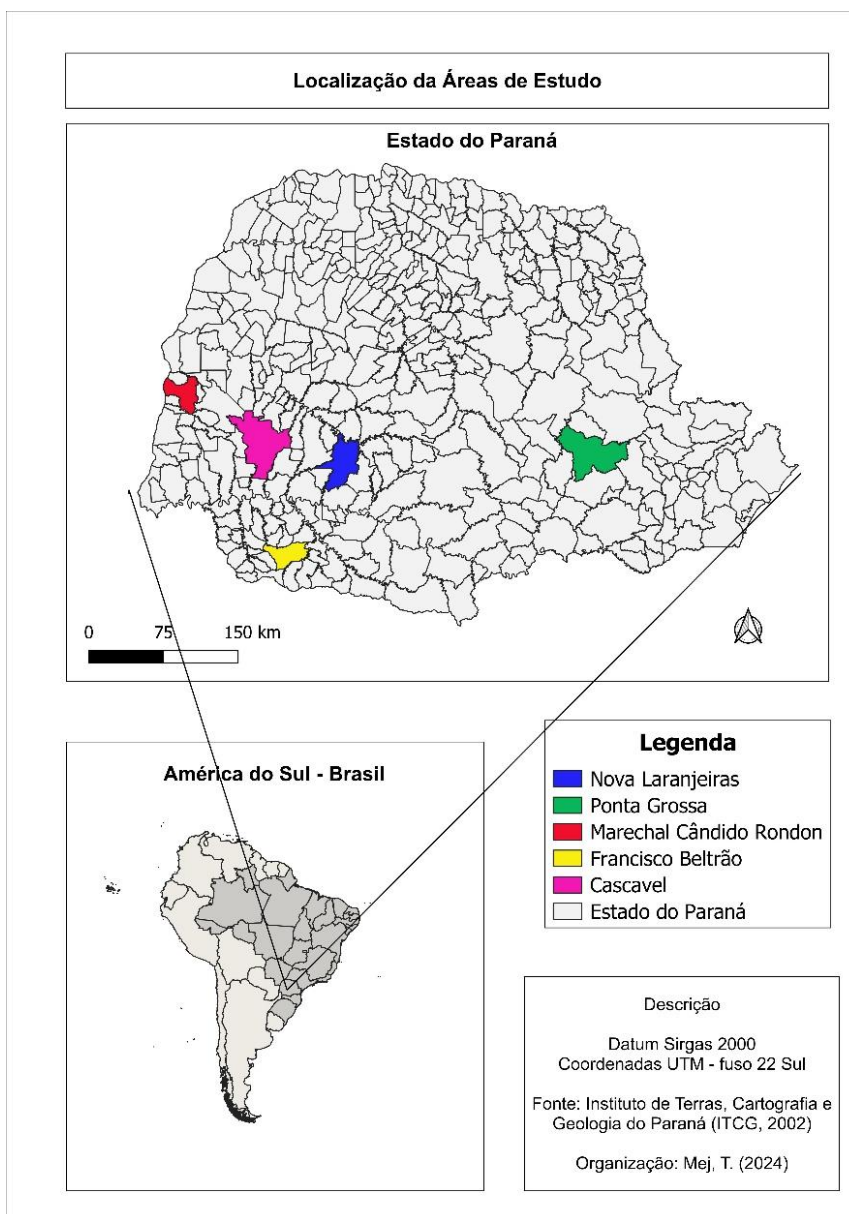


Fonte: Marshall et al (2007, p. 7).

### 3.4 Estudos de Casos de Tornados no Paraná

Para ilustrar a aplicação prática dos conceitos abordados, este subitem apresenta estudos de caso de tornados ocorridos no estado do Paraná (ver Figura 0.6). Esses casos permitem destacar os padrões de danos observados, assim como as particularidades de cada ocorrência, reforçando a relevância de análises detalhadas e contextualizadas para a identificação precisa e a classificação da intensidade dos tornados.

Figura 0.6 - Localização dos municípios dos tornados estudados



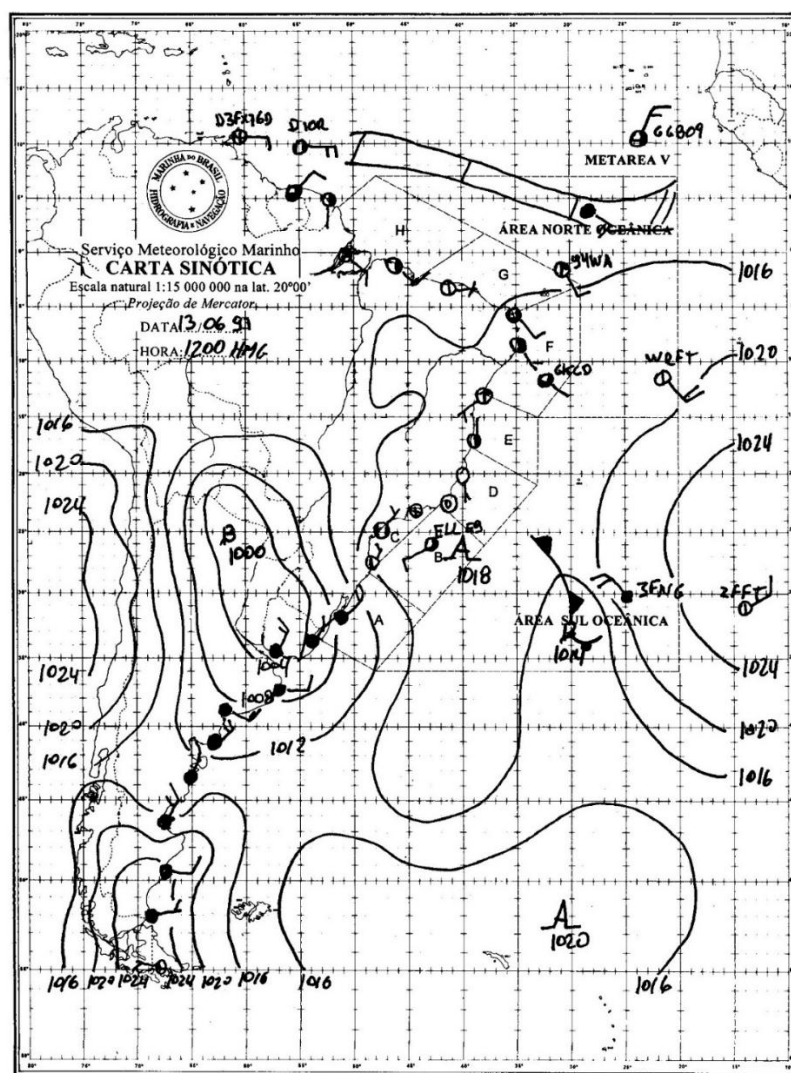
Fonte: Mej (2024).

O estado do Paraná, localizado na região Sul do Brasil, tem registrado ao longo dos anos uma série de eventos tornádicos que deixaram marcas profundas em diversas comunidades. De acordo com Almeida, Hornes e Estivallet (2023), o Paraná registrou 81 tornados de 1975 a 2018. Apesar de serem menos frequentes do que em outras partes do mundo, os tornados que ocorrem no Paraná apresentam características destrutivas significativas, tornando-se objeto de estudo essencial para a compreensão da dinâmica desses fenômenos em áreas subtropicais.

### 3.4.1 Tornado de Nova Laranjeiras em 13 de junho de 1997

A carta sinótica apresentada na Figura 0.7, correspondente ao dia 13 de junho, revela a configuração de sistemas meteorológicos significativos que influenciaram a dinâmica atmosférica no Brasil. Há um centro de baixa pressão (1009 hPa) localizado sobre o continente, na altura do centro-sul do Brasil. A presença da frente fria bem definida estende-se desde o centro-sul do Brasil em direção ao oceano Atlântico, indicando a interação de massas de ar quente e úmido provenientes do Norte com massas de ar frio e seco que avançam do Sul.

Figura 0.7 - Carta Sinótica de 13 de junho de 1997



Fonte: Marinha do Brasil (2024)

Essa configuração atmosférica observada, combinação de baixa pressão, frente fria, cisalhamento do vento observados na Figura 0.7, juntamente com a instabilidade convectiva desencadeada pela atuação dos sistemas, torna-se ambiente propício para tempestades severas como observado no capítulo 1.

Em 13 de julho de 1997, Nova Laranjeiras foi atingida por um tornado, um evento que ficou marcado na história do município paranaense.

No dia 13 de junho de 1997, um vendaval atingiu Nova Laranjeiras, município a 110 km de Cascavel, e deixou 80% das casas da cidade no chão. Quatro pessoas morreram e outras 76 ficaram feridas. Pelo cenário de destruição, o episódio foi classificado por alguns especialistas como um tornado do tipo F3 na escala Fujita, criada em 1971 para medir a intensidade desses incidentes. O tipo F3 é considerado um "tornado severo", com ventos entre 252 e 331 km/h (PIRES, 2019, s/p).

Entretanto, considerando a atualização da Escala Fujita para a EF, o tornado pode ser reclassificado como EF 4, com base nas áreas atingidas e nos estragos causados. De acordo com Atkins et al. (2014), um tornado evolui durante seu trajeto. Ao tocar o solo, pode ser classificado como EF 0 e, ao longo do percurso, pode aumentar de intensidade até atingir um EF 5. Isso justifica a ocorrência de diferentes escalas de danos em uma mesma área.

A Figura 0.8 apresenta imagens que evidenciam a passagem do tornado pelo município. Na Figura 0.8a, em meio aos escombros, nota-se a presença de um automóvel capotado e residências de alvenaria destelhadas. Ao fundo, é possível identificar que algumas residências perderam completamente a estrutura dos telhados, restando apenas as paredes. Essas características correspondem ao DI 2 e um DoD 6, onde os ventos chegam a 246 km/h, caracterizando um tornado de magnitude na EF 3.

Em outros pontos da cidade (ver Figura 0.8 b, c, d), residências foram destruídas, restando apenas o piso ou como observado na Figura 0.8c, apenas as paredes de alvenaria em pé. Segundo a classificação de danos, o DI se enquadra em 2 com DoD 8.

Figura 0.8 - Residências atingidas pelo tornado ocasionadas por tornado em junho de 1997, em Novas Laranjeiras, Paraná. Em “a” uma residência parcialmente destelhada e ao redor outras destruídas e um veículo tombado. Em “b” escombros de residência, Em “c” escombros de residência e paredes de alvenaria danificadas, em “d” residência destruída ao meio.



Fonte: Adaptado, TAROBÁ | AFILIADA BAND. **Relembre: em 1997 Nova Laranjeiras foi devastada por tornado.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=P4B4m8t77J8>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

Os estragos causados pelo tornado foram relatados também em uma reexibição de reportagem na TV Tarobá do dia 24 de fevereiro de 2023. Segundo a narrativa do repórter, os estragos foram devastadores,

[...] um tornado provocou uma grande destruição em menos de 3 minutos. Cerca de 600 casas foram totalmente destruídas; algumas desapareceram, enquanto outras foram partidas ao meio. Sessenta postes da rede elétrica caíram, deixando a cidade sem luz, água e telefone. O tornado arrastou vários veículos de todos os tamanhos. Um ônibus foi arremessado longe do local onde estava estacionado, enquanto um fusca foi lançado a 150 metros de distância. Apesar de seu peso, uma carreta foi deslocada por 100 metros antes de cair em uma ribanceira (TV Tarobá, 2023).

Os estragos transcritos na reportagem podem ser observados na Figura 0.9 que destaca os veículos mencionados, além de um caminhão tombado (Figura 0.9d).

De acordo com a EF, danos com essas características são observados em tornados de categoria EF 4.

Figura 0.9- Veículos destruídos por tornado em junho de 1997, em Novas Laranjeiras, Paraná. Em “a” caminhão deslocado, em “b” veículo que foi arremessado, em “c” ônibus tombado em “d” caminhão tombado.



Fonte: Adaptado, TAROBÁ | AFILIADA BAND. **Relembre: em 1997 Nova Laranjeiras foi devastada por tornado.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=P4B4m8t77J8>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

As imagens da Figura 0.10 ilustram a destruição em áreas industriais de Nova Laranjeiras. Observando a Figura 0.10b, devido a destruição causada pelo tornado fica difícil identificar a existência um imóvel de uma madeireira, assim como a estrutura metálica dessa construção. De acordo com as observações, o DI 21 (*Metal Building System* - MBS) com DoD 7 indica o colapso de estruturas rígidas, como colunas metálicas, provocadas por ventos de 270 km/h.

Figura 0.10- Colapso de estruturas industriais ocasionadas pelo tornado em junho de 1997, em Novas Laranjeiras, Paraná.

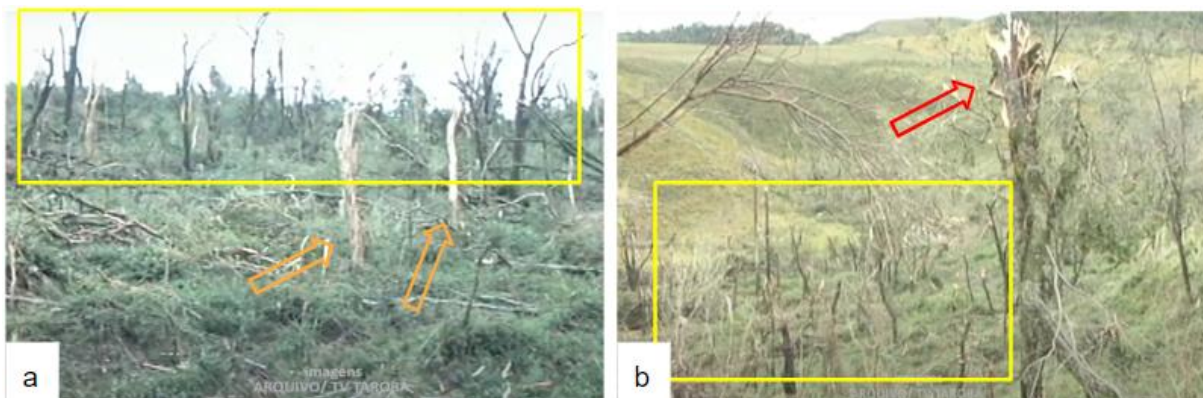


Fonte: Adaptado, TAROBÁ | AFILIADA BAND. Relembre: em 1997 Nova Laranjeiras foi devastada por tornado. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=P4B4m8t77J8>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

A Figura 0.10a mostra o colapso do telhado de uma cooperativa, um indicador de dano em sistema de construção com estrutura metálica com grau de dano identificável DoD 3. Em outro ponto da cidade houve o desabamento de uma estrutura de posto de combustíveis (ver Figura 0.10d). De acordo com o classificador de danos, trata-se do DI 22 (*Service Station Canopy* - SSC), utilizado para postos de combustíveis com grandes áreas cobertas por estruturas metálicas e áreas de serviço, com DoD 6 (ventos de 214 km/h).

Com base nas observações de Karstens *et al.* (2013), é possível identificar na Figura 0.11a presença do indicador de danos 28 com DoD 4 e 5, onde há galhos e troncos de árvores quebrados (retângulo amarelo). Na mesma figura 4.11, em "a", as setas laranjas mostram troncos descascados (DoD 5, ventos  $\geq 210$  km/h), provavelmente causados por detritos lançados pelo tornado, conforme evidenciado por McDonald (1990) em seus estudos.

Figura 0.11 - Árvores quebradas por ação do tornado, em junho 1997, Nova Laranjeiras, Paraná.



Fonte: Adaptado, TAROBÁ | AFILIADA BAND. Relembre: em 1997 Nova Laranjeiras foi devastada por tornado. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=P4B4m8t77J8>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

Na Figura 0.12, o retângulo amarelo destaca um míssil de madeira atravessando um tronco de árvore, característica evidenciada por Marshall (2002, p. 587), ao estudar o surto de tornados na noite de 3 de maio de 1999 em Moore, Oklahoma.

Figura 0.12 - Peça de tabua cravado em tronco de árvore, em junho 1997, Nova Laranjeiras, Paraná.



Fonte: Adaptado, PIRES, R. M. PRÊMIO OCEPAR. VENTOS DA MORTE, VENTOS DA VIDA. Nova Laranjeiras, 13 de jun. 2019. Disponível em: <https://revistaaldeia.com.br/materia/1247/ventos-da-morte-ventos-da-vida>. Acesso em: 18 de mai. 2024

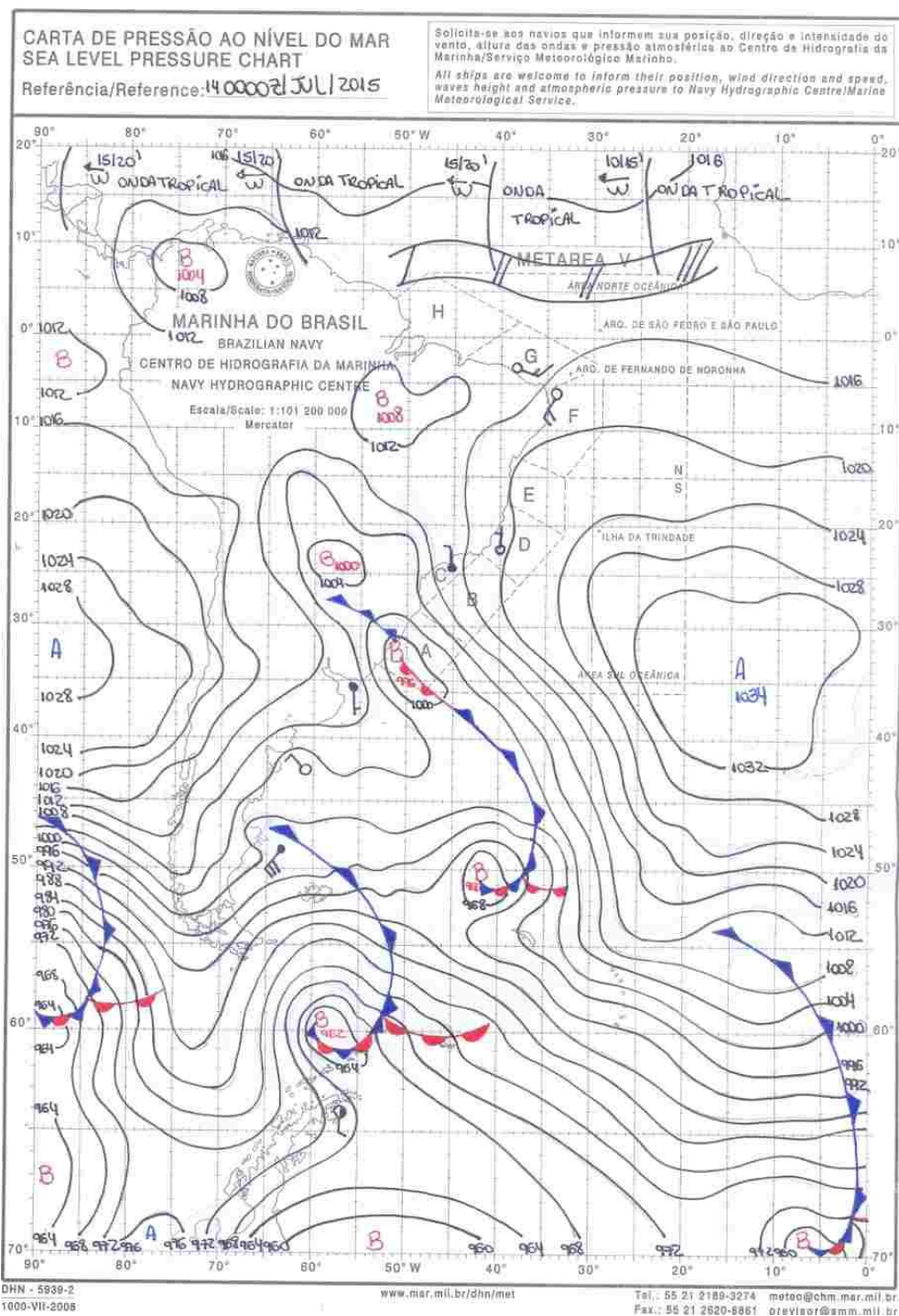
O tornado que devastou Nova Laranjeiras do Sul em 1997 exemplifica a intensidade e a destruição que esses fenômenos podem causar, mesmo em áreas

que não são tradicionalmente associadas a tornados severos. As análises dos danos, como demonstrado nas Figura 0.8, Figura 0.9, Figura 0.10, Figura 0.11 e Figura 0.12 ilustram a gravidade dos estragos e fornecem uma visão detalhada das diferentes escalas de impacto em estruturas residenciais e industriais. A classificação dos danos de acordo com a EF revela a magnitude dos ventos e a extensão dos estragos causados, confirmando que o evento que atingiu Nova Laranjeiras em 13 de junho de 1997, atingiu força equivalente a categoria EF 4.

#### 3.4.2 Tornado Francisco Beltrão- PR em 13 de julho de 2015

A carta sinótica (Figura 0.13) apresentada um sistema de Frente Fria avançando pelo Sul do Brasil, com uma área de baixa pressão associada a um ciclone extratropical. Esse tipo de configuração meteorológica é relevante para a formação de tempestades severas.

Figura 0.13 - Carta sinótica em 14 de julho de 2015, evidenciando pela letra “B” as baixas pressões, juntamente com atuação da frente fria (indicado em azul) e as massas de ar quente (em vermelho).



Fonte: Marinha do Brasil (2024).

A interação desses fatores pode ter contribuído à formação de supercélulas e, consequentemente, tornados, especialmente ao longo da linha de instabilidade associada à frente fria.

No dia 13 de julho de 2015, o município de Francisco Beltrão foi atingido por um tornado, de acordo com a reportagem do Jornal de Beltrão o evento atingiu em torno de 76 casas afetando mais de 300 pessoas e deixando um prejuízo estimado em mais de R\$ 8 milhões (Jornal de Beltrão, 2015).

As imagens capturadas no local mostram claramente (ver Figura 0.14) a devastação causada por um tornado de grande intensidade.

Figura 0.14 - Veículos destruídos por tornado de 13 de julho de 2015 em Francisco Beltrão - PR.



Fonte: SCORTECCI, C. ZANELLA, D. Comunidade em Francisco Beltrão foi destruída por tornado, diz Simepar. Gazeta do Povo, 14 jul. 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/comunidade-em-francisco-beltrao-foi-destruida-por-tornado-diz-simepar-26ghtbf75ryszheqft7zrctn4/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

A Figura 0.14a evidencia um caminhão retorcido, indicando que a força do vento foi expressiva. Essa característica destrutiva evidencia passagem de um tornado EF 3, com força suficiente para erguer e arremessar veículos pesados. O fenômeno pode ser atribuído ao efeito de "aspiração" causado pelo movimento rotacional e ascendente do fluxo de ar dentro do tornado, conforme descrito nos estudos de McDonald (1990). Além disso, a presença de detritos de diferentes origens ao redor do veículo reforça a violência do evento, evidenciando a capacidade destrutiva do tornado em arrancar e dispersar materiais de forma abrupta.

Na Figura 0.14b, a cena de destruição é ainda mais evidente: o veículo utilitário, danificado, está cercado por escombros de madeira e outros materiais. Isso sugere que o tornado não apenas causou danos diretos às estruturas, mas também gerou um grande volume de detritos que, ao serem lançados pelos ventos, contribuíram para danos secundários. Esses detritos, que incluem pedaços de madeira, partes de

construções e vegetação arrancada, estão espalhados por toda a área, evidenciando o rastro do tornado. Como estudado por Atkins et al. (2014), esse fenômeno demonstra a capacidade do tornado de desfigurar completamente a paisagem.

Os danos observados indicam um evento tornádico de alta intensidade, possivelmente classificado como EF3 na Escala Fujita Melhorada, considerando a capacidade do tornado de destruir veículos, arrancar árvores e espalhar detritos por uma grande área.

A presença de detritos dispersos ao redor dos veículos sugere que a área pode ter experimentado velocidades de vento variáveis, criando uma distribuição desigual de danos. Este padrão é consistente com pequenos vórtices intensos dentro do tornado, que podem produzir grandes variações de dano em curtas distâncias, como discutido por LaDue e Ortega (2008, p.8).

Ao analisar a Figura 0.15, observa-se claramente a devastação causada pelo tornado na área rural de Francisco Beltrão, com danos que podem ser analisados conforme os Graus de Danos (DoD) associados ao Indicador de Danos (DI) de residências para uma e duas famílias (FR12) na Escala Fujita Melhorada.

Figura 0.15 - Danos severos causados por tornado no dia 13 de julho de 2015 na área rural de Francisco Beltrão - PR, incluindo destruição de estruturas e árvores arrancadas.



Fonte: SCORTECCI, C. ZANELLA, D. Comunidade em Francisco Beltrão foi destruída por tornado, diz Simepar. Gazeta do Povo, 14 jul. 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/comunidade-em-francisco-beltrao-foi-destruida-por-tornado-diz-simepar-26ghtbf75ryszheqft7zrctn4/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

Na Figura 0.15a o que sobrou de uma casa que sofreu danos graves. A estrutura principal da residência foi completamente destruída, deixando apenas destroços espalhados pelo local. As paredes externas foram derrubadas, o que indica um DoD 7 para o DI 2, onde o esperado para este DoD são ventos de aproximadamente 212 km/h, com um limite inferior de 181 km/h e superior de 246 km/h.

A situação é ainda mais alarmante, com uma casa reduzida a escombros (ver Figura 0.15b e c). A árvore visível (seta laranja) na Figura 0.15b foi deslocada do solo, indicando ventos extremamente fortes, indicando DoD 5, onde a maioria das paredes desabou, exceto pequenas salas internas. O deslocamento de móveis e materiais dentro e ao redor da estrutura a metros de distância, como mostrado no retângulo vermelho, reforça a intensidade do evento, que pode ter alcançado ventos de até 246 km/h. O campo de detritos ao redor reforça a ideia de uma grande variação na intensidade dos ventos em uma pequena área.

O estudo de Karstens et al. (2013) avaliou o Indicador de Danos (DI) para florestas e árvores, onde o DoD reflete a severidade da destruição observada. Na Escala Fujita Melhorada (EF) a destruição completa ou quase completa de árvores em uma floresta pode ser atribuída a um DoD 5, árvores severamente danificadas, com a maioria dos troncos quebrados e alguns arrancados (ver Figura 0.16). Este nível indica ventos podem ultrapassar 219 km/h, um EF 3.

Figura 0.16 - Área florestal severamente danificada por tornado em 13 de julho de 2015 em Francisco Beltrão - PR.



Fonte: MIRANDA, T. No interior, perdas com tornado chegaram a R\$ 5 milhões | Prefeitura de Francisco Beltrão. Disponível em: <<https://franciscobeltrao.pr.gov.br/noticias/desenvolvimento-rural/no-interior-perdas-com-tornado-chegaram-a-r-5-milhoes/>>. Acesso em 25 mai.2024

Além disso, a orientação e a distribuição dos troncos caídos podem fornecer pistas sobre a direção do vento e a estrutura do tornado. Observando a uniformidade da direção em que as árvores caíram é possível inferir sobre variações de intensidade dentro do próprio tornado, conforme discutido em estudos sobre a análise de rastros de destruição.

Figura 0.17 mostra a destruição de dois aviários, considerando que a estrutura destruída é um galpão (uma construção agrícola simples), ela corresponde ao DI 1 (dependências agrícolas - SBO). A estrutura foi completamente demolida, restando apenas escombros de madeira e metal espalhados. Esse nível de destruição corresponde ao DoD 8 e sugere ventos fortes de 180 Km/h, um tornado EF 2.

Figura 0.17 - Aviário destruído por tornado em 13 de julho de 2015 em Francisco Beltrão - PR.



Fonte: MIRANDA, T. No interior, perdas com tornado chegaram a R\$ 5 milhões | Prefeitura de Francisco Beltrão. Disponível em: <<https://franciscobeltrao.pr.gov.br/noticias/desenvolvimento-rural/no-interior-perdas-com-tornado-chegaram-a-r-5-milhoes/>>. Acesso em 25 mai.2024

O conjunto de imagens abaixo (Figura 0.18) complementa a análise do evento ocorrido em Francisco Beltrão. A Figura 0.18a mostra uma residência gravemente danificada, com as telhas completamente arrancadas e escombros espalhados ao redor, em segundo plano na imagem há outra residência sem as telhas e com a varanda danificada. Três áreas destacadas em amarelo, mostram a concentração dos destroços que foram lançados pelo tornado. Estes destroços são evidências da alta intensidade dos ventos no núcleo do vórtice, o que é típico em eventos tornádicos, especialmente quando há uma convergência superficial significativa, conforme descrito no trabalho de David-Jones *et al.* (1978, p. 17).

Figura 0.18 - Danos causados por tornado em área rural de Francisco Beltrão, destacando a destruição de residências e a dispersão de escombros pelo vórtice do tornado em 13 de julho de 2015.



Fonte: MIRANDA, T. No interior, perdas com tornado chegaram a R\$ 5 milhões | Prefeitura de Francisco Beltrão. Disponível em: <<https://franciscobeltrao.pr.gov.br/noticias/desenvolvimento-rural/no-interior-perdas-com-tornado-chegaram-a-r-5-milhoes/>>. Acesso em 25 mai.2024

Na Figura 0.18b, em detalhes o anexo da residência (retângulo vermelho na Figura 0.18a), praticamente destruído, com paredes desmoronadas e detritos de construção espalhados por toda parte.

Os DIs (DIs), especificamente, na Figura 0.18a a destruição do telhado e os danos estruturais significativos são indicativos de um DoD 7 (o vento pode ter chegado a 228 km/h), as paredes externas sofreram avarias e algumas desabaram. Já na Figura 0.18b, a desintegração quase completa da estrutura indica um DoD 9, onde todas as paredes desmoronaram e a destruição é total.

Esses níveis de DoD, combinados com a análise do DI, sugerem que o tornado pode ter atingido velocidades de 228 km/h, suficientes para causar tais níveis de destruição. O DI 2 (Residência para uma ou duas famílias) revela que o dano

observado está em consonância com um evento EF3, dependendo da qualidade da construção e do grau de manutenção da estrutura antes do impacto do tornado.

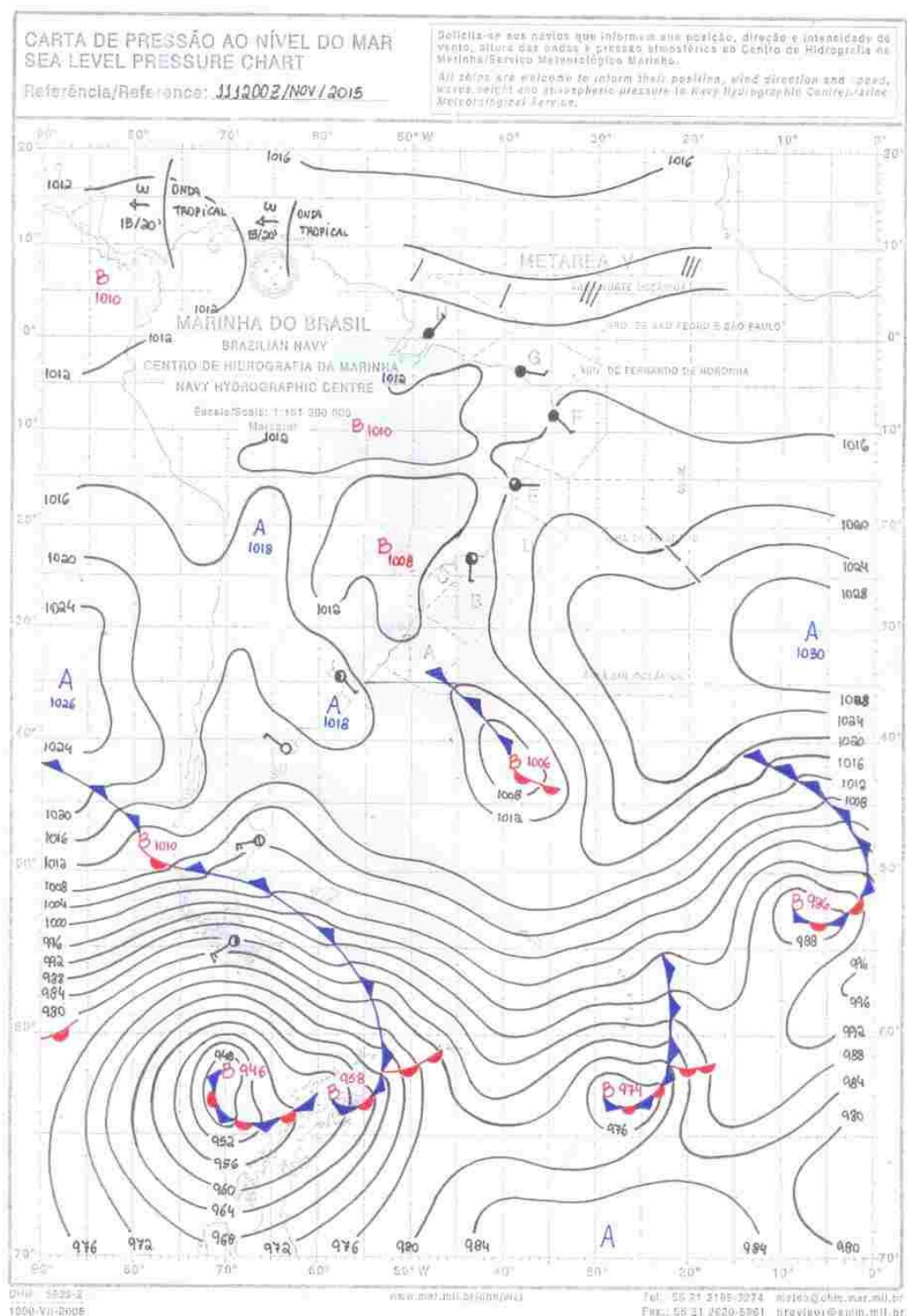
Após análise do conjunto de imagens, em que foram constatados danos severos em edificações, na vegetação e em veículos, o evento tornádico ocorrido em 13 de julho de 2015 no município de Francisco Beltrão teve um dano equivalente a um tornado EF 3.

#### 3.4.3 Tornado de Marechal Cândido Rondon ocorrido em 11 de novembro de 2015

A análise da carta sinótica (ver Figura 0.19) de novembro de 2015, mostra condições atmosféricas que favoreceram a ocorrência de tempestades severas, na região sul do Brasil. Essa análise apresenta elementos significativos que demonstram a dinâmica meteorológica associada a eventos extremos. Um centro de baixa pressão (1006 hPa) estava posicionado próximo ao sul do Brasil, associado a uma frente fria que avançava pela região. Além disso, a presença de um ciclone extratropical ao sul (988 hPa) intensificava os ventos e contribuía para um gradiente de pressão significativo, a presença de Frente Fria na região sul do Brasil, cruzando o Rio Grande do Sul e avançando em direção a Santa Catarina e Paraná. Essa frente resultava da convergência entre o ar quente e úmido, proveniente do Norte, e o ar frio e seco, oriundo do Sul.

As condições favoreciam a geração de supercélulas, que são sistemas convectivos altamente organizados e potencialmente associados à formação de tornados.

Figura 0.19 - Carta Sinótica de 11 de novembro de 2015



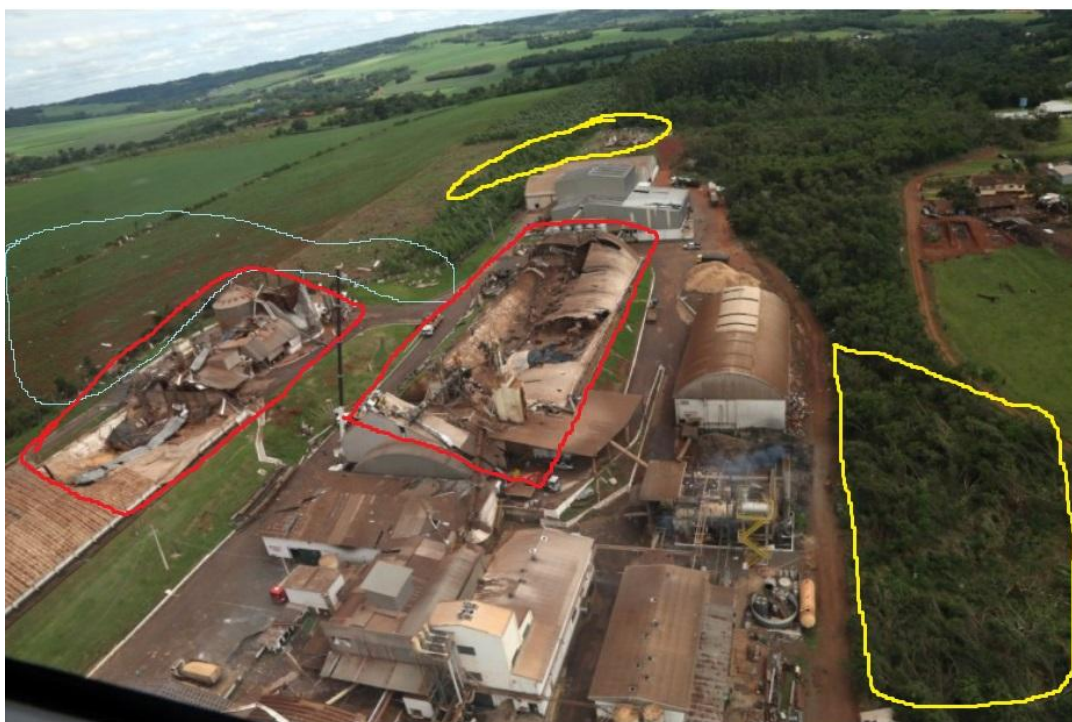
Fonte: Marinha do Brasil (2024).

O tornado ocorrido no município de Marechal Cândido Rondon, foi relatado por Gobato, Gobato e Fedrigo (2016); Goede (2017); Hornes e Balicki (2018); Hornes, Bischof e Schröder (2019); Ferreira, Goede e Nascimento (2022) e por Ferreira *et al.* (2022). Entretanto, as temáticas abordadas por eles envolviam a gênese, as

condições meteorológicas, a resiliência após o evento e a caracterização do evento para classificação como tornado.

Com enfoque na análise dos danos e classificação do evento segundo um Di e DoD, foram analisadas imagens. A começar pela Figura 0.20 evidenciando a passagem do tornado pelo município Marechal Cândido Rondon. A figura mostra uma planta industrial devastada por um tornado, destacando danos significativos em duas estruturas principais, que estão marcadas em contorno vermelho, enquanto a dispersão de destroços é observada ao redor do local (contorno azul). As construções afetadas perderam partes substanciais de seus telhados e paredes, evidenciando a força destrutiva do evento. O DoD no caso se enquadra no nível 7 (ventos de 270 km/h), indicado pela queda das paredes e comprometimento significativo das estruturas.

Figura 0.20 - Dano causado por tornado em planta agroindustrial em Marechal Cândido Rondon-PR, 11 de novembro de 2015.



Fonte: Adaptado, Memoria Rondonense. Arquivo de fotos. Disponível em: <<https://www.memoriarondonense.com.br/eventos-single/tornado-em-19-de-novembro-de-2015/41/>>. Acesso em 05 out. 2024.

O Indicador de Danos (DI - 21) utilizado para avaliar essas construções seria classificado como "Indústrias Leves" ou "Armazéns", onde os ventos de alta intensidade podem causar desde a remoção do telhado até o colapso das paredes externas. Ainda na Figura 0.20 é possível visualizar dois rastros na vegetação, destacados em contorno amarelo. Ao observar o contorno maior, nota-se árvores quebradas e derrubadas.

Na Figura 0.21 é possível identificar outro indicador de dano (DI – 27) provocado pelo tornado, este ocorrido na área urbana de Marechal Cândido Rondon. As imagens exibem danos causados pelo tornado em árvores de grande porte.

Figura 0.21 - Árvores danificadas pela passagem do tornado em Marechal Cândido Rondon, 15 de novembro de 2015.



Fonte: Adaptado, Memoria Rondonense. Arquivo de fotos. Disponível em: <<https://www.memoriarondonense.com.br/eventos-single/tornado-em-19-de-novembro-de-2015/41/>>. Acesso em 05 out. 2024.

Na Figura 0.21a, observa-se uma árvore quebrada com galhos arrancados, possivelmente devido ao movimento rotacional do tornado. A árvore está parcialmente despedaçada, o que pode ser classificado como Indicador de Dano (DI) 27 - árvores de grande porte, com DoD entre 4, onde o tronco está quebrado, e 5, que indica uma árvore parcialmente despedaçada indicando velocidade de vento de 230 Km/h. A 4.21b mostra várias árvores quebradas e caídas sobre a estrada, bloqueando o

caminho. Os galhos e troncos estão espalhados, indicando danos extensivos na vegetação, com uma classificação semelhante à da 4.21a, DI 27 e DoD entre 4 e 5.

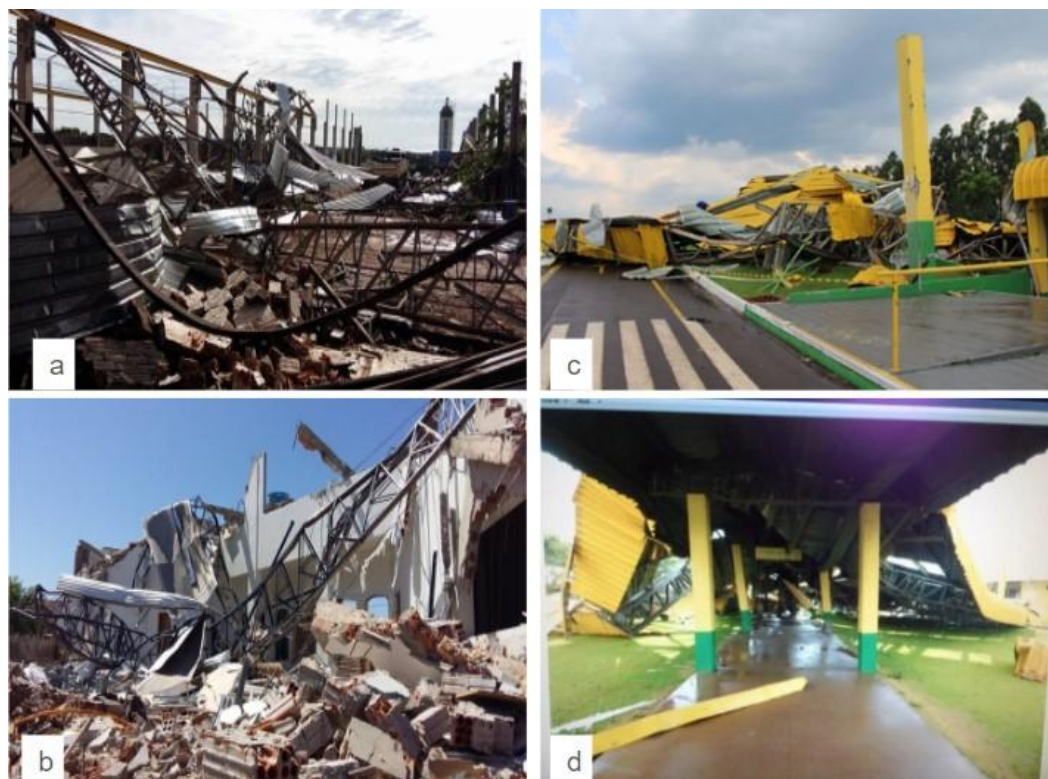
Na 4.21c, nota-se que uma árvore de grande porte com espessuras grandes de tronco e galhos foi partida devido a força do tornado. Com DI 27 e DoD 4, que indica uma árvore caída ou arrancada. Por fim, na Figura 0.21d, observa-se uma cena de destruição, com árvores arrancadas, quebradas e galhos espalhados. Novamente, os danos podem ser classificados como DI 27, com DoD entre 4 e 5, considerando árvore e galhos arrancados.

A Figura 0.22 possui uma série de imagens de estruturas que sofreram danos severos devido à passagem de um tornado no município de Marechal Cândido Rondon. Na primeira (Figura 0.22a), observa-se o colapso da estrutura metálica do telhado de empresa de pré-moldados, juntamente com partes das paredes externas, evidenciando a destruição quase total da edificação. Os escombros estão espalhados ao redor, com elementos da estrutura visivelmente retorcidos e deformados. Esse cenário DI 21- "Armazéns" ou "Indústrias Leves", com um DoD 8, sendo estimados para esta categoria, ventos de 249 km/h.

Na Figura 0.22b, é possível observar o colapso quase total das paredes e do telhado, com as estruturas metálicas retorcidas. A força do tornado comprometeu significativamente a integridade da edificação, sugerindo um DI 17 e DoD 7, o que caracteriza a destruição quase total da estrutura, com ventos estimados em 230 km/h.

Ao analisar a Figura 0.22c, as coberturas metálicas da guarita de uma unidade industrial, foi completamente arrancada. As partes do telhado foram deslocadas e entortadas, o que indica ventos extremamente fortes. Este cenário sugere um DI 22 e um DoD 6 (ventos de aproximadamente 262 Km/h), considerando a remoção completa da cobertura e os danos severos às estruturas de suporte.

Figura 0.22 - Danos severos em estruturas industriais causados por tornado em Marechal Cândido Rondon, 15 de novembro de 2015: colapso de estruturas metálicas e alvenaria.



Fonte: Adaptado, Memoria Rondonense. Arquivo de fotos. Disponível em: <<https://www.memoriarondonense.com.br/eventos-single/tornado-em-19-de-novembro-de-2015/41/>>. Acesso em 05 out. 2024.

Na Figura 0.22d, a estrutura de suporte do telhado sofreu um colapso parcial, com a cobertura metálica dobrada e partes do telhado ainda penduradas, sugerindo um DI 22 com DoD 6, o que indica uma destruição significativa, mas não total, da estrutura.

Essas imagens retratam diferentes níveis de destruição em estruturas industriais e comerciais, sendo que a maioria das edificações sofreu colapso parcial ou total. Os DIs sugerem que o tornado possuía uma alta intensidade, possivelmente categorizado como EF3 na Escala Fujita Melhorada, dependendo da qualidade e resistência das edificações envolvidas. Segundo Hornes *et al.* (2022, p.120) o tornado de Marechal Cândido Rondon pode ser classificado como EF 2, já segundo o SIMEPAR (2015) o evento foi categorizado como EF 1, considerando que a velocidade do vento não ultrapassou 125 Km/h.

A Figura 0.23a, mostra uma residência que sofreu colapso estrutural. As paredes de alvenaria foram derrubadas e os escombros estão espalhados por toda a

área. Restos de tijolos e blocos de concreto estão dispersos, indicando que o tornado teve uma força significativa. O índice de dano (DI) apropriado seria "FR12", pois trata-se de uma estrutura de alvenaria. O cenário indica um DoD 8, que corresponde a "colapso das paredes de alvenaria externa".

Ao analisar a Figura 0.23, identifica-se um veículo severamente danificado em meio aos escombros de uma estrutura destruída. O telhado da estrutura entrou em colapso, caindo sobre o veículo e causando danos extensivos. Há uma quantidade significativa de detritos ao redor. O DI "FR12" com DoD 8 similares ao apresentado na Figura 0.23a.

Figura 0.23 - Danos causados por tornado em área residencial de Marechal Cândido Rondon em 15 de novembro de 2015.



Fonte: Adaptado, Memoria Rondonense. Arquivo de fotos. Disponível em: <<https://www.memoriarondonense.com.br/eventos-single/tornado-em-19-de-novembro-de-2015/41/>>. Acesso em 05 out. 2024.

As imagens da Figura 0.24 ilustram diferentes tipos de danos causados pelo tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon, em diversas estruturas e locais, demonstrando a intensidade e o impacto da tempestade.

Na Figura 0.24a, observa-se uma residência de alvenaria com o telhado arrancado, tendo sobrado poucas telhas de concreto. Na mesma imagem a presença de uma estrutura metálica de telhado, qual provavelmente foi arrancada de outro imóvel. Este cenário pode ser classificado como DI 2 - Residências de uma ou duas famílias com DoD 4, que indica Elevação da cobertura e perda significativa de cobertura materiais (>20%).

A Figura 0.24.b mostra uma área comercial onde várias partes de telhados metálicos foram arrancadas e espalhadas pelas ruas, danificando veículos estacionados. A estrutura dos edifícios não parece comprometida, mas os danos nos telhados são evidentes. Este tipo de dano pode ser classificado como DI 7 - apartamento de alvenaria com DoD 2, que corresponde à remoção de uma parte significativa do telhado metálico.

Figura 0.24 - Danos causados por tornado em 15 de novembro de 2015, em estruturas residenciais e comerciais em Marechal Cândido Rondon.



Fonte: Adaptado, Memória Rondonense. Arquivo de fotos. Disponível em: <<https://www.memoriarondonense.com.br/eventos-single/tornado-em-19-de-novembro-de-2015/41/>>. Acesso em 05 out. 2024.

Na Figura 0.24.c, uma residência exhibe danos significativos, com o telhado gravemente danificado e um pinheiro, ao fundo caído sobre a estrutura de um barracão pré-moldado que teve parte das telhas arrancadas. Pela imagem não é possível identificar outros danos na estrutura da residência de madeira. Esta situação pode ser classificada como DI 2 - Residências de uma ou duas famílias com DoD 7, que descreve danos substanciais ao telhado e parte das paredes externas.

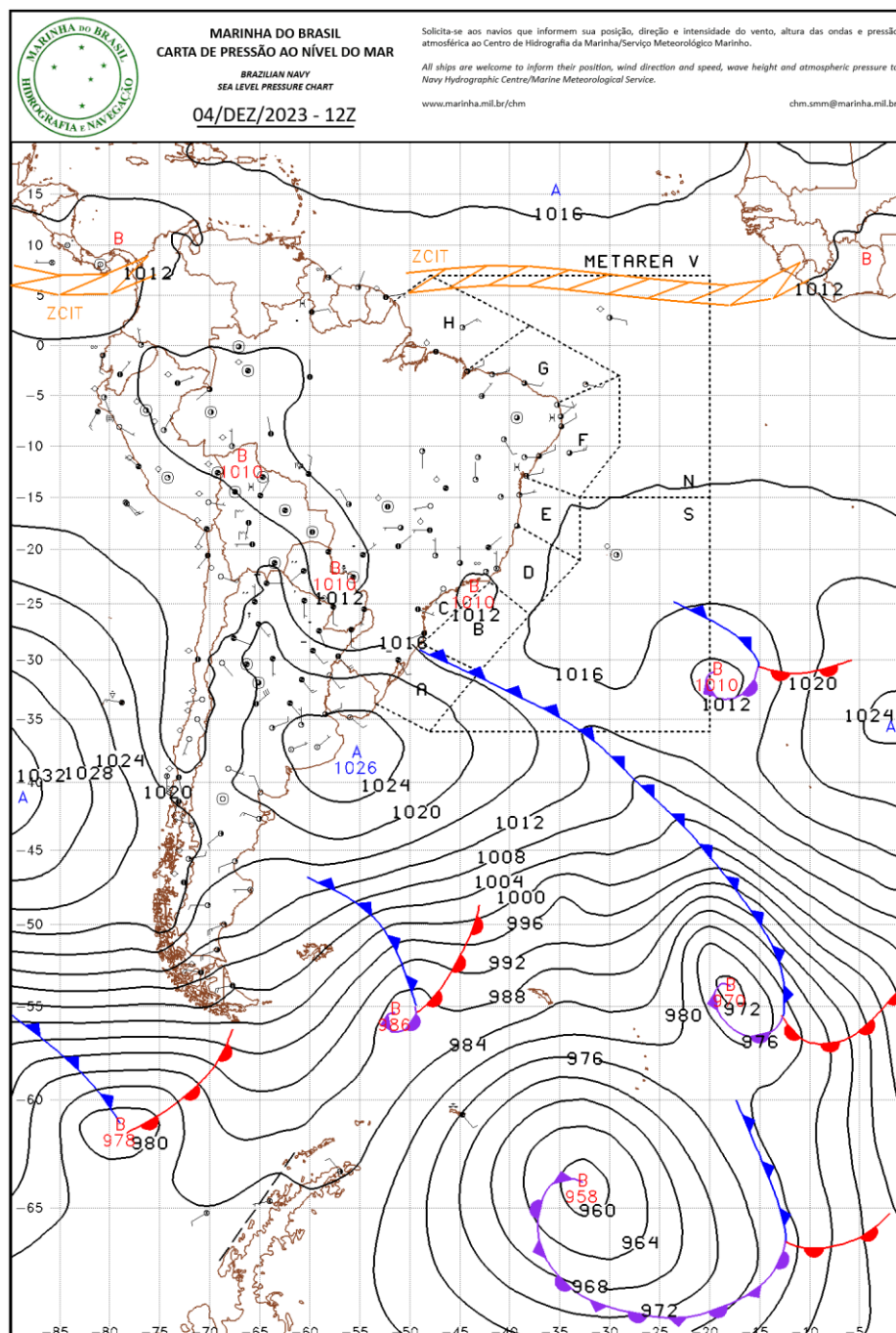
Analisando a 4.24d, ela apresenta uma visão aérea da Figura 0.24c, onde vários imóveis tiveram os telhados completamente destruídos, expondo o interior das estruturas. Com destaque para o quadrado vermelho que identifica a casa verde destacada anteriormente. Os danos são extensos, sendo possível identificar o rastro do tornado (destacado em amarelo). Este cenário pode ser classificado como DI 21 - Grandes edifícios industriais ou comerciais com DoD 8, que indica destruição total do telhado e colapso parcial ou total das paredes externas.

Por fim, após analisar danos ocasionados pelo tornado e na análise de documentos e reportagens, o evento apresentou magnitude EF 3. Com 20 pessoas feridas, 1.500 residências danificadas, e um prejuízo de mais de 130 milhões de reais (Atlas Digital de Desastres, 2024).

#### 3.4.4 Tornado em Cascavel – PR em 04 de dezembro de 2023

A carta sinótica (Figura 0.25) de 04/12/2023 às 12Z (9:00h local) destaca uma frente fria atravessando o sul do Brasil, associada a um centro de baixa pressão de 992 hPa, trazendo instabilidades e chuvas. Na retaguarda, uma alta pressão de 1024 hPa no interior da Argentina favorece a entrada de ar frio e seco. Observa-se também um ciclone extratropical no Atlântico com pressão mínima de 958 hPa, intensificando os sistemas costeiros.

Figura 0.25 - Carta Sinótica do dia 04 de dezembro de 2023



Fonte: Marinha do Brasil (2024)

De acordo com o site G1 o município de Cascavel – PR, registrou um tornado na data de 04 de dezembro de 2023. De acordo com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), o fenômeno foi categorizado preliminarmente como do tipo EF2, com ventos de até 250 km/h.

Observando as imagens dos danos provocados pelo evento e fundamentando-se nas observações feitas por Karstens et al. (2013), é possível identificar, na Figura

0.26, uma visão clara dos estragos causados pelo tornado em uma área urbana com várias árvores, incluindo eucaliptos. Em uma análise detalhada, com base nos DoDs e DIs da EF, observam-se eucaliptos de grande porte caídos, com galhos espalhados em sentidos opostos (indicados pelas setas vermelhas). A variação na direção da queda das árvores é um forte indicativo da natureza destrutiva e caótica dos ventos em um tornado, que pode gerar correntes convergentes e divergentes em diferentes partes da área afetada, conforme evidenciado nos estudos de David-Jones et al. (1978, p. 17). O fato de as árvores terem sido quebradas e arremessadas sugere a ação de ventos intensos. No retângulo amarelo, é possível observar (em um zoom, indicado pela seta preta) a presença de telhas de alumínio retorcidas, que foram lançadas como 'mísseis', descascando os troncos dos eucaliptos, uma ação típica de um evento tornádico.

Figura 0.26 - Danos em árvores causadas pelo tornado de 04/12/2023 em Cascavel



Fonte: Adaptado, Gazeta de Toledo. Disponível em: <<https://gazetadetoledo.com.br/venda-atinge-cidade-de-cascavel/>>. Acesso em mar. 2024.

A imagem analisada destaca a presença de árvores quebradas na base, como a indicada pelo círculo amarelo, com uma estimativa de vento de até 205 km/h de acordo com o DI 28 e o DoD 4, o que corresponde a um tornado de alta intensidade EF2.

Na figura 4.29 pode-se verificar uma faixa de árvores destruídas pelo tornado em março de 2024 em Cascavel, árvores foram quebradas e arrancadas à medida

que o vórtice do tornado passava. As linhas em vermelho indicam o rastro do tornado. De acordo com o indicador de dano da EF esta área pode ser classificada com um DI 28 com um DoD de 4.

Figura 0.27 – Rastro em vegetação provocada pelo tornado de 04/12/2023 em Cascavel



Fonte: Adaptado, Gazeta de Toledo. Disponível em: <<https://gazetadetoledo.com.br/vendaval-atinge-cidade-de-cascavel/>>. Acesso em mar. 2024

Outra evidência da passagem de tornado em Cascavel – Pr, é a presença do rastro visto na Figura 0.27 acima, destacado pelas linhas vermelhas.

Na Figura 0.28, ficou evidente a passagem do tornado, ao observar os danos no silo de armazenamento de grão (retângulo amarelo na Figura 0.28) que devido a intensidade do fenômeno entrou em colapso. Na classificação desta área, conforme o DoD-8 e DI-21, o colapso total de estrutura metálica, no caso silos ou armazém a velocidade do vento precisa atingir uma velocidade esperada de 249,4 km/h, ventos com esta intensidade são encontrados na categoria EF-3 de tornados.

Figura 0.28 - Rastro de destruição do tornado de 04/12/2023 em Cascavel



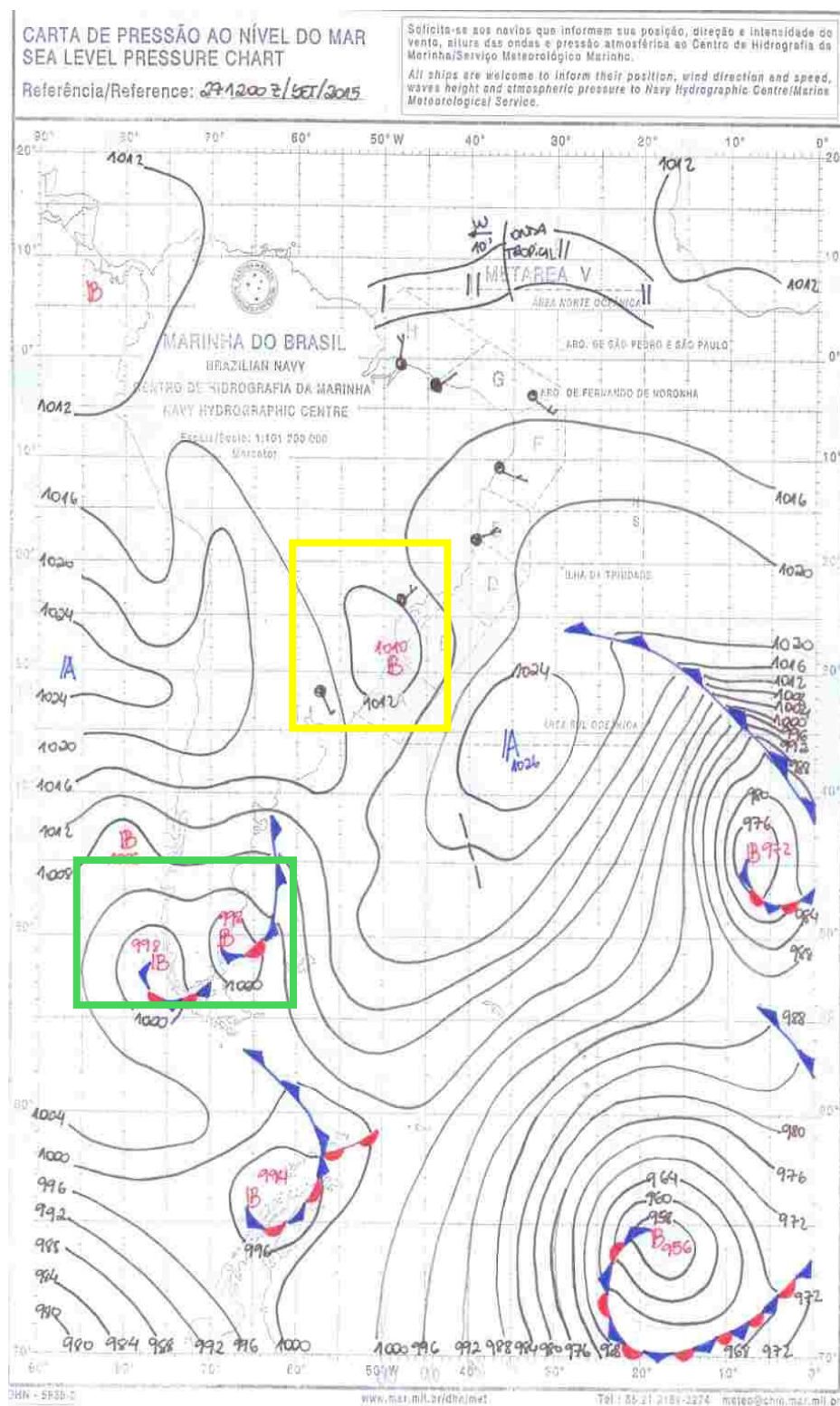
Fonte: Tornado Devasta Cascavel-PR: Imagens Incríveis de Drone. CENÁRIO DE GUERRA. Produzido por Melhor de Cascavel. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eb102HE9dkM>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

Considerando as imagens analisadas e a severidade dos danos, pode-se concluir que o evento ocorrido em 4 de dezembro de 2023, trata-se de um tornado de categoria EF 3.

#### 3.4.5 Tornado em Ponta Grossa – PR em 27 de setembro de 2015

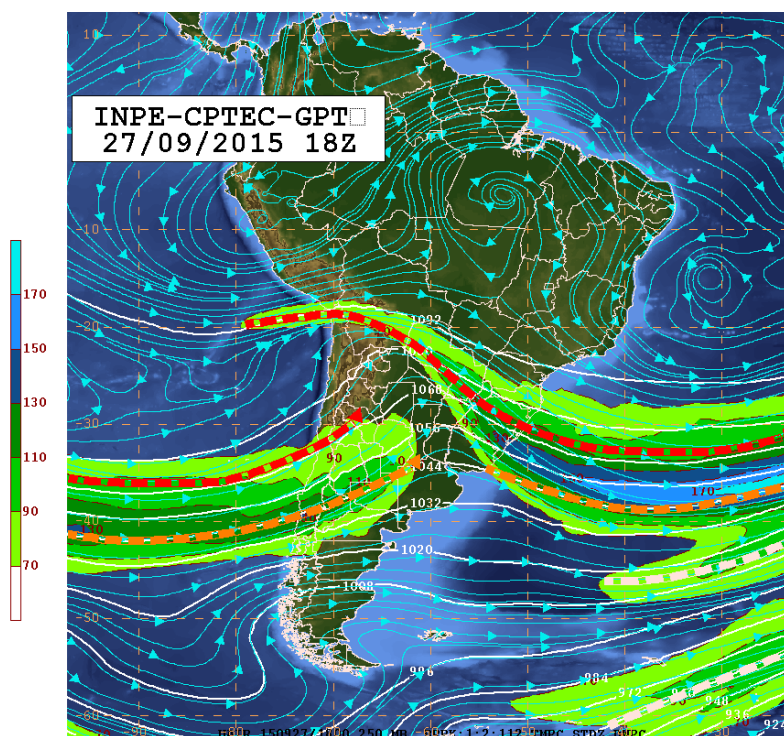
Dia 27 de setembro de 2015 o município de Ponta Grossa foi atingido por um evento severo caracterizado por Mej *et al.* (2024) como um tornado. Ao analisar a carta sinótica de 27/09/2015, nota-se um sistema frontal associado a um centro de baixa pressão (998 hPa) na região sul da América do Sul destacado pelo retângulo verde na Figura 0.29. Este sistema é acompanhado por um gradiente de pressão acentuado, indicando ventos intensos. A presença de linhas de instabilidade associadas ao avanço da frente fria (retângulo amarelo na Figura 0.29) sugere condições propícias para convecção severa.

Figura 0.29- Carta Sinótica do dia 27 de setembro de 2015.



intensidade entre os níveis baixos e altos da atmosfera, com a presença de umidade transportada pela Amazônia, indicam a formação de tempestades severas na região Sul do Brasil.

Figura 0.30 Movimentação da atmosfera com jatos de baixos níveis e jatos polares em 27/09/2015.



Fonte: INPE – CPTEC (2015)

Conforme relatado pelo portal de notícias G1 PR (2015)

[...] o Instituto Tecnológico Simepar, em Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais, os ventos atingiram a velocidade de 71 km/h” causando estragos nos bairros Cará-Cará (Jardim Amália), Colônia Dona Luiza (Vila Maria Otília) e Oficinas (Vila Curitiba), ao todo 250 residências foram danificadas e 30 completamente destruídas.

Ao analisar as imagens do evento disponibilizadas em sites de buscas, com enfoque na análise dos danos e classificação do evento segundo um Di e DoD, pode-se observar danos decorrente do tornado.

A análise da Figura 0.31 permite identificar os Indicadores de Dano (DI), os Graus de Dano (DoD) e a classificação na Escala Fujita Melhorada (EF), baseados nas características observadas em cada cenário. Observa-se danos significativos à vegetação, observa-se o tronco de duas araucárias (retângulo verde), com galhos

quebrados e alguns espedaçados, mais próximo a copa do pinheiro. De acordo com a Escala Fujita Melhorada, o indicador de dano mais apropriado seria DI 27, referente a árvores de grande porte. O grau de dano estimado é DoD 3 ou 4, pois há evidências de quebra de galhos maiores e árvores parcialmente arrancadas. Esses danos indicam uma intensidade correspondente a EF-1, caracterizada por ventos moderados a fortes com velocidades variando de 138 a 177 Km/h.

Na Figura 0.31 b, é possível notar uma casa com o telhado arrancado, mas com a estrutura principal parcialmente destruída. Esse tipo de dano está relacionado ao DI 2, que abrange a residências unifamiliares. O grau de dano pode ser classificado como DoD 2, uma vez que o telhado foi removido parcialmente, mas não há comprometimento significativo da estrutura interna, as janelas de vidro e porta permanecem sem avarias. Essa condição indica ventos na faixa de intensidade da EF-1.

Figura 0.31 Danos causados por tornado em 27/09/2015 no município de Ponta Grossa.



Fonte: Adaptado, Temporal com ventos acima de 75 km/h causa estragos no Paraná. Portal de Notícias G1 Paraná. Ponta Grossa, 28, set. 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2015/09/temporal-com-ventos-acima-de-75-kmh-causa-estragos-no-parana.html>>. Acesso em: 20 mai. 2024.

Na Figura 0.31c, as casas apresentam telhados completamente arrancado (destaque para casa verde no retângulo vermelho) ou parcialmente removidos, além de danos visíveis às janelas e portas foram danificadas. Assim como na imagem anterior, o indicador de dano aplicável é DI 2, referente a residências unifamiliares. O

grau de dano é estimado em DoD 6, dado o impacto severo ao telhado e o início de danos estruturais mais amplos. Esses danos sugerem ventos de intensidade correspondente ao limite da EF-1, cerca de 170 km/h, indicando maior força destrutiva.

Na Figura 0.31d, observa-se a destruição total de estruturas de madeira, com entulhos espalhados pelo local. Esse cenário é representado pelo DI 2, referente a residências unifamiliares. O grau de dano pode ser classificado como DoD 7, uma vez que as estruturas foram completamente destruídas e seus materiais estão dispersos.

Entretanto a residência apresentava uma baixa qualidade construtiva, o que pode contribuir para que o grau de dano fique em DoD 4, considerando as casas ao fundo na imagem, que tiveram avarias nos telhados.

Em outro ponto, o tornado atingiu um barracão (Figura 0.32a) causando a destruição do telhado o indicador de dano aplicável é o DI 23, referentes a armazéns, o grau de dano DoD 4 devido a destruição da cobertura (ventos de 165 km/h). Em

Figura 0.32b mostra que o posto de combustível teve parte das telhas arrancado e lançadas a dezenas de metros de distância, outro ponto de destaque é a forração do teto do posto que ficou danificado. De acordo com o DI 22 referente a postos de serviços, o grau de dano, DoD identificado foi o 3, onde parte das telhas metálicas são arrancadas, indicando ventos com velocidade de 148 Km/h.

Figura 0.32 Danos causados por tornado em imóveis comerciais no município de Ponta Grossa em 27/09/2015.



Fonte: Adaptado, Destruição Vendaval. Produção TVE UEPG. Ponta Grossa, 29, set. 2015. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=eLgziqhlp4> >. Acesso em 29 fev. 2024.

As Figura 0.33b e c mostram o local em que algumas telhas do posto de combustível (retângulo amarelo) foram encontradas (retângulo verde) cerca de 200 metros. Nota-se ainda na figura que a telha ficou retorcida e rasgada devido a velocidade do vento, característica encontrada em objetos lançados por tornados, como citado por Marshall (2002).

Figura 0.33 Localização do deslocamento de objeto lançado pelo tornado em Ponta Grossa em 27/09/2015



Fonte: “a” Google Maps e “b e c” fotos de Hass, R. (2015).

Na Figura 0.34a, há outras evidências da passage do tornado em destaque, nos retângulos vermelhos, marcas deixadas por folhas de pinheiro. Outro ponto de destaque são os mísseis lançados pelo tornado (indicados pelas setas verdes) na imagem os vidros quebrados das janelas e do carro, a parede de alvenaria com três perfurações e a presença de um ramo de galho do pinheiro preso a parede de alvenaria. A presença de missil pode ser evidenciada em outra imagem (ver Figura 0.34b) em que um pedaço de ripa atravessa as telhas da residencia e fica cravado no telhado.

Figura 0.34 Evidências de misséis do tornado em Ponta Grossa em 27/09/2015



Fonte: “a” Adaptado, Fonte: Adaptado, Vendaval danifica 200 casas e afeta 800 pessoas em Ponta Grossa. Agência Estadual de Notícias. Paraná, 28, set. 2015. Disponível em: <<https://arquivo2011.aen.pr.gov.br/Noticia/Vendaval-danifica-200-casas-e-afeta-800-pessoas-em-Ponta-Grossa>>. Acesso em: 18 mar. 2024. “b” adaptado, Destruição Vendaval. Produção TVE UEPG. Ponta Grossa, 29, set. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eLgziqhplp4>>. Acesso em 29 fev. 2024.

Na Figura 0.34a a queda do poste de energia, deu-se pelo impacto da queda de outras árvores na rede elétrica, observadas na

Figura 0.35. Esse cenário é representado pelo DI 28 referente a árvores de madeira mole, enquanto o DoD 4 indica que as árvores foram quebradas pelo tronco, como destacado pelo retângulo amarelo. Há evidência de árvore arrancada pela raiz,

como sinaliza o círculo azul. De acordo com o grau de dano para quebrar árvores é necessário um vento com velocidade de aproximadamente 170 km/h, o que coloca este local de dano, no limite da categoria EF 1 e transição para categoria EF 2, entretanto, para classificar seriam necessárias mais evidências de destruição causadas por um EF 2.

Figura 0.35 - Dano causado em árvores pelo tornado em Ponta Grossa no Jardim Amália em 27/09/2015.



Fonte: Adaptado, Vendaval danifica 200 casas e afeta 800 pessoas em Ponta Grossa. Agência Estadual de Notícias. Paraná, 28, set. 2015. Disponível em: <<https://arquivo2011.aen.pr.gov.br/Noticia/Vendaval-danifica-200-casas-e-afeta-800-pessoas-em-Ponta-Grossa>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

Em seus estudos Marshall et al (2007) analisou os estragos causados por um dos piores tornados dos Estados Unidos, de acordo com o autor as evidências da passagem de um tornado podem ser observadas em deslocamento de estruturas, como a rotação ou deslocamento de uma residência. A Figura 4.36 mostra o deslocamento de um telhado em residência unifamiliar (DI 2, DoD 4, todas as telhas foram arrancadas). As setas azuis indicam o distanciamento do beiral em relação a

parede e a seta amarela indica o sentido da rotação do telhado. Observando o terreno, na figura 4.36b há presença de telhas e tijolos quebrados indicando de acordo com David-Jones et al. (1978) o ponto de convergência do vórtice do tornado.

Figura 0.36 - Danos e rotação de telhado em residência localizada no Jardim Amália, Ponta Grossa -PR, em 27/09/2015.



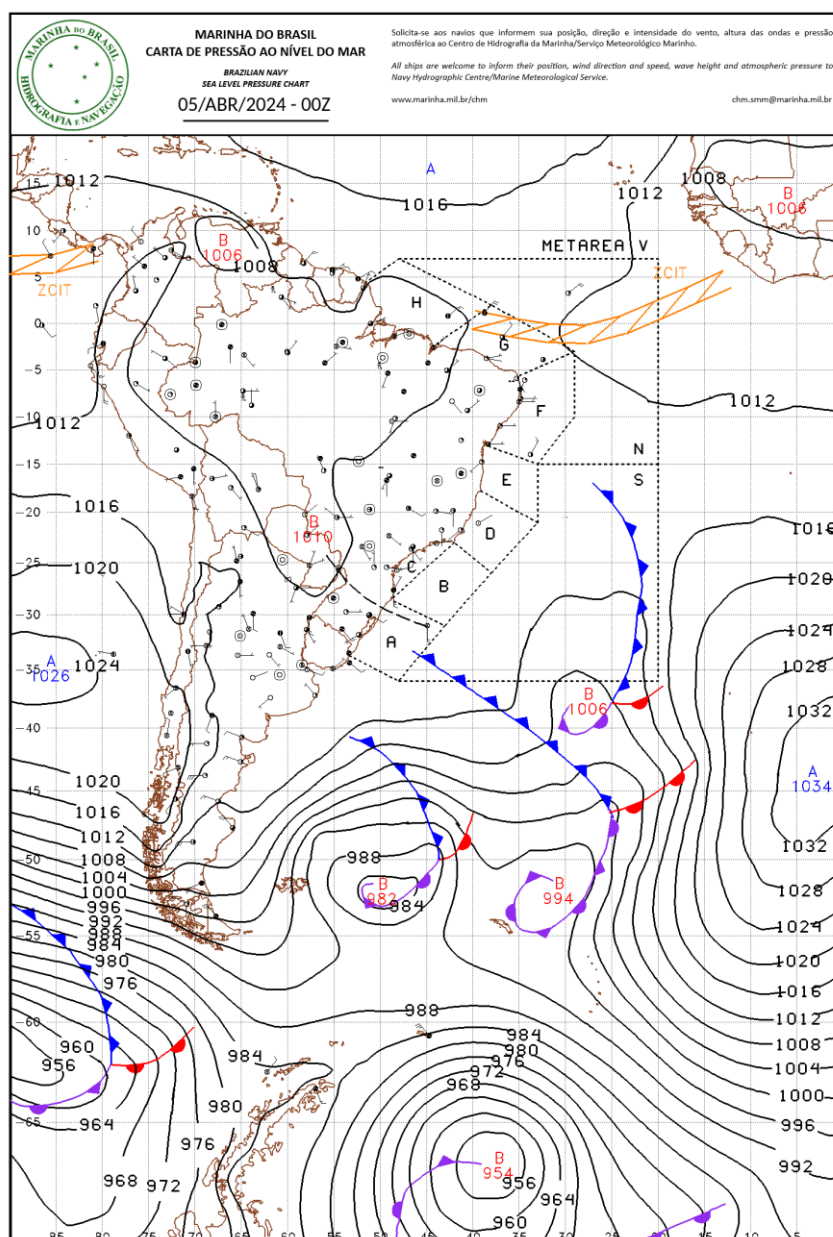
Fonte: Adaptado, Temporal com ventos acima de 75 km/h causa estragos no Paraná. Portal de Notícias G1 Paraná. Ponta Grossa, 28, set. 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2015/09/temporal-com-ventos-acima-de-75-kmh-causa-estragos-no-parana.html>>. Acesso em: 20 mai. 2024.

De acordo com a análise das imagens sobre o evento ocorrido em 27 de setembro de 2015, embora não tenha confirmação de órgão oficiais, pode-se confirmar que se trata de um tornado categoria EF 2, com significativo rastro de destruição.

### 3.4.6 Tornado em Ponta Grossa – PR em 05 de abril de 2024.

Na tarde do dia 5 de abril de 2024, o município de Ponta Grossa foi atingido por um evento tornádico causando estragos no bairro de Uvaranas. Na carta sinótica (ver Figura 0.37) nota-se a presença de sistemas atuante que favoreceram o desenvolvimento da atividade tornádica.

Figura 0.37 - Carta Sinótica



Fonte: Marinha do Brasil (2024).

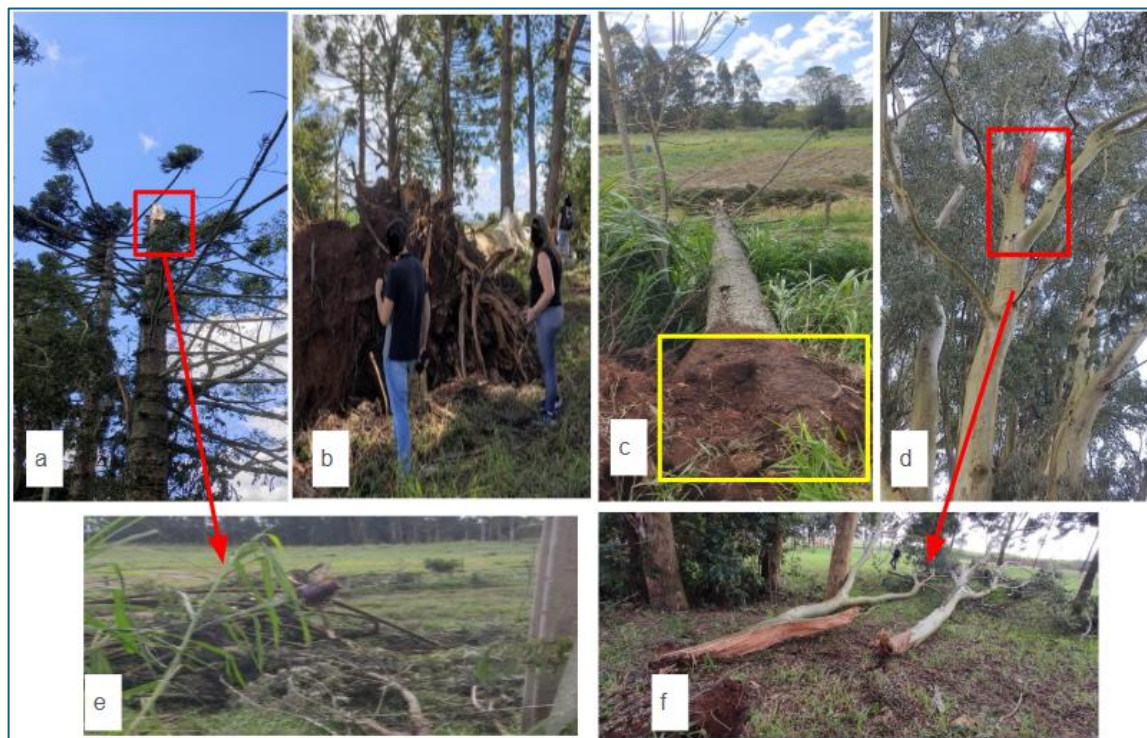
A análise inicial dos danos provocados pelo tornado começa em uma área da fazenda escola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Na Figura 0.38 é possível identificar diferentes tipos de danos em árvores, associados à intensidade dos ventos de um evento severo.

Na Figura 0.38a, observa-se uma araucária com a copa completamente arrancada, enquanto o tronco principal permanece em pé. Esse dano é classificado como DI 27, referente a árvores de grande porte. O Grau de Dano estimado é DoD 4, pois o impacto se concentrou na parte superior da árvore, sem comprometer sua raiz. Esse cenário corresponde a uma intensidade de ventos na EF 2, caracterizada por ventos fortes o suficiente para danificar copas, mas não para derrubar a árvore completamente.

A Figura 0.38b apresenta árvores de grande porte que foram completamente arrancadas pela raiz, evidenciando a força dos ventos. O Indicador de Dano aplicável é novamente o DI 27, e o Grau de Dano é DoD 5, dado que houve desenraizamento total, com deslocamento significativo do solo ao redor. Esse dano é característico de uma classificação EF-2, uma vez que são necessários ventos mais intensos para arrancar árvores dessa magnitude.

Na Figura 0.38c, observa-se uma situação semelhante à anterior, com uma árvore (araucária) tombada e raízes expostas. O DI 27 também é aplicável, e o Grau de Dano estimado é DoD 5, devido ao desenraizamento completo. Assim como na imagem B, o dano é classificado como EF-2 indicando ventos com intensidade suficiente para causar impactos severos na vegetação.

Figura 0.38 - Danos causados em vegetação pelo tornado na Fazenda Escola da UEPG em 05/04/2024.



Fonte: o autor (2024)

A Figura 0.38d exibe um eucalipto com o tronco quebrado em altura média, mostrando uma fragmentação significativa da madeira. Esse dano é representado pelo DI 27, com um Grau de Dano DoD 4, uma vez que houve quebra parcial do tronco sem comprometimento das raízes. A intensidade dos ventos nesse caso é classificada como EF-1, já que o impacto foi limitado à fragmentação da árvore.

Na Figura 0.38e, a copa do pinheiro identificado na Figura 0.38a, apresentando galhos danificados e impacto visível no solo. O Indicador de Dano permanece o DI 27, e o Grau de Dano é classificado como DoD 4. A intensidade do vento, por sua vez, se enquadra em EF-2, devido a força requerida para deslocar parte da árvore.

Na Figura 0.38f, observa-se dois troncos de eucalipto partidos ao meio, lançados pela velocidade do vento. Em loco pode-se observar que são partes da árvore mencionada na Figura 0.38d. Esse dano é representado pelo Grau de Dano DoD 4, devido à quebra significativa, mas sem desenraizamento. Esse tipo de dano sugere uma intensidade de ventos na faixa EF-2, suficientes para causar rupturas no tronco, mas sem derrubar a árvore completamente.

De forma geral, Figura 0.38 mostra danos que variam de EF-1 a EF-2, dependendo da extensão e da severidade dos impactos observados. As classificações

destacam como os ventos podem afetar a vegetação de forma diferenciada, com base na intensidade local e nas características das árvores atingidas. É importante destacar que outros pinheiros tiveram suas copas arrancadas e arremessadas, outros tombaram, assim como os eucaliptos que tiveram seus galhos quebrados pela ação do vento.

Outra característica que evidencia a passagem do tornado, é a presença dos “misseis” encontrados no lago da fazenda escola (ver Figura 0.39) e no campo de cultivo da mesma localidade (ver Figura 0.40 b e c).

Os misseis encontrados no lago são provenientes da cobertura de uma residência que teve poucas telhas arrancadas pela ação do vento, mas que foram fragmentadas pela velocidade, os danos causados neste local foram classificados em DI 2, caracterizado por residência unifamiliar, o grau de dano ficou em 2, onde menos de 20% das telhas foram arrancadas. Esse tipo de dano sugere ventos que corresponde a categoria de EF1.

Figura 0.39 - Evidências de misseis lançados pelo tornado em 05/04/2024.



Fonte: o autor (2024)

Em outro ponto a fazenda escola, ilustrado pela Figura 0.40a o cenário evidencia um galpão com o telhado completamente arrancado, restando apenas parte da estrutura metálica. Esse dano é classificado como DI 17 (prédio baixo de até dois pavimentos). O Grau de Dano é DoD 5, indicando a remoção completa do telhado,

com deslocamento das terças pré-moldadas (indicadas pelas setas vermelhas). Esses danos correspondem a ventos classificados como EF-2, dada a força necessária para a destruição observada.

Na Figura 0.40b, observa-se impactos em uma parede, causados por detritos projetados a alta velocidade (círculo vermelho). Esses danos correspondem ao DI 2 (paredes externas de construções), com um DoD 3, visto que os danos são superficiais e limitados à fachada. A intensidade dos ventos estimada é de EF-2, suficiente para lançar detritos com força moderada.

Figura 0.40 Destruição do telhado em empresa de pesquisa agrícola e mísseis lançados pelo tornado em 05/04/2024, em Ponta Grossa.



Fonte: o autor (2024)

Analisando a mesma área, nota-se a presença de um fragmento de telha projetado no solo. Embora não possua um Indicador de Dano direto na EF, o impacto sugere ventos intensos capazes de carregar objetos com força suficiente para causar danos desse tipo. A intensidade estimada dos ventos EF 1, porém podem variar dependendo da velocidade e do peso do objeto. Quando analisados em conjunto, os

danos indicam a ocorrência de um fenômeno severo com ventos de intensidade EF 1, com efeitos amplos sobre estruturas e projeção de detritos perigosos.

Na sequência da análise dos danos provocados pelo tornado na fazenda escola da UEPG a Figura 0.41 mostra danos na sala de ordenha e em outra edificação, utilizada como depósito.

A Figura 0.41a os danos causados referem-se à remoção completa da cobertura, ficando apenas a laje, sem comprometimento estrutural mais profundo. Esse tipo de impacto é categorizado como Indicador de Dano (DI) 1, que engloba danos em pequenos seleiros agrícolas. O DoD estimado é 5, com perda total da cobertura, mas mantendo a estabilidade geral da estrutura. Com base na EF, os ventos responsáveis por esses danos são classificados como EF 1, com velocidades superiores a 149 km/h de acordo com o DoD 5. Esse nível de dano ilustra o impacto de ventos moderadamente fortes em edificações sem lajes onde telhados são particularmente vulneráveis.

Na segunda Figura 0.41b, os danos evidenciados, são semelhantes a Figura 0.41a uma destruição parcial da cobertura permanecendo o madeiramento e na mesma cena ocorreu a perda substancial de cobertura em um galpão. Esses danos estão associados ao DI 1, que contemplam danos em estruturas agrícolas de pequeno porte, com um DoD 5, devido a perda estrutural significativa do telhado. A intensidade dos ventos é definida como EF 1, com velocidades entre 149 km/h. Esse cenário demonstra a capacidade destrutiva de ventos fortes, que são suficientes para comprometer estruturas de madeira e deslocar elementos pesados.

Na terceira imagem Figura 0.41c, observa-se a destruição parcial da cobertura de barracão de pequeno porte, um tipo de dano enquadrado no DI 1, referente também a estruturas agrícolas de madeira ou coberturas simples. O DoD 4 foi mencionado, uma vez que ocorreu o colapso parcial da cobertura, mas sem danos estruturais profundos. Os ventos responsáveis por esses danos são estimados como EF 1, evidenciando que mesmo ventos moderados podem causar prejuízos consideráveis em edificações menos robustas.

Figura 0.41 Danos causados pelo tornado de 05/04/2024 na fazenda escola da UEPG.



Fonte: o autor (2024).

Considerando a análise das imagens sobre tornado a análise indica a classificam do evento em EF1.

#### 3.4.7 Intensidade e subsídios a classificação de tornados no Paraná com base nos danos

A análise dos danos causados por tornados com base na EF é uma metodologia robusta que proporciona uma avaliação precisa da intensidade do evento e de seus impactos. A abordagem fundamenta-se na identificação de DIs, que são estruturas ou objetos específicos afetados pelo tornado, e na avaliação dos DoDs, que classificam a severidade do impacto em cada indicador.

O uso combinado de DIs e DoDs permite associar os danos observados às velocidades estimadas do vento, dentro de intervalos definidos, e atribuir uma classificação na EF. Essa classificação não apenas caracteriza a intensidade do tornado, mas também orienta ações de mitigação e planejamento. No entanto, é essencial que a análise leve em conta a variabilidade dos DIs ao longo do caminho de dano, priorizando aqueles que indicam os maiores ventos, sem desconsiderar a evidência do contexto imediato ao redor.

Nos estudos realizados no estado do Paraná nas cidades de Nova Laranjeiras, Francisco Beltrão, Marechal Cândido Rondon, Cascavel e Ponta Grossa a aplicação da EF demonstrou sua eficácia ao considerar os impactos em áreas urbanas, florestais e agrícolas. O Quadro 7 demonstra os danos por tornados classificados segundo a EF, bem como a velocidade do vento para cada categoria.

Quadro 7 - EF aplicada na área de estudo.

(continua)

| Categoria EF | Danos em Edificações                                                                                                                                             | Velocidade do Vento (km/h) |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| EF 0         |                                                                               | 104 a 136 km/h             |
|              | Normalmente limitados a danos superficiais, como danos em telhados, galhos de árvores quebrados e objetos leves deslocados (Marechal Candido Rondon – PR, 2015). |                            |
| EF 1         |                                                                              | 138 a 177 km/h             |
|              | Podem incluir a remoção de telhados de casas, quebra de janelas, árvores derrubadas e danos estruturais leves a edifícios (Ponta Grossa – PR, 2015).             |                            |

(continuação)

| Categoria EF | Danos em Edificações                                                                                                                                                                                                                                   | Velocidade do Vento (km/h) |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| EF 2         |                                                                                                                                                                      | 178 a 217 km/h             |
|              | <p>Danos mais extensos que podem resultar na destruição parcial de edifícios, incluindo paredes colapsadas, telhados arrancados, casas deslocadas em suas fundações, grandes árvores quebradas ou arrancadas (Marechal Candido Rondon – PR, 2015).</p> |                            |
| EF 3         |                                                                                                                                                                     | 218 a 265 km/h             |
|              | <p>Danos generalizados que podem resultar na destruição parcial de edifícios, incluindo a perda de telhados e paredes exteriores; casas com fundações fracas podem ser destruídas, as árvores começam a perder sua casca (Cascavel – PR, 2023).</p>    |                            |
| EF 4         |                                                                                                                                                                    | 267 e 321 km/h             |

(continuação)

| Categoria EF | Danos em Edificações                                                                                                                                                                                                                                                           | Velocidade do Vento (km/h) |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| EF 4         | Podem resultar na destruição completa de edifícios, incluindo casas e edifícios comerciais. Paredes e estruturas são totalmente derrubadas, representando uma ameaça grave à vida e à segurança. Carros são lançados a distâncias significativas (Nova Laranjeiras - PR 1997). | 267 e 321 km/h             |
| EF 5         | No estado do Paraná não houve registro de tornado com essa categoria                                                                                                                                                                                                           | >321 km/h                  |

Organização: o autor

Esse compilado de informações presentes na tabela poderá contribuir para uma melhor identificação da categoria do evento com base nos danos causados. Adicionalmente, a correlação entre os danos observados e as velocidades estimadas do vento oferecem dados essenciais para o aprimoramento estrutural dos imóveis em regiões propensas a tornados.

O estudo destaca a importância de adaptar a Escala Fujita Melhorada às particularidades dos métodos construtivos brasileiros. Ao analisar e classificar os danos causados por tornados no território nacional, os resultados obtidos podem servir como base para futuras pesquisas e análises de eventos semelhantes.

## CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo principal analisar e caracterizar os danos causados por tornados em cinco municípios do estado do Paraná, utilizando a Escala Fujita Melhorada (EF). Os objetivos específicos incluíram a identificação e documentação dos danos provocados pelos tornados analisados, por meio da coleta de fotografias, registros visuais e dados documentais dos eventos ocorridos em Nova Laranjeiras (1997), Marechal Cândido Rondon (2015), Francisco Beltrão (2015), Cascavel (2023) e Ponta Grossa (2015 e 2024).

A análise dos danos causados pelos tornados permitiu identificar diferentes impactos em áreas urbanas e rurais, possibilitando uma avaliação detalhada com base na Escala Fujita Melhorada (EF). As imagens analisadas reforçam a gravidade dos danos provocados por tornados. Cada categoria da EF representa um aumento exponencial na destruição, afetando desde pequenas residências até grandes estruturas comerciais como as observadas em Nova Laranjeiras, Marechal Cândido Rondon, Cascavel e Francisco Beltrão.

A compreensão desses danos é essencial para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e para o planejamento de construções mais resilientes a eventos extremos. Além disso, o impacto de um tornado se reflete diretamente na interrupção do fornecimento de energia, no número de feridos e desabrigados e nos prejuízos econômicos à infraestrutura.

Os resultados obtidos fornecem subsídios para estudos sobre os DoDs em diferentes tipos de edificações, contribuindo para a elaboração de normativas técnicas que aumentem a resistência estrutural frente a eventos severos. Na gestão de riscos, a padronização da classificação dos tornados facilita a comunicação entre pesquisadores, gestores públicos e a sociedade, permitindo a formulação de políticas públicas mais eficazes para mitigação e resposta a desastres.

Campanhas educativas, baseadas em informações técnicas confiáveis, são fundamentais para orientar comunidades sobre medidas preventivas e ações a serem adotadas antes, durante e após a ocorrência de tornados. Além disso, é essencial integrar análises detalhadas sobre esses eventos à formulação de políticas públicas e estratégias de engenharia, estabelecendo metodologias mais eficazes para a avaliação de danos.

Dado que os métodos e materiais construtivos utilizados nos Estados Unidos diferem dos empregados no Brasil, torna-se necessário desenvolver DIs e DoDs adaptados às especificidades do território brasileiro. A Escala Fujita Melhorada pode ser utilizada como referência para a classificação de tornados no país, mas exige ajustes para contemplar os padrões construtivos locais. Estudos futuros devem considerar essas particularidades, uma vez que tornados severos ocorrem no Brasil e podem ser tão destrutivos quanto os registrados nos Estados Unidos.

## REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 6123. **Forças devido ao vento em edificações**. Disponível em: <<https://normadedesempenho.com.br/wp-content/uploads/2024/01/NBR-6123-2023.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2024.

AGEE, E.; TAYLOR, L. *Historical Analysis of U.S. Tornado Fatalities (1808–2017): Population, Science, and Technology*. *Weather, Climate, and Society*, v. 11, n. 2, p. 355–368, 14 mar. 2019. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wcas/11/2/wcas-d-18-0078\\_1.xml?tab\\_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wcas/11/2/wcas-d-18-0078_1.xml?tab_body=fulltext-display)>. Acesso em 6 abr. 2024.

AGORA LAGUNA. Nuvem-rolo acompanhada de raios é vista em Laguna durante temporal. **Portal Agora Laguna**. 07 mar. 2022. Disponível em: <<https://agoralaguna.com.br/2022/03/fotos-nuvem-rolo-acompanhada-de-raios-e-vista-em-laguna-durante-temporal/>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

AHRENS, C. Donald. **Meteorology Today : an Introduction to Weather, Climate, and the Environment**. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole, 2007.

ALMEIDA, L. G. HORNES, K.L. ESTIVALLET, J. OCORRÊNCIAS DE TORNADOS NO BRASIL NO PERÍODO DE 1975 A 2018. **XXXII Encontro Anual de Iniciação Científica. IX Encontro Anual de Iniciação Científica Jr**. Disponível em: <[https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2023/9\\_Lorane\\_Gomes\\_de\\_Almeida-169538975923582.pdf](https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2023/9_Lorane_Gomes_de_Almeida-169538975923582.pdf)>. Acesso em 15 abr. 2024.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. **Glossary of Meteorology**. Disponível em: <<https://glossarytest.ametsoc.net/wiki/Tornado>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ANCHIETA, J. de. **Caderno n 7: Carta de São Vicente 1560, São Paulo, 1997**. P. 10-11. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/13D00145.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2024.

ANDRADE, K. M. **CLIMATOLOGIA E COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS FRONTAIS SOBRE A AMÉRICA DO SUL**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.15.17.12/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2024.

APSLEY, M. L. MULDER, K. J. SCHULTZ, D. M. *Reexamining the United Kingdom's greatest tornado outbreak: Forecasting the limited extent of tornadoes along a cold front*. **Weather and Forecasting**, v. 31, n. 3, p. 853-875, 2016. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/31/3/waf-d-15-0131\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/31/3/waf-d-15-0131_1.xml)>. Acesso em: 02 mar. 2024.

ATKINS, N. T. et al. *An Integrated Damage, Visual, and Radar Analysis of the 2013 Moore, Oklahoma, EF5 Tornado*. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 10, p. 1549–1561, out. 2014. Disponível em: <

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/10/bams-d-14-00033.1.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/10/bams-d-14-00033.1.xml?tab_body=pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2023.

BRASIL, Marinha [Cartas Sinóticas]. Destinatário: thiagomej@gmail.com. Ponta Grossa, 12 nov. 2024.

BERTONI, B. G. L. **Estudos de caso de tornados, uso e ocupação do solo, topografia e análise meteorológica destes eventos atmosféricos no sul e sudeste do Brasil**. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tdc-02052013-160126/en.php>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

BLESSMANN, J. **O Vento na Engenharia Estrutural** / Joaquim Blessmann. – 2. ed. - Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013. 240 p.

BRADFORD, M. *Historical Roots of Modern Tornado Forecasts and Warnings*. **Weather and forecasting**, v. 14, n. 4, p. 484-491, 1999. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/14/4/1520-0434\\_1999\\_014\\_0484\\_hromtf\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/14/4/1520-0434_1999_014_0484_hromtf_2_0_co_2.xml)>. Acesso em 10: abr. 2024.

BROOKS, H. E.; LEE, J. W.; CRAVEN, J. P. *The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data*. **Atmospheric Research**, v. 67-68, p. 73-94, jul. 2003. Disponível em: <[https://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public\\_html/papers/ECSS2002.pdf](https://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public_html/papers/ECSS2002.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BROWN, R. A.; LEMON, L. R.; BURGESS, D. W. **Tornado Detection by Pulsed Doppler Radar**. *Monthly Weather Review*, v. 106, n. 1, p. 29-38, jan. 1978. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/106/1/1520-0493\\_1978\\_106\\_0029\\_tdbpdr\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/106/1/1520-0493_1978_106_0029_tdbpdr_2_0_co_2.xml)>. Acesso em: 12 mai. 2024.

CALDERA, H. J.; WIRASINGHE, S. C.; ZANZOTTO, L. *Severity scale for tornadoes*. **Natural Hazards**, v. 90, n. 3, p. 1051-1086, 7 nov. 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-017-3084-z>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

CANDIDO, D. H. **Tornados e trombas-d'água no Brasil: modelo de risco e proposta de escala de avaliação de danos**. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/901142>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CARVALHO, M. H. DE; FEDOROVA, N. Estudo sobre frentes quentes que ocorrem no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 257-272, jun. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/H6DwpnkZ8YsxYMr7CSY4prK/#>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

CERVENY, R. S. et al. Extreme Weather Records. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 88, n. 6, p. 853-860, 1 jun. 2007. Disponível em: <<https://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/cerveny-et-al-2007.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2024.

CLARK, M. R.; PARKER, D. J. *Synoptic-scale and mesoscale controls for tornadogenesis on cold fronts: A generalised measure of tornado risk and identification of synoptic types*. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 733, p. 4195–4225, out. 2020. Disponível em: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/qj.3898>>. Acesso em 08:mar. 2024.

CYCLONE: Casas derrubadas Bond Virado muros e arvores caídas pre-juizos pormenores. **Diário da Tarde**, Curitiba, 30 dez. 1901. DocReader Web. Disponível em:

<<https://memoria.bn.gov.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=800074&pasta=ano%20194&hf=memoria.bn.br&pagfis=3259>>. Acesso em: 20 set. 2023.

DAVIES-JONES, R. *A review of supercell and tornado dynamics*. **Atmospheric Research**, v. 158-159, p. 274–291, maio 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809514001756>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

DESROCHERS, P. R.; DONALDSON, R. J. *Automatic Tornado Prediction with an Improved Mesocyclone-Detection Algorithm*. **Weather and Forecasting**, v. 7, n. 2, p. 373–388, jun. 1992. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/7/2/1520-0434\\_1992\\_007\\_0373\\_atpwai\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/7/2/1520-0434_1992_007_0373_atpwai_2_0_co_2.xml)>. Acesso em: 10 abr. 2024.

Destrução Vendaval. Produção TVE UEPG. Ponta Grossa, 29, set. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eLgziqhplp4>>. Acesso em 29 fev. 2024.

DOSWELL III, C. A.; WEISS, S. J.; JOHNS, R. H. *Tornado Forecasting: A Review*. **Geophys. Monogr**, v. 79, p. 557-571, 1993. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=54b747c5222452b296484713a055293af077a3a8>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

DOSWELL, C. *A Personal History - The Early Years (1972-1977) of the Tornado Intercept Program (TIP) in Oklahoma*. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/journals/wefo/14/4/1520-0434\\_1999\\_014\\_0558\\_ahossi\\_2\\_0\\_co\\_2.pdf](https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/journals/wefo/14/4/1520-0434_1999_014_0558_ahossi_2_0_co_2.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2024.

DOSWELL, C. A. BROOKS, H. E. *Lessons Learned from the Damage Produced by the Tornadoes of 3 May 1999*. **Weather and forecasting**, v. 17, n. 3, p. 611-618, 2002. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/17/3/1520-0434\\_2002\\_017\\_0611\\_llftdp\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/17/3/1520-0434_2002_017_0611_llftdp_2_0_co_2.xml)>. Acesso em 21 nov. 2023.

DOSWELL, C. **Severe Storms**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://www.flame.org/~cdoswell/publications/Severe\\_Storms\\_EncyHolton.pdf](http://www.flame.org/~cdoswell/publications/Severe_Storms_EncyHolton.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2024.

DOSWELL, C.; BURGESS, D. *Tornadoes and Tornadic Storms: A Review of Conceptual Models*. [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=143fd381253c956182cc31a962d0d2be4438f36a>>. Acesso em: 06 mar. 2024.

DYER, R. C. Rastros de Tornados no Sudoeste do Brasil, Leste do Paraguai e Nordeste da Argentina. In: **SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 1986. p. 589-603. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2009/02.10.18.19/doc/589-603.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2023.

EDWARDS, R. et al. *Tornado intensity estimation: Past, present, and future*. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 5, p. 641-653, 2013. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/94/5/bams-d-11-00006.1.xml?tab\\_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/94/5/bams-d-11-00006.1.xml?tab_body=fulltext-display)>. Acesso em: 07 mai. 2024.

EDWARDS, R. *Tropical Cyclone Tornadoes: A Review of Knowledge in Research and Prediction*. **E-Journal of Severe Storms Meteorology**, v. 7, n. 6, p. 1–61, 5 out. 2021. Disponível em: <<https://ejssm.com/ojs/index.php/site/article/view/42>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

ERDMAN, J. *Joplin's EF5 Tornado: What Our Meteorologists Haven't Forgotten 10 Years Later* | **The Weather Channel - Articles from The Weather Channel** | weather.com. Disponível em: <<https://weather.com/storms/tornado/news/2021-05-19-joplin-tornado-memories>>. Acesso em: 16 abr. 2024.

ESTIVALLET, J. et al. A Influência nas ocorrências tornádicas em Santa Catarina. **Curso Técnico de Meteorologia** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, DASS, Florianópolis, 2009.

Explorer/Adventurer & Storm Chaser George Kourounis. **Tornado Disaster in Joplin, Missouri May 22/2011**. Blog George Kourounis. Hull, s/d. Disponível em: <[http://www.stormchaser.ca/Tornadoes/2011\\_05\\_22\\_Joplin/2011\\_05\\_22\\_Joplin.html](http://www.stormchaser.ca/Tornadoes/2011_05_22_Joplin/2011_05_22_Joplin.html)>. Acesso em: 14 ago. 2024.

FERREIRA, V. et al. **Análise observacional e numérica da supercélula tornádica de 19 de novembro de 2015 em Marechal Cândido Rondon, Paraná**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/28215>>. Acesso em: 20 out. 2023.

FERREIRA, V. GOEDE, V. NASCIMENTO, E. L. *An environmental and polarimetric study of the 19 November 2015 supercell and multiple-vortex tornado in Marechal Cândido Rondon, southern Brazil*. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 134, n. 5, p. 82, 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-022-00922-5>>. Acesso em: 20 out. 2023.

FORBES, G. S. **On the Reliability of Hook Echoes as Tornado Indicators**. *Monthly Weather Review*, v. 109, n. 7, p. 1457–1466, jul. 1981. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/109/7/1520-0493\\_1981\\_109\\_1457\\_otrohe\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/109/7/1520-0493_1981_109_1457_otrohe_2_0_co_2.xml?tab_body=pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2024.

FUJITA, T. T. **Downburst: Microburst and Macrobust**. Disponível em: <<https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB85148880.xhtml>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

FUJITA, T.T. **Manual of downburst identification for Project NIMROD**. *SMRP Research Paper* 156, University of Chicago, 104 p. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19780022828>>. Acesso em: 25 mai. 2024.

FUJITA, T.T. **Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales**. v. 38, n. 8, p. 1511–1534, 1 ago. 1981. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/atasc/38/8/1520-0469\\_1981\\_038\\_1511\\_taditc\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/atasc/38/8/1520-0469_1981_038_1511_taditc_2_0_co_2.xml?tab_body=pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2024.

Fulks, J.R. *The Instability Line*. In: Malone, T.F. (eds) **Compendium of Meteorology**. **American Meteorological Society, Boston, MA**. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-1-940033-70-9\\_53](https://doi.org/10.1007/978-1-940033-70-9_53)>. Acesso em: 06 abr. 2024.

GOBATO, R. GOBATO, A. FEDRIGO, D. F. G. *Study of tornadoes that have reached the state of Parana*. **Parana J. Sci. Educ**, v. 2, n. 1, p. 1-27, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Gobato/publication/290195995\\_Study\\_of\\_tornadoes\\_that\\_have\\_reached\\_the\\_state\\_of\\_Parana/links/569f7b9e08aee4d26ad25f9b/Study-of-tornadoes-that-have-reached-the-state-of-Parana.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Gobato/publication/290195995_Study_of_tornadoes_that_have_reached_the_state_of_Parana/links/569f7b9e08aee4d26ad25f9b/Study-of-tornadoes-that-have-reached-the-state-of-Parana.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2023.

GOEDE, V. et al. **Análise meteorológica do evento tornádico ocorrido no município de Marechal Cândido Rondon em novembro de 2015**. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/182234>>. Acesso em: 21 out. 2023.

GORMAN, M. GREGORY, X. COCKBURN, P. **Tornado tears through regional NSW, injuring three people, damaging properties near Bathurst**. Disponível em: <<https://www.abc.net.au/news/2021-09-30/nsw-tornado-injures-three-people-and-destroys-properties/100504728>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

HAGEMEYER, B. C. *Peninsular Florida Tornado Outbreaks*. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 3, p. 399–427, set. 1997. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/12/3/1520-0434\\_1997\\_012\\_0399\\_pfto\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?alreadyAuthRedirecting](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/12/3/1520-0434_1997_012_0399_pfto_2_0_co_2.xml?alreadyAuthRedirecting)>. Acesso em: 08 mar. 2024.

HORNES, K. L., RODRIGUES VEDOVATO, N. A., BISCHOF JÚNIOR, A. B.-H., & PINHEIRO, E. G. (2022). CARACTERIZAÇÃO DA FORÇA DESTRUTIVA DE UM TORNADO MÚLTIPLO VÓRTICE EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON E QUATRO PONTES - PR. **REVISTA GEOGRAFAR**, 17(1), 114–136. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/80092>>. Acesso em out. 2024.

HORNES, K. L. (ORG). **Tornados no Brasil. Ponta Grossa:** Toda Palavra, 2022. 123 p.

HORNES, K. BISCHOF, A. SCHRÖDER, M. PREPARAÇÃO PARA RESILIÊNCIA EM TEMPESTADES SEVERAS, EXPERIÊNCIAS EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 1, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://e-revista.unioeste.br/index.php/ijerrs/article/view/25761>>. Acesso em: 20 out. 2023

HORNES, K. L. BALICKI, M. CARACTERIZAÇÃO DO TORNADO OCORRIDO EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON E QUATRO PONTES EM NOVEMBRO DE 2015. **R. Ra'e Ga**, v. 44, p. 36-54, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/47761>>. Acesso em 21 dez. 2023.

HOUZE, R. A. *Mesoscale convective systems*. **Reviews of Geophysics**, v. 42, n. 4, 2004. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2004RG000150>>. Acesso em: 09 mar. 2024.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Previsão de Tempo. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?data=20150927&hora=18&tipo=Altitude>. Acesso em: 15 mai. 2023.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Previsão de Tempo. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?data=20240405&hora=18&tipo=Altitude>. Acesso em: 10 abr. 2024.

JORNAL DE BELTRÃO. Há 5 anos tornado atingia Francisco Beltrão. **Jornal de Beltrão**. 17 de julho de 2020. Disponível em: <<https://jornaldebetrão.com.br/geral-arquivo/ha-5-anos-tornado-atingia-francisco-beltrao/#:~:text=Na%20noite%20de%2013%20de,mais%20sofreram%20com%20a%20destrui%C3%A7%C3%A3o.>>. Acesso em 10 ago. 2024.

JONES, T. A.; MCGRATH, K.; SNOW, J. T. *Association between NSSL Mesocyclone Detection Algorithm-Detected Vortices and Tornadoes*. **Weather and Forecasting**, v. 19, n. 5, p. 872–890, 1 out. 2004. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/19/5/1520-0434\\_2004\\_019\\_0872\\_abnmda\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/19/5/1520-0434_2004_019_0872_abnmda_2_0_co_2.xml?tab_body=fulltext-display)>. Acesso em 13 abr. 2024.

KARSTENS, C. D. SABA, B. SMITH, B. T. THOMPSON, R. L. ERICKSON, S.A. JIRAK, I. L. **A Method for Adding Intensity Information to NWS Preliminary Tornado Damage Paths**. Disponível em: <<https://ams.confex.com/ams/30SLS/meetingapp.cgi/Paper/407691>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

KRISTY.THOMPSON@NIST.GOV. **Joplin Missouri Tornado 2011**. Disponível em: <<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/joplin-tornado>>. Acesso em 12 dez. 2024.

KULIGOWSKI, E. D. LOMBARDO, F. T. PHAN, L. LEVITAN, M. L. JORGENSEN, D. P. Final Report, National Institute of Standards and Technology (NIST) Technical Investigation of the May 22, 2011, Tornado in Joplin, Missouri. **www.nist.gov**, 25 mar. 2014. Disponível em: < <https://www.nist.gov/publications/final-report-national-institute-standards-and-technology-nist-technical-investigation> >. Acesso em 6 dez. 2024.

KUNKEL, J; HANESIAK, J; SILLS, D. *The Hunt for Missing Tornadoes: Using Satellite Imagery to Detect and Document Historical Tornado Damage in Canadian Forests*. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 62, n. 2, p. 139-154, 2023. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/62/2/JAMC-D-22-0070.1.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/62/2/JAMC-D-22-0070.1.xml?tab_body=pdf)>. Acesso em 16 mar. 2024.

LADUE, J. G.; ORTEGA, K. *Experiences in using the EF-Scale since its inception*. In: **Preprints, 24th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Savannah, GA**. 2008. Disponível em: <[https://ams.confex.com/ams/25SLS/techprogram/paper\\_175400.htm](https://ams.confex.com/ams/25SLS/techprogram/paper_175400.htm)>. Acesso em: 07 mai. 2024.

LI, M. WU, Y. GAN, J. CHAI, B. ZHANG, Y. Sensor de força/torque de seis dimensões para estudo de características aerodinâmicas de trem de alta velocidade com diferentes ângulos de vento sob tornado estacionário. **PLoS one**, v. 19, n. 3, p. e0298401, 2024. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0298401>>. Acesso em jan. 2024.

LOMBARDO, F.T. WIENHOFF, Z. B. RHEE, D. M. NEVILL, J. B. POOLE, C. A. *An Approach for Assessing Misclassification of Tornado Characteristics Using Damage*. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 62, n. 6, p. 781-799, 2023. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/62/6/JAMC-D-22-0197.1.xml>>. Acesso em 06 mai. 2024.

MAAS, M. et al. The Tornado Archive: Compiling and Visualizing a Worldwide, Digitized Tornado Database. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 22 abr. 2024. Disponível em: < [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/105/7/BAMS-D-23-0123.1.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/105/7/BAMS-D-23-0123.1.xml?tab_body=pdf) >. Acesso em 15 out. 2024.

MARCELINO, I. P. V. O. FERREIRA, N. J. CONFORTE, J. C. **Análise do episódio de tornado ocorrido no dia 07/02/98 no município de Abdon Batista -SC**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.16.45/doc/04\\_143.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.16.45/doc/04_143.pdf)>. Acesso em 11 ago. 2023.

MARCELINO, I. P. V. O. NASCIMENTO, E. L. FERREIRA, N. J. **Tornados em Santa Catarina: Análise meteorológica e de vulnerabilidade com o auxílio de geotecnologias**. Disponível em: < [http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.21.14.06/doc/marcelino\\_tornados.pdf?requiredmirror=cptec.inpe.br/walmeida/2003/04.25.17.13&searchmirror=sid.inpe.br/bibdigital@80/2006/04.07.15.50.13&metadataarepository=sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.21.14.06.09&choice=briefTitleAuthorMisc&searchsite=bibdigital.sid.inpe.br:80&languagebutton=pt](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.21.14.06/doc/marcelino_tornados.pdf?requiredmirror=cptec.inpe.br/walmeida/2003/04.25.17.13&searchmirror=sid.inpe.br/bibdigital@80/2006/04.07.15.50.13&metadataarepository=sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.21.14.06.09&choice=briefTitleAuthorMisc&searchsite=bibdigital.sid.inpe.br:80&languagebutton=pt) >. Acesso em 11 ago. 2023.

MARCELINO, I. P. V. DE O.; MARCELINO, E. V.; SAUSEN, T. M. **Tornado ocorrido em Muitos Capões - RS no dia 29/08/2005**. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.11.18.44/doc/thisInformationItemHomePage.html>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

MARION, G. R.; TRAPP, R. J.; NESBITT, S. W. *Using Overshooting Top Area to Discriminate Potential for Large, Intense Tornadoes*. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 21, p. 12520–12526, 5 nov. 2019. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019GL084099>>. Acesso em 20 abr. 2024.

MARSHALL, T. P.; MARSHALL, T. P. **Damage survey and deduction of vortex structure of the Greensburg, KS tornado**. Disponível em: <<https://ams.confex.com/ams/24SLS/webprogram/Paper141534.html>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

MARSHALL, Timothy P. *Tornado damage survey at Moore, Oklahoma*. **Wea Forecasting**, v. 17, n. 3, p. 582-598, 2002. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/17/3/1520-0434\\_2002\\_017\\_0582\\_tdsamo\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/17/3/1520-0434_2002_017_0582_tdsamo_2_0_co_2.xml?tab_body=fulltext-display)>. Acesso em 23 nov. 2023.

MATEO, J. et al. *A study of a heavy rainfall event and a tornado outbreak during the passage of a squall line over Catalonia*. **Atmospheric Research**, v. 93, n. 1, p. 131–146, 1 jul. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016980950800269X>>. Acesso em: 8 mar. 2024.

Memoria Rondonense. Arquivo de fotos. Disponível em: <<https://www.memoriarondonense.com.br/eventos-single/tornado-em-19-de-novembro-de-2015/41/>>. Acesso em 05 out. 2024.

MCDONALD, J. R. *Impact resistance of common building materials to tornado missiles*. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 36, p. 717–724, jan. 1990. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016761059090069O>>. Acesso em 15 nov. 2023.

MIRANDA, T. No interior, perdas com tornado chegaram a R\$ 5 milhões | Prefeitura de Francisco Beltrão. Disponível em: <<https://franciscobeltrao.pr.gov.br/noticias/desenvolvimento-rural/no-interior-perdas-com-tornado-chegaram-a-r-5-milhoes/>>. Acesso em 25 mai. 2024

**Mission Overview | GOES-R Series**. Disponível em: <<https://www.goes-r.gov/mission/mission.html>>. Acesso em 19 abr. 2024.

MEJ, T. ZAMBILO, I. A. HORNES, K. L. ROQUE, E. A. Análise do Fenômeno Ocorrido em 2015 nos Bairros Amália e Maria Otilia no Município de Ponta Grossa –

Paraná. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 6, n. 1, 11 set. 2024. Disponível em: < <https://e-revista.unioeste.br/index.php/ijerrs/article/view/32394> >. Acesso em 13 set. 2024.

MITCHELL, W. *et al.* **The National Severe Storms Laboratory Tornado Detection Algorithm**. v. 13, n. 2, p. 352–366, 1 jun. 1998. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/13/2/1520-0434\\_1998\\_013\\_0352\\_tnsslt\\_2\\_0\\_co\\_2.xml#i1520-0434-13-2-352-burgess2](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/13/2/1520-0434_1998_013_0352_tnsslt_2_0_co_2.xml#i1520-0434-13-2-352-burgess2)>. Acesso em 17 abr. 2024.

MORAES, F. D. DE S. Ambiente atmosférico favorável ao desenvolvimento de complexos convectivos de mesoescala no Sul do Brasil. UFRG 2016. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/139067> >. Acesso em: 06 mar. 2024.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 121-140, 2005. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Ernani-Nascimento/publication/319288769\\_Previsao\\_de\\_tempestades\\_severas\\_utilizando-se\\_parametros\\_convectivos\\_e\\_modelos\\_de\\_mesoescala\\_uma\\_estrategia\\_operacional\\_adotavel\\_no\\_Brasil/links/65ccbf8434bbff5ba71573ee/Previsao-de-tempestades-severas-utilizando-se-parametros-convectivos-e-modelos-de-mesoescala-uma-estrategia-operacional-adotavel-no-Brasil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ernani-Nascimento/publication/319288769_Previsao_de_tempestades_severas_utilizando-se_parametros_convectivos_e_modelos_de_mesoescala_uma_estrategia_operacional_adotavel_no_Brasil/links/65ccbf8434bbff5ba71573ee/Previsao-de-tempestades-severas-utilizando-se-parametros-convectivos-e-modelos-de-mesoescala-uma-estrategia-operacional-adotavel-no-Brasil.pdf)>. Acesso em 1 mar. 2024.

NOAA's *National Weather Service* - **Glossary**. Disponível em: <<https://forecast.weather.gov/glossary.php?word=supercell>>. Acesso em: 23 ago. 2024.

OLIVEIRA, R. Tornado de Xanxerê - 2015: **Análise Sinótica e Caracterização das Condições Atmosféricas Usando o Modelo WRF**. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/173906> >. Acesso em 10 nov. 2023.

OSAWA, T. *Unstable lines accompanied by thunderstorms*. **Kisho Shushi**. Vol. 2, v. 36, n. 6, p. 227–238, 1958. Disponível em: < [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj1923/36/6/36\\_6\\_227/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj1923/36/6/36_6_227/_article/-char/ja/) >. Acesso em: 9 mar. 2024.

PIRES, R. M. **PRÊMIO OCEPAR**. VENTOS DA MORTE, VENTOS DA VIDA. Nova Laranjeiras, 13 de jun. 2019. Disponível em: <https://revistaaldeia.com.br/materia/1247/ventos-da-morte-ventos-da-vida>. Acesso em: 18 de mai. 2024.

**Radar Images: Reflectivity | National Oceanic and Atmospheric Administration**. Disponível em: <<https://www.noaa.gov/jetstream/reflectivity>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

REBOITA, M. S. *et al.* Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, jun. 2010. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCKZXcGKgyzWvf/?lang=pt> > Acesso em 06 abr. 2024.

REBOITA, M. S. MARRAFON, V. H. Ciclones extratropicais. **Terrae didática**, v. 17, p. e021032–e021032, 30 set. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8666028/27390>>. Acesso em 06 mar. 2024.

Relembre: em 1997 Nova Laranjeiras foi devastada por tornado. Produção da **TV TAROBÁ** | AFILIADA BAND, 2023. 1 vídeo (5.34 min.). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=P4B4m8t77J8>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

RIBEIRO, B.; SCHILD, G.T.; COSTA, I.C. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA PREVISÃO PROBABILÍSTICA DE TEMPO SEVERO INPE São José dos Campos 2020. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/10.01.13.31/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

ROSE, M. A. **US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. Downbursts**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/ohx/downbursts>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SCHENKEL, B. A. et al. *Lightning and Radar Characteristics of Tornadic Cells in Landfalling Tropical Cyclones*. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 128, n. 16, 18 ago. 2023. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2023JD038685> >. Acesso em: 8 mar. 2024.

SCORTECCI, C. ZANELLA, D. Comunidade em Francisco Beltrão foi destruída por tornado, diz Simepar. *Gazeta do Povo*, 14 jul. 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/comunidade-em-francisco-beltrao-foi-destruida-por-tornado-diz-simepar-26ghtbf75ryszheqft7zrcn4/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

SEGALL, J. H. FRENCH, M. KINGFIELD, D. M. LOEFFLER, S. D. KUMJIAN, M.R. *Storm-Scale Polarimetric Radar Signatures Associated with Tornado Dissipation in Supercells*. (2022). **Weather and Forecasting**, 37(1), pp.3–21. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/37/1/WAF-D-21-0067.1.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/37/1/WAF-D-21-0067.1.xml?tab_body=pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2024.

SILVA DIAS, M.A; GRAMMELSBACHER, E. **A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/amp/98836793-A-poss-vel-ocorrencia-de-tornado-em-sao-paulo-no-dia-26-de-abril-de-1991-um-estudo-de-caso.html>. Acesso em 11 ago. 2023

SIMEPAR. TORNADO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON. Curitiba 20 nov. 2015. Facebook: Simepar. Disponível em: <[https://www.facebook.com/photo.php?fbid=846226995475630&id=616914981740167&set=a.616938468404485&locale=pt\\_BR](https://www.facebook.com/photo.php?fbid=846226995475630&id=616914981740167&set=a.616938468404485&locale=pt_BR) >. Acesso em 18 no. 2024.

SIMEPAR. Linha de instabilidade aproxima-se da região de Ponta Grossa e Curitiba. Previsão de chuvas, raios e ventos acima dos 50 km/h nestas cidades. Oeste chove bastante, com deslocamento para Cascavel. Curitiba 3 de dez. 2020. X: @simepar.

Disponível em: <<https://x.com/simeparpr/status/1334404132963311616>>. Acesso em: 4 mai. 2024.

**SPC Products.** Disponível em: <<https://www.spc.noaa.gov/misc/about.html#:~:text=What%20is%20Severe%20Weather%3F>>. Acesso em: 8 mar. 2024.

STEVENSON, S. A. et al. *Assessment of wind speeds along the damage path of the Alonsa, Manitoba EF4 tornado on 3 August 2018. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 238, p. 105422, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610523001253>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

STORM PREDICTION CENTER. **Storm Prediction Center Enhanced Fujita Scale (EF Scale)**. Disponível em: <<https://www.spc.noaa.gov/efscale/>>. Acesso em 15 jan. 2024.

**Temporal com ventos acima de 75 km/h causa estragos no Paraná.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2015/09/temporal-com-ventos-acima-de-75-kmh-causa-estragos-no-parana.html>>. Acesso em: 20 mai. 2024.

TOLEDO, D. R. **Tempo severo e formação de tornado em Taquarituba/SP: uma aplicação do modelo WRF como ferramenta de análise.** Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/32336>>. Acesso em: 17 nov. 2023.

**Tornado atinge Marechal Cândido Rondon e deixa rastro de destruição.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2015/11/tornado-atinge-marechal-candido-rondon-e-deixa-rastro-de-destruicao.html>>. Acesso em: 25 out. 2024.

Tornado Devasta Cascavel-PR: Imagens Incríveis de Drone. CENÁRIO DE GUERRA. Produzido por Melhor de Cascavel. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eb102HE9dkM>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

TORNADO Joplin Missouri 2011. Disponível em: < <https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/joplin-tornado> >. Acesso em 10 dez. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, **N. EF-1 Tornado Confirmed In Ohio County.** Disponível em: <<https://www.weather.gov/lmk/EF-1TornadoConfirmedOhioCounty>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. Fayette/Effingham County Illinois EF2 Tornado. Disponível em: <[https://www.weather.gov/lx/04\\_03\\_2018](https://www.weather.gov/lx/04_03_2018)>. Acesso em: 15 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, **N. June 20, 2011: Tornado Outbreak - Including 2 EF3 and 4 EF2 Tornadoes.** Disponível em: <<https://www.weather.gov/gid/multipleTornadoesJune202011>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **Dec 10-11 2021 Tornado Event**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/pah/December-10th-11th-2021-Tornado>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **June 16, 2014 Pilger Tornado Event**. Disponível em: <[https://www.weather.gov/oax/event\\_archive\\_20140616](https://www.weather.gov/oax/event_archive_20140616)>. Acesso em 05 mai. 2023

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **May 30, 2017 Severe Weather/Macroburst**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/mhx/May302017Microburst>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **Spotter's Field Guide - The Supercell, Pt. 1**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/spotterguide/supercell1>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **tornadoes FAQ**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/lmk/tornadoesfaq#:~:text=Nevertheless%2C%20ground%20time%20can%20range>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, N. **O. AND A. A. NOAA 200th Feature Story: History of Tornado Forecasting**. Disponível em: <[https://celebrating200years.noaa.gov/magazine/tornado\\_forecasting/](https://celebrating200years.noaa.gov/magazine/tornado_forecasting/)>. Acesso em 15 nov. 2023.

Vendaval danifica 200 casas e afeta 800 pessoas em Ponta Grossa. Agência Estadual de Notícias. Paraná, 28, set. 2015. Disponível em: <<https://arquivo2011.aen.pr.gov.br/Noticia/Vendaval-danifica-200-casas-e-afeta-800-pessoas-em-Ponta-Grossa>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

WALLACE, J. M. HOBBS, P. *Atmospheric Science: Na Introductory Survey*. 2ª Ed. Disponível em: <[http://www.gnss-x.ac.cn/docs/Atmospheric%20Science%20An%20Introductory%20Survey%20\(John%20M.%20Wallace,%20Peter%20V.%20Hobbs\)%20\(z-lib.org\).pdf](http://www.gnss-x.ac.cn/docs/Atmospheric%20Science%20An%20Introductory%20Survey%20(John%20M.%20Wallace,%20Peter%20V.%20Hobbs)%20(z-lib.org).pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2024.

WANG, J.; FAN, J.; FENG, Z. *Climatological occurrences of hail and tornadoes associated with mesoscale convective systems in the United States*. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 23, n. 12, p. 3823–3838, 14 dez. 2023. Disponível em: < <https://nhess.copernicus.org/articles/23/3823/2023/> >. Acesso em: 08 mar. 2024.

WEAVER, John F. et al. *Observações de satélite de uma tempestade supercelular severa em 24 de julho de 2000 feitas durante o teste científico GOES-11*. **Weather and forecasting**, v. 17, n. 1, p. 124-138, 2002. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/17/1/1520-0434\\_2002\\_017\\_0124\\_sooass\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=abstract-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/17/1/1520-0434_2002_017_0124_sooass_2_0_co_2.xml?tab_body=abstract-display)>. Acesso em 17 abr. 2024.

WILSON, J. F.; WAKIMOTO, R. M. ***The Discovery of the Downburst: T. T. Fujita's Contribution***. v. 82, n. 1, p. 49–62, 1 jan. 2001. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/82/1/1520-0477\\_2001\\_082\\_0049\\_tdotdt\\_2\\_3\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/82/1/1520-0477_2001_082_0049_tdotdt_2_3_co_2.xml)>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ZENG, Q. et al. *Application of random forest algorithm on tornado detection*. ***Remote Sensing***, v. 14, n. 19, p. 4909, 2022. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/19/4909> >. Acesso em 22 abr. 2024

## ANEXO A - INDICADORES DE DANOS DA ESCALA FUJITA MELHORADA.

### DI 1- Pequenos Celeiros e Construções Rurais

#### Descrição Geral:

- Menos de 250 m<sup>2</sup>
- Construção em madeira ou metal com postes e vigas
- Trelças de telhado em madeira ou metal
- Revestimento de painéis de madeira ou metal
- Telhado de metal ou madeira
- Portas grandes

| DoD | Descrição do Dano                               | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limite de dano visível                          | 99,77                                        | 85,29                                         | 125,52                                        |
| 2   | Perda de painéis de madeira ou metal do telhado | 119,09                                       | 98,16                                         | 146,44                                        |
| 3   | Colapso das portas                              | 133,57                                       | 109,43                                        | 164,15                                        |
| 4   | Perda significativa de painéis do telhado       | 144,84                                       | 125,52                                        | 177,02                                        |
| 5   | Levantamento ou colapso da estrutura do telhado | 149,66                                       | 130,35                                        | 183,46                                        |
| 6   | Colapso das paredes                             | 156,10                                       | 130,35                                        | 191,51                                        |
| 7   | Tombamento ou deslizamento de toda a estrutura  | 159,32                                       | 133,57                                        | 189,90                                        |
| 8   | Destruição total do edifício                    | 180,24                                       | 151,27                                        | 210,82                                        |

### DI 2 - Residências unifamiliares ou bi familiares (92,90 – 464,52 m<sup>2</sup>)

#### Descrição Geral

- Cobertura de telhado com telhas de asfalto, telhas, ardósia ou metal
- Telhado plano, em duas águas, quatro águas, mansarda ou mono inclinado, ou combinações desses

- Deck de telhado de madeira compensada, OSB (Oriented Strand Board) ou tábuas de madeira
- Trelças de madeira pré-fabricadas ou construção com vigas e caibros de madeira
- Revestimento de tijolos, painéis de madeira, estuque, EIFS (*External Insulation and Finish System*), vinil ou metal
- Paredes com studs de madeira ou metal, blocos de concreto ou painéis de concreto isolante
- Garagem anexa simples ou dupla

(continua)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do dano</b>                                                                                                                                           | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                                                                                                                             | 104                                                 | 82                                                   | 128                                                  |
| 2          | Perda de material de cobertura do telhado (<20%), calhas e/ou toldo; perda de vinil ou revestimento de metal                                                       | 127                                                 | 101                                                  | 156                                                  |
| 3          | Vidros quebrados em portas e janelas                                                                                                                               | 154                                                 | 127                                                  | 183                                                  |
| 4          | Elevação da cobertura e perda significativa de cobertura materiais (>20%); colapso da chaminé; portas de garagem colapsam para dentro; queda de varanda ou garagem | 156                                                 | 130                                                  | 186                                                  |
| 5          | Casa inteira sai da fundação                                                                                                                                       | 194                                                 | 165                                                  | 226                                                  |
| 6          | Grandes seções da estrutura do telhado foram removidas; a maioria das paredes permanecer de pé                                                                     | 196                                                 | 167                                                  | 246                                                  |
| 7          | Paredes externas desabaram                                                                                                                                         | 212                                                 | 181                                                  | 246                                                  |
| 8          | A maioria das paredes desabou, exceto pequenas salas internas                                                                                                      | 244                                                 | 204                                                  | 286                                                  |

(continuação)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do dano</b>                                                                 | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 9          | Todas as paredes                                                                         | 273                                                 | 228                                                  | 318                                                  |
| 10         | Destruição de materiais projetados e/ou bem construídos residência; laje varrida e limpa | 321                                                 | 265                                                  | 354                                                  |

## DI 3 - Casa móvel de largura única

## Construção Típica

- Chassi de aço apoiado em blocos de concreto
- Cintas de metal e âncoras de solo (âncoras de estrutura e/ou sobre o topo)
- Telhas de asfalto ou cobertura metálica de uma peça
- Vigas de madeira no telhado
- Revestimento lateral de metal, vinil ou madeira
- Vigas de madeira no telhado
- Paredes e divisórias com estrutura de madeira
- Construção melhorada em modelos pós-1974 em áreas costeiras

(continua)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do dano</b>                                      | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                        | 98,17                                               | 82,08                                                | 122,31                                               |
| 2          | Perda de telhas ou descolamento parcial da cobertura metálica | 119,09                                              | 98,17                                                | 148,06                                               |
| 3          | Unidade desliza dos blocos de concreto, mas permanece em pé   | 140,01                                              | 115,87                                               | 165,76                                               |

(continuação)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do dano</b>                                                  | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 4          | Destelhamento completo, maioria das paredes permanece de pé               | 143,23                                              | 117,48                                               | 180,25                                               |
| 5          | Unidade rola para o lado ou fica invertida; permanece basicamente intacta | 157,72                                              | 135,18                                               | 183,46                                               |
| 6          | Destruição do telhado e paredes, deixando o piso e o chassi no lugar      | 168,98                                              | 140,01                                               | 197,95                                               |
| 7          | Unidade rola ou salta; telhado e paredes se separam do piso e chassi      | 175,42                                              | 154,50                                               | 206,00                                               |
| 8          | Chassi se separa da unidade; rola, tomba e fica severamente danificado    | 189,90                                              | 162,54                                               | 218,87                                               |
| 9          | Destruição total da unidade; detritos espalhados pelo vento               | 204,39                                              | 177,03                                               | 238,18                                               |

#### DI 4 - Casa móvel dupla

##### Construção Típica

- Chassi de aço apoiado em blocos de concreto
- Conexão multiunidade no telhado, piso e paredes laterais
- Cintas de estrutura e âncoras de solo espaçadas a 3–3,6 m de distância
- Telhado plano, em empena ou em quadril
- Telhas de asfalto ou painéis metálicos no telhado
- Forro de telhado em madeira compensada/OSB
- Estrutura de vigas de madeira ou viga rasa
- Revestimento lateral em metal, vinil ou madeira

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>               | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                 | <b>98,17</b>                                        | <b>82,08</b>                                         | <b>122,31</b>                                        |
| 2          | Perda de telhas (<20%)                 | <b>122,31</b>                                       | <b>99,78</b>                                         | <b>141,62</b>                                        |
| 3          | Danos a varandas ou carportes          | <b>125,53</b>                                       | <b>107,83</b>                                        | <b>154,5</b>                                         |
| 4          | Janelas quebradas                      | <b>133,58</b>                                       | <b>109,44</b>                                        | <b>152,89</b>                                        |
| 5          | Descolamento do telhado (>20%)         | <b>141,62</b>                                       | <b>120,7</b>                                         | <b>173,81</b>                                        |
| 6          | Destelhamento total (paredes em pé)    | <b>149,67</b>                                       | <b>123,92</b>                                        | <b>177,03</b>                                        |
| 7          | Unidade desliza dos blocos             | <b>151,28</b>                                       | <b>125,53</b>                                        | <b>175,42</b>                                        |
| 8          | Telhado removido (paredes em pé)       | <b>156,11</b>                                       | <b>128,75</b>                                        | <b>188,29</b>                                        |
| 9          | Telhado/paredes destruídos (chassi ok) | <b>181,86</b>                                       | <b>149,67</b>                                        | <b>210,82</b>                                        |
| 10         | Unidade rola ou salta                  | <b>183,46</b>                                       | <b>131,97</b>                                        | <b>209,21</b>                                        |
| 11         | Chassi se separa e tomba               | <b>204,39</b>                                       | <b>175,42</b>                                        | <b>233,35</b>                                        |
| 12         | Destruição total (detritos espalhados) | <b>215,65</b>                                       | <b>191,51</b>                                        | <b>247,84</b>                                        |

DI 5 - Apto, condomínio, casa geminada (3 andares ou menos)

#### Construção Típica

- Telhado plano, em empena, em quadril ou mansarda
- Cobertura de telhado em telhas de asfalto, cerâmicas, metálicas ou BUR (*Built-Up Roofing*)

- Forro de telhado em madeira compensada/OSB
- Trelças de telhado em madeira ou metal (estrutura leve)
- Revestimento de paredes em painéis de madeira, metal ou vinil; reboco, tijolo aparente ou EIFS (*External Insulation Finishing System*); combinações de materiais
- Paredes com estrutura de madeira ou metal
- Diafragmas de piso em madeira
- Portas de correr para varandas; sacadas

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                                                   | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                                     | <b>122,31</b>                                       | <b>101,39</b>                                        | <b>152,89</b>                                        |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%)                                       | <b>159,32</b>                                       | <b>131,97</b>                                        | <b>194,73</b>                                        |
| 3          | Descolamento do forro do telhado; perda significativa de cobertura (>20%)  | <b>199,56</b>                                       | <b>172,2</b>                                         | <b>234,96</b>                                        |
| 4          | Descolamento ou colapso da estrutura do telhado (paredes permanecem em pé) | <b>222,09</b>                                       | <b>193,12</b>                                        | <b>254,28</b>                                        |
| 5          | Colapso da maioria das paredes do último andar                             | <b>254,28</b>                                       | <b>222,09</b>                                        | <b>296,12</b>                                        |
| 6          | Destruição quase total dos dois últimos andares                            | <b>289,68</b>                                       | <b>249,43</b>                                        | <b>329,91</b>                                        |
| 7          | Destruição total do edifício                                               | –                                                   | –                                                    | –                                                    |

#### DI 6 – Motel

##### Construção Típica

- Até quatro andares

- Estrutura composta por um ou mais edifícios retangulares de múltiplos pavimentos
- Telhado: Plano, em empena, em quadril ou mansarda
- Cobertura: Telhas de asfalto, cerâmicas, ardósia ou BUR (*Built-Up Roofing*)
- Forro do telhado: Madeira compensada/OSB
- Trelças de telhado: Pré-fabricadas em madeira ou metal
- Pisos: Diafragmas de madeira
- Paredes: Estrutura de madeira ou metal
- Revestimento externo: Reboco, EIFS (*External Insulation Finishing System*), madeira, metal ou tijolo aparente
- Cobertura na entrada: Abrigo sobre a área de acesso para veículos
- Áreas externas: Passarelas ou varandas

(continua)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                                                                              | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                                                                | 106,22                                              | 86,9                                                 | 133,58                                               |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%)                                                                  | 128,75                                              | 107,83                                               | 159,32                                               |
| 3          | Janelas ou portas de varanda quebradas                                                                | 143,23                                              | 119,09                                               | 172,2                                                |
| 4          | Descolamento do forro do telhado; perda significativa de cobertura (>20%); perda de revestimento EIFS | 152,89                                              | 128,75                                               | 186,68                                               |
| 5          | Descolamento ou colapso da cobertura da entrada                                                       | 159,32                                              | 130,36                                               | 189,9                                                |
| 6          | Descolamento ou colapso da estrutura do telhado (paredes permanecem em pé)                            | 197,95                                              | 165,76                                               | 230,14                                               |

(continuação)

| DoD | Descrição do dano                                                 | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 7   | Colapso das paredes externas do último andar                      | 222,09                                       | 194,73                                        | 251,06                                        |
| 8   | Colapso da maioria das paredes do último andar                    | 230,14                                       | 204,39                                        | 260,71                                        |
| 9   | Colapso dos dois últimos andares (em edifícios com 3+ pavimentos) | 273,59                                       | 231,75                                        | 297,73                                        |
| 10  | Destruição total do edifício                                      | 305,77                                       | 262,32                                        | 349,23                                        |

#### DI 7- Apartamentos ou Motéis de Alvenaria

##### Descrição Geral:

- Até quatro andares
- Edifício composto por uma ou mais construções retangulares de vários andares
- Telhado plano, de duas águas, em quatro águas
- Cobertura com telhas asfálticas, de ardósia, cerâmica ou telhado BUR (*Built-Up Roofing*).
- Estrutura de telhado em aço leve com deck metálico e isolamento leve
- Sistema de laje pré-moldada em concreto para cobertura e pavimentos
- Sistema de laje moldada in loco em concreto para cobertura e pavimentos
- Paredes não estruturais de blocos de concreto (CMU)
- Paredes estruturais de blocos de concreto (CMU)
- Revestimento externo em estuque, EIFS ou tijolo aparente
- Corredores ou varandas externas

| DoD | Descrição do Dano                                                         | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limite de dano visível                                                    | 104,607                                      | 86,9044                                       | 130,36                                        |
| 2   | Perda de cobertura (<20%)                                                 | 128,747                                      | 107,826                                       | 162,54                                        |
| 3   | Levantamento de cobertura metálica leve                                   | 152,887                                      | 130,357                                       | 186,68                                        |
| 4   | Levantamento de laje de concreto pré-moldado ou moldado in loco           | 194,73                                       | 165,762                                       | 230,14                                        |
| 5   | Colapso dos andares superiores                                            | 214,042                                      | 185,074                                       | 241,4                                         |
| 6   | Colapso dos dois últimos andares de edifícios com três ou mais pavimentos | 251,057                                      | 212,433                                       | 289,68                                        |
| 7   | Destruição total de uma grande seção do edifício                          | 289,681                                      | 257,494                                       | 329,91                                        |

#### DI 8 - Prédio de pequeno varejo (fast food)

##### Construção Típica

- Melhor exemplo: Restaurante de fast-food
- Telhado: Plano, em quadril, em empena, mansarda ou monoslope
- Cobertura: Telhas de asfalto, painéis metálicos, ardósia, cerâmica, single-ply ou BUR (*Built-Up Roofing*)
- Forro do telhado: Madeira compensada/OSB
- Estrutura do telhado: Trelças ou caibros em madeira/metálico
- Paredes: Estrutura de madeira ou metal
- Características: Grandes áreas envidraçadas e portas duplas de entrada
- Proteções externas: Coberturas (marquises), passarelas cobertas ou varandas
- Revestimento externo: Madeira, tijolo aparente, metal, vinil, blocos de concreto, EIFS (*External Insulation Finishing System*) ou reboco

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                                                  | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                                    | 104,61                                              | 86,9                                                 | 130,36                                               |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%)                                      | 125,53                                              | 104,61                                               | 157,72                                               |
| 3          | Vidros de janelas e portas quebrados                                      | 138,4                                               | 115,87                                               | 165,76                                               |
| 4          | Descolamento do forro do telhado; perda significativa de cobertura (>20%) | 157,72                                              | 130,36                                               | 191,51                                               |
| 5          | Destruição de marquises ou passarelas cobertas                            | 157,72                                              | 133,58                                               | 183,46                                               |
| 6          | Descolamento ou colapso total da estrutura do telhado                     | 191,51                                              | 162,54                                               | 225,31                                               |
| 7          | Colapso de paredes externas (paredes internas permanecem em pé)           | 222,09                                              | 193,12                                               | 255,89                                               |
| 8          | Destruição total do edifício                                              | 268,76                                              | 230,14                                               | 310,6                                                |

DI 9 – Pequeno profissional (consultório médico, agência bancária)

#### Construção Típica

- Telhados plano, em empena, quadril, mansarda ou monoslope (com ou sem paredes de parapeto)
- Coberturas: telhas de asfalto, cerâmica, ardósia, painéis metálicos, single-ply ou built-up
- Estrutura:
  - Aço leve, vigas de aço e deck metálico
  - Alvenaria estrutural com telhado de aço/madeira
  - Madeira (post-and-beam)

- Paredes: Estrutura de madeira/metal ou alvenaria não estrutural
- Revestimento: Painéis metálicos/vinil, reboco ou EIFS
- Claraboias e/ou janelas superiores

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                                   | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                     | 104.61                                              | 86.90                                                | 130.36                                               |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%)                       | 125.53                                              | 104.61                                               | 157.72                                               |
| 3          | Janelas quebradas (incl. claraboias)                       | 143.23                                              | 119.09                                               | 172.20                                               |
| 4          | Falha de portas externas                                   | 160.93                                              | 131.97                                               | 189.90                                               |
| 5          | Descolamento do telhado (>20%); perda de equipamentos HVAC | 160.93                                              | 135.18                                               | 188.29                                               |
| 6          | Colapso de fachadas ou paredes de parapeito                | 165.76                                              | 136.79                                               | 197.95                                               |
| 7          | Colapso total da estrutura do telhado                      | 199.56                                              | 168.98                                               | 233.35                                               |
| 8          | Colapso de paredes externas (paredes internas permanecem)  | 231.75                                              | 197.95                                               | 265.54                                               |
| 9          | Destruição total do prédio                                 | 252.67                                              | 238.18                                               | 321.87                                               |

DI 10 – Shopping center

Construção Típica

- Telhado plano com parede de parapeto
- Cobertura: Built-up roofing ou membrana single-ply com isolamento rígido
- Estrutura: Deck de madeira/metal, painéis de fibrocimento
- Suporte do telhado: Aço leve com vigas treliçadas
- Paredes: Tijolo ou bloco de concreto
- Grandes vitrines e portas de vidro
- Passarela coberta anexa

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                                  | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                                    | 104.61                                              | 86.90                                                | 130.36                                               |
| 2          | Descolamento da cobertura (beirais/cantos)                | 128.75                                              | 106.22                                               | 160.93                                               |
| 3          | Vidros de janelas/portas quebrados                        | 141.62                                              | 115.87                                               | 168.98                                               |
| 4          | Descolamento do forro do telhado                          | 162.54                                              | 135.18                                               | 196.34                                               |
| 5          | Colapso de fachadas/parapetos                             | 165.76                                              | 136.79                                               | 201.17                                               |
| 6          | Passarelas cobertas descoladas/colapsadas                 | 165.76                                              | 138.40                                               | 201.17                                               |
| 7          | Colapso total da estrutura do telhado                     | 196.34                                              | 165.76                                               | 230.14                                               |
| 8          | Colapso de paredes externas (paredes internas permanecem) | 225.31                                              | 188.29                                               | 265.54                                               |
| 9          | Destruição total ou de grande seção                       | 275.20                                              | 236.57                                               | 318.65                                               |

## DI 11 – Grande shopping center

## Construção Típica

- Telhado plano (algumas áreas com grandes vãos)
- Cobertura: Single-ply ou BUR (com/sem pedrisco)
- Paredes: Estrutura metálica com revestimento em tijolo, reboco ou EIFS
- Estrutura principal: Aço leve com treliças espaciais
- Muitas claraboias e áreas envidraçadas

| DoD | Descrição do Dano                                            | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível                                       | 114.26                                       | 94.95                                         | 138.40                                        |
| 2   | Perda de cobertura (<20%)                                    | 136.79                                       | 111.04                                        | 168.98                                        |
| 3   | Claraboias/áreas envidraçadas quebradas                      | 148.06                                       | 120.70                                        | 183.46                                        |
| 4   | Descolamento parcial do telhado (>20%); perda de HVAC        | 173.81                                       | 148.06                                        | 206.00                                        |
| 5   | Remoção do revestimento das paredes (começando pelos cantos) | 178.64                                       | 151.28                                        | 210.82                                        |
| 6   | Colapso da estrutura do telhado                              | 206.00                                       | 173.81                                        | 241.40                                        |
| 7   | Colapso das paredes externas (último piso)                   | 231.75                                       | 199.56                                        | 267.15                                        |
| 8   | Colapso das paredes internas (último piso)                   | 257.50                                       | 223.70                                        | 297.73                                        |
| 9   | Destruição total ou de grande seção                          | 328.31                                       | 283.24                                        | 397.51                                        |

## DI 12 – Edifício de varejo grande e isolado.

### Construção Típica

- Telhado plano com BUR + pedrisco ou membrana single-ply (parapeto de 0.6-0.9m)
- Estrutura: Trelças metálicas apoiadas em colunas tubulares altas
- Deck metálico com isolamento ou laje leve
- Grandes vitrines na fachada frontal
- Paredes: Blocos de concreto (CMU), painéis tilt-up ou estrutura metálica com EIFS

| DoD | Descrição do Dano                                     | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível                                | 109.44                                       | 91.73                                         | 133.58                                        |
| 2   | Perda de cobertura (<20%)                             | 130.36                                       | 109.44                                        | 165.76                                        |
| 3   | Descolamento parcial do telhado (>20%); perda de HVAC | 165.76                                       | 140.01                                        | 197.95                                        |
| 4   | Colapso de vãos longos do telhado                     | 196.34                                       | 165.76                                        | 231.75                                        |
| 5   | Remoção total da estrutura do telhado                 | 215.65                                       | 183.46                                        | 252.67                                        |
| 6   | Colapso de paredes externas (para dentro/fora)        | 220.48                                       | 189.90                                        | 254.28                                        |
| 7   | Destruição total ou de grande seção                   | 278.42                                       | 236.57                                        | 323.48                                        |

## DI 13 – Salão de automóveis

### Construção Típica

- Telhado plano com BUR ou single-ply
- Estrutura: Trelças metálicas e deck metálico
- Paredes: Estrutura metálica com EIFS, reboco ou painéis tilt-up
- Grandes vitrines em 2-3 lados

| DoD | Descrição do Dano                             | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível                        | 104.61                                       | 75.64                                         | 128.75                                        |
| 2   | Perda de cobertura (<20%)                     | 128.75                                       | 107.83                                        | 162.54                                        |
| 3   | Vidros quebrados                              | 140.01                                       | 114.26                                        | 170.59                                        |
| 4   | Descolamento do telhado (>20%); perda de HVAC | 162.54                                       | 133.58                                        | 193.12                                        |
| 5   | Remoção do revestimento das paredes           | 180.25                                       | 151.28                                        | 212.43                                        |
| 6   | Colapso da estrutura do telhado               | 189.90                                       | 157.72                                        | 225.31                                        |
| 7   | Colapso de paredes externas                   | 202.78                                       | 170.59                                        | 238.18                                        |
| 8   | Destruição total ou de grande seção           | 252.67                                       | 222.09                                        | 291.29                                        |

#### DI 14 – Edifício de serviços automotivos

##### Construção Típica

- Telhado plano com parapeto alto
- Cobertura: BUR + pedrisco ou single-ply
- Estrutura: Trelças metálicas e deck metálico
- Paredes: Alvenaria ou painéis tilt-up

- Múltiplos portões metálicos grandes

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                      | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                        | 101.39                                              | 74.03                                                | 127.14                                               |
| 2          | Perda de cobertura (<20%)                     | 125.53                                              | 104.61                                               | 159.32                                               |
| 3          | Falha de portões metálicos                    | 146.45                                              | 123.92                                               | 177.03                                               |
| 4          | Descolamento do telhado (>20%); perda de HVAC | 157.72                                              | 128.75                                               | 191.51                                               |
| 5          | Colapso de paredes não estruturais            | 183.46                                              | 151.28                                               | 215.65                                               |
| 6          | Colapso da estrutura do telhado               | 194.73                                              | 164.15                                               | 230.14                                               |
| 7          | Colapso de paredes estruturais                | 206.00                                              | 170.59                                               | 239.79                                               |
| 8          | Destruição total ou de grande seção           | 252.67                                              | 222.09                                               | 291.29                                               |

DI 15 – Escola - Ensino fundamental de 1 andar (corredores internos ou externos)

Descrição Geral:

- Prédios geralmente de um andar com telhados planos
- Podem conter um pequeno ginásio ou refeitório com vãos moderadamente longos
- Possuem corredores internos longos com paredes estruturais ou não estruturais
- Cobertura: BUR, membrana single-ply ou painéis metálicos

- Estrutura do telhado: treliças metálicas apoiadas em paredes externas e vigas de aço internas
- Paredes externas: blocos de concreto (CMU), paredes-cortina de vidro ou estrutura metálica com revestimento em tijolo, reboco ou EIFS
- Grandes áreas envidraçadas

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>               | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível                 | 105                                                 | 76                                                   | 129                                                  |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%)   | 127                                                 | 106                                                  | 159                                                  |
| 3          | Janelas quebradas                      | 140                                                 | 114                                                  | 171                                                  |
| 4          | Falha de portas externas               | 159                                                 | 137                                                  | 190                                                  |
| 5          | Descolamento parcial do telhado (>20%) | 163                                                 | 132                                                  | 195                                                  |
| 6          | Danos ao revestimento das paredes      | 174                                                 | 148                                                  | 204                                                  |
| 7          | Colapso da estrutura do telhado        | 201                                                 | 174                                                  | 238                                                  |
| 8          | Colapso de paredes não estruturais     | 224                                                 | 188                                                  | 261                                                  |
| 9          | Colapso de paredes estruturais         | 246                                                 | 209                                                  | 290                                                  |
| 10         | Destruição total do prédio             | 283                                                 | 245                                                  | 327                                                  |

Descrição Geral:

- Prédios grandes de 1-2 andares com telhados planos
- Contêm ginásios, refeitórios e auditórios com grandes vãos estruturais
- Sistema estrutural pode ser de aço, concreto armado ou misto
- Paredes externas: blocos de concreto/tijolo com revestimento em alvenaria, reboco ou EIFS
- Muitas janelas (mais de 30% da área das paredes)

(continua)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>             | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível               | 109                                                 | 89                                                   | 134                                                  |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%) | 127                                                 | 106                                                  | 159                                                  |
| 3          | Janelas quebradas                    | 140                                                 | 114                                                  | 171                                                  |
| 4          | Falha de portas externas             | 163                                                 | 134                                                  | 195                                                  |
| 5          | Descolamento do telhado (>20%)       | 163                                                 | 137                                                  | 191                                                  |
| 6          | Danos ao revestimento das paredes    | 174                                                 | 148                                                  | 204                                                  |
| 7          | Colapso de paredes altas (ginásio)   | 183                                                 | 151                                                  | 219                                                  |

(continuação)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do dano</b> | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|

|    |                                 |     | do vento<br>(km/h) |     |
|----|---------------------------------|-----|--------------------|-----|
| 8  | Colapso da estrutura do telhado | 201 | 174                | 238 |
| 9  | Colapso de paredes externas     | 224 | 195                | 246 |
| 10 | Colapso de paredes internas     | 254 | 214                | 299 |
| 11 | Destruição total do prédio      | 309 | 262                | 360 |

## DI 17 - EDIFÍCIOS BAIXOS: 1– 4 ANDARES

### Descrição Geral

- Geralmente consistem em módulos retangulares, mas podem ter formatos "irregulares" em planta
- A maioria terá telhados planos, mas podem ter telhados em duas águas, quatro águas ou mansardas
- Materiais de cobertura incluem BUR (*Built-Up Roofing*), membrana de uma única camada, painéis de metal ou telhas de metal
- O deck do telhado pode ser de madeira, metal, gesso fundido ou laje de concreto
- Estrutura de aço ou concreto armado
- Paredes cortina de vidro e metal, paredes de metal com EIFS (*External Insulation and Finish System*), paredes de alvenaria não estruturais com estuque ou revestimento de tijolos
- Exemplos incluem edifícios de escritórios, instalações médicas e bancos.

| DoD | Descrição do Dano      | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível | 109,44                                       | 88,514                                        | 133,58                                        |

|   |                                                                                                               |        |        |        |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 2 | Perda de cobertura do telhado (<20%)                                                                          | 128,75 | 107,83 | 165,76 |
| 3 | Elevação do deck de metal do telhado nas bordas e cantos: perda significativa de material de cobertura (>20%) | 162,54 | 133,58 | 193,12 |
| 4 | Vidros quebrados em janelas, entradas ou átrios                                                               | 162,54 | 133,58 | 196,34 |
| 5 | Elevação da estrutura leve do telhado                                                                         | 214,04 | 183,46 | 252,67 |
| 6 | Danos significativos às paredes externas e algumas paredes internas                                           | 230,14 | 196,34 | 268,76 |
| 7 | Destruição completa de todo o edifício ou de uma grande seção                                                 | 302,56 | 259,1  | 355,66 |

DI 18 – Prédio de altura média (5 a 20 andares).

Descrição Geral:

- Formatos geralmente retangulares, mas podem ter designs curvos
- Telhados planos com casa de máquinas/elevador
- Estrutura de aço ou concreto armado
- Fachadas: paredes-cortina de vidro ou metal, painéis pré-fabricados de concreto
- Exemplos: escritórios, hospitais e prédios residenciais

| DoD | Descrição do Dano                    | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível               | 113                                          | 93                                            | 138                                           |
| 2   | Perda de cobertura do telhado (<20%) | 134                                          | 109                                           | 166                                           |

|    |                                  |     |     |     |
|----|----------------------------------|-----|-----|-----|
| 3  | Danos à casa de máquinas         | 148 | 121 | 182 |
| 4  | Danos a paredes de parapeto      | 159 | 134 | 190 |
| 5  | Vidros quebrados (fachadas)      | 163 | 134 | 193 |
| 6  | Descolamento do telhado (>20%)   | 191 | 158 | 225 |
| 7  | Falha de ancoragem das fachadas  | 208 | 177 | 241 |
| 8  | Colapso da estrutura do telhado  | 219 | 190 | 254 |
| 9  | Danos graves às fachadas         | 233 | 193 | 269 |
| 10 | Deformação estrutural permanente | 338 | 291 | 431 |

#### DI 19 – Arranha-céus (mais de 20 andares)

##### Descrição Geral:

- Projetos arquitetônicos complexos, muitas vezes com formas não retangulares
- Coberturas planas ou com elementos estéticos
- Fachadas envidraçadas com paredes-cortina de metal/vidro
- Átrios com claraboias altas
- Exemplos: hotéis de luxo, torres corporativas e condomínios premium

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>             | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível               | 113                                                 | 93                                                   | 138                                                  |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%) | 138                                                 | 111                                                  | 172                                                  |
| 3          | Danos à casa de máquinas             | 150                                                 | 121                                                  | 179                                                  |
| 4          | Vidros quebrados (pisos inferiores)  | 163                                                 | 134                                                  | 193                                                  |
| 5          | Danos a paredes de parapeto          | 167                                                 | 140                                                  | 196                                                  |
| 6          | Falha de ancoragem das fachadas      | 208                                                 | 177                                                  | 253                                                  |
| 7          | Perda significativa de cobertura     | 230                                                 | 185                                                  | 266                                                  |
| 8          | Danos graves às fachadas             | 233                                                 | 198                                                  | 277                                                  |
| 9          | Colapso da estrutura do telhado      | 256                                                 | 198                                                  | 295                                                  |
| 10         | Deformação estrutural significativa  | 367                                                 | 306                                                  | 467                                                  |

DI 20 – Prédio institucional (hospital, governo ou universidade)

Descrição Geral:

- Exemplos: hospitais, tribunais, prédios universitários e governamentais
- Altura: 1-10 andares
- Estrutura em concreto armado

- Fachadas ornamentadas em alvenaria ou painéis pré-fabricados
- Pequenas aberturas de janelas (pouca área envidraçada)
- Elementos arquitetônicos como pórticos e varandas pesadas

(continua)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>             | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível               | 116                                                 | 95                                                   | 142                                                  |
| 2          | Perda de cobertura do telhado (<20%) | 138                                                 | 116                                                  | 175                                                  |
| 3          | Danos à casa de máquinas             | 148                                                 | 121                                                  | 179                                                  |
| 4          | Janelas/portas quebradas             | 153                                                 | 126                                                  | 185                                                  |
| 5          | Descolamento do telhado (>20%)       | 183                                                 | 153                                                  | 219                                                  |
| 6          | Componentes de fachada arrancados    | 190                                                 | 156                                                  | 225                                                  |
| 7          | Danos às paredes-cortina             | 211                                                 | 177                                                  | 245                                                  |
| 8          | Descolamento de lajes de cobertura   | 229                                                 | 191                                                  | 262                                                  |

(continuação)

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do dano</b> | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|

|    |                               |     |     |     |
|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| 9  | Descolamento de deck metálico | 235 | 190 | 274 |
| 10 | Colapso de paredes externas   | 238 | 204 | 277 |
| 11 | Comprometimento do envelope   | 338 | 286 | 431 |

## DI 21 - SISTEMAS DE EDIFÍCIOS METÁLICOS

### Descrição Geral

- Exemplos incluem armazéns, instalações industriais e pequenas arenas
- Paredes de painéis de metal e telhado com telhas de metal
- Quase sempre têm telhado em duas águas e paredes relativamente altas
- Portas grandes de sobrecarga
- Estruturas rígidas de grande vão com um único vão
- Purlins e girts em formato Z ou C entre as estruturas rígidas
- Cargas laterais resistidas por contraventamentos em X na direção paralela à cumeeira
- Estrutura de parede final relativamente fraca

(continua)

| DoD | Descrição do Dano                                         | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível                                    | 107,83                                       | 86,90                                         | 133,58                                        |
| 2   | Colapso para dentro ou para fora das portas de sobrecarga | 143,23                                       | 120,70                                        | 173,81                                        |

(continuação)

| DoD | Descrição do dano | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|-----|-------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|

|   |                                                                              |        |        |        |
|---|------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 3 | Painéis de metal do telhado ou paredes arrancados do edifício                | 152,89 | 125,53 | 193,12 |
| 4 | Falha na ancoragem das colunas                                               | 188,29 | 154,50 | 217,26 |
| 5 | Encurvamento dos purlins do telhado                                          | 189,90 | 152,89 | 222,09 |
| 6 | Falha dos contraventamentos em X no sistema de resistência a cargas laterais | 222,09 | 189,90 | 254,28 |
| 7 | Colapso progressivo das estruturas rígidas                                   | 230,14 | 193,12 | 270,37 |
| 8 | Destruição total do edifício                                                 | 249,45 | 212,43 | 286,46 |

## DI 22 – Cobertura de posto de serviço

### Descrição Geral

- As estações de serviço modernas consistem em um dossel muito grande que cobre toda a área da bomba e um pequeno edifício que abriga o espaço de caixa e varejo
- Estrutura de dossel construída com estrutura de viga de aço suportada em 4 ou mais colunas altas
- Painéis de metal cobrem o lado inferior do dossel
- Materiais leves, metal ou plástico, cobrem o perímetro do dossel

(continua)

| DoD | Descrição do Dano      | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limite de dano visível | 101,39                                       | 72,42                                         | 127,14                                        |

(continuação)

| DoD | Descrição do dano | Valor esperado da velocidade | Limite inferior da velocidade | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|
|-----|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|

|   |                                                      | do vento<br>(km/h) | do vento<br>(km/h) |        |
|---|------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------|
| 2 | Material da fachada arrancado do dossel              | 125,53             | 103                | 154,5  |
| 3 | Painéis metálicos do telhado arrancados              | 148,06             | 119,09             | 181,86 |
| 4 | Colunas dobras ou cedem sob carga de vento           | 175,42             | 141,62             | 217,26 |
| 5 | Dossel desabado devido à falha na fundação da coluna | 183,46             | 144,84             | 231,74 |

#### DI – 23 Armazém (paredes basculantes ou madeira pesada)

##### Descrição Geral

- Esta categoria inclui todos os sistemas de construção, exceto Sistemas de Edifícios Metálicos
- Exemplos incluem armazéns, edifícios de armazenamento e industriais
- Os edifícios são geralmente retangulares em planta, com telhados planos, em duas águas ou quatro águas
- Telhados construídos com cascalho, membrana de uma única camada, lastreados, fixados mecanicamente ou totalmente aderidos
- Construção de estrutura leve de aço com paredes de alvenaria estrutural
- Portas grandes de sobrecarga
- Colunas, vigas e tes duplas de concreto pré-moldado com painéis de parede tilt-up
- Construção de madeira pesada com paredes de studs e painéis de madeira

| DoD | Descrição do Dano                     | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível                | 109,44                                       | 88,51                                         | 133,58                                        |
| 2   | Perda de material de cobertura (<20%) | 133,58                                       | 111,04                                        | 168,98                                        |

|   |                                                                                                                         |        |        |        |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 3 | Colapso para dentro ou para fora das portas de sobrecarga                                                               | 141,62 | 120,70 | 172,20 |
| 4 | Elevação do deck do telhado; perda significativa de material de cobertura (>20%); perda de equipamentos HVAC no telhado | 165,76 | 141,62 | 196,34 |
| 5 | Colapso de outras paredes exteriores não estruturais                                                                    | 183,46 | 149,67 | 202,78 |
| 6 | Colapso de painéis de concreto pré-moldado tilt-up                                                                      | 199,56 | 164,15 | 231,74 |
| 7 | Destruição total de uma grande seção do edifício ou do edifício inteiro                                                 | 254,28 | 210,82 | 299,34 |

#### DI 24 – Torre de linha de transmissão

##### Construção Típica:

- Postes simples de madeira com braços cruzados de madeira
- Postes de aço ou concreto com braços metálicos
- Torres metálicas treliçadas

(continua)

| DoD | Descrição do Dano      | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível | 134                                          | 113                                           | 158                                           |

(continuação)

| DoD | Descrição do dano                 | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2   | Braço cruzado de madeira quebrado | 159                                          | 129                                           | 183                                           |

|   |                                    |     |     |     |
|---|------------------------------------|-----|-----|-----|
| 3 | Postes de madeira inclinados       | 174 | 137 | 209 |
| 4 | Postes de madeira quebrados        | 190 | 158 | 229 |
| 5 | Postes de aço/concreto danificados | 222 | 185 | 240 |
| 6 | Torres treliçadas colapsadas       | 227 | 187 | 265 |

#### DI 25 – Torre independente

##### Construção Típica:

- Postes metálicos únicos (torres de celular)
- Torres treliçadas (torres de microondas)

(continua)

| DoD | Descrição do Dano          | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Limiar de dano visível     | 148                                          | 122                                           | 182                                           |
| 2   | Torre de celular colapsada | 214                                          | 182                                           | 253                                           |

(continuação)

| DoD | Descrição do dano             | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 3   | Torre de microondas colapsada | 219                                          | 187                                           | 257                                           |

## DI 26 – Mastro independente (luz, bandeira, luminária)

### Construção Típica:

- Postes metálicos em balanço

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b> | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Limiar de dano visível   | 130                                                 | 108                                                  | 161                                                  |
| 2          | Poste dobrado            | 164                                                 | 137                                                  | 193                                                  |
| 3          | Poste colapsado          | 190                                                 | 159                                                  | 222                                                  |

## DI 27 - Árvore - madeira dura

### Descrição Geral

- Madeira de lei: Carvalho, Bordo, Bétula, Freixo

| <b>DoD</b> | <b>Descrição do Dano</b>                       | <b>Valor esperado da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite inferior da velocidade do vento (km/h)</b> | <b>Limite superior da velocidade do vento (km/h)</b> |
|------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | Galhos pequenos quebrados (até 1" de diâmetro) | 96,56                                               | 77,25                                                | 115,87                                               |
| 2          | Galhos grandes quebrados (1"-3" de diâmetro)   | 119,09                                              | 98,17                                                | 141,62                                               |
| 3          | Árvores arrancadas                             | 146,45                                              | 122,31                                               | 189,90                                               |

|   |                                                               |        |        |        |
|---|---------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 4 | Troncos partidos                                              | 177,03 | 149,67 | 215,65 |
| 5 | Árvores descascadas, restando apenas tocos dos maiores galhos | 230,14 | 197,95 | 268,76 |

## DI 28 - Árvore - madeira macia

### Descrição Geral

- Madeira macia: Pinheiro, Abeto, Pinheiro-abeto, Tsuga, Cedro, Sequoia, Cipreste

(continua)

| DoD | Descrição do Dano                              | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1   | Galhos pequenos quebrados (até 1" de diâmetro) | 96,56                                        | 77,24                                         | 115,87                                        |
| 2   | Galhos grandes quebrados (1" – 3" de diâmetro) | 120,7                                        | 99,77                                         | 141,62                                        |

(continuação)

| DoD | Descrição do dano                                             | Valor esperado da velocidade do vento (km/h) | Limite inferior da velocidade do vento (km/h) | Limite superior da velocidade do vento (km/h) |
|-----|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 3   | Árvores arrancadas                                            | 140,01                                       | 117,48                                        | 181,86                                        |
| 4   | Troncos partidos                                              | 167,37                                       | 141,62                                        | 206,0                                         |
| 5   | Árvores descascadas, restando apenas tocos dos maiores galhos | 210,82                                       | 180,24                                        | 246,23                                        |