



KARIN LINETE HORNES
ORGANIZADORA

TORNADOS NO BRASIL



TODAPALAVRA
editora

TORNADOS NO BRASIL

TODAPALAVRA EDITORA

EDITOR-CHEFE

Hein Leonard Bowles

COEDITOR

José Aparicio da Silva

CONSELHO EDITORIAL

- Dr. Alexandro Dantas Trindade (UFPR)
- Dra. Anelize Manuela Bahniuk Rumbelsperger (Petrobrás)
- Dr. Carlos Fortuna (Universidade de Coimbra)
- Dra. Carmencita de Holleben Mello Ditzel (UEPG)
- Dr. Christian Brannstrom (Texas A&M University)
- Dr. Claudio DeNipoti (UEPG)
- Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)
- Dra. Divanir Eulália Naréssi Munhoz (UEPG)
- Dr. Edson Armando Silva (UEPG)
- Dr. Hein Leonard Bowles (UEPG)
- Dr. José Augusto Leandro (UEPG)
- Dr. José Robson da Silva (UEPG)
- Dra. Joseli Maria Silva (UEPG)
- Dr. Kleber Daum Machado (UFPR)
- Dr. Luis Fernando Cerri (UEPG)
- Dra. Luísa Cristina dos Santos Fontes (UEPG)
- Dr. Luiz Alberto Pilatti (UTFPR)
- Dr. Luiz Antonio de Souza (UEM)
- Dra. Manuela Salau Brasil (UEPG)
- Dr. Marcelo Chemin (UFPR)
- Dra. Maria José Subtil (UEPG)
- Dra. Maria Zaclis Veiga (Universidade Positivo)
- Dra. Patrícia da Silva Cardoso (UFPR)
- Dr. Sérgio Luiz Gadini (UEPG)
- Dra. Silvana Oliveira (UEPG)
- Dr. Vanderlei Schneider de Lima (UEPG)
- Dra. Vera Regina Beltrão Marques (UFPR)
- Dr. Vitoldo Antonio Kozlowski Junior (UEPG)
- Dr. Wolf Dietrich Sahr (UFPR)

KARIN LINETE HORNES
ORGANIZADORA

TORNADOS NO BRASIL



TODAPALAVRA
editora

© 2022 Todapalavra Editora

| | | |
|--|----------------------|-------------------------|
| | REVISÃO | Pamela Isabel Oliveira |
| | SUPERVISÃO EDITORIAL | José Aparício da Silva |
| ASSESSORIA TÉCNICA DA ORGANIZADORA DA OBRA | | Jaqueline Estivallet |
| | | Armin Quast |
| CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO | | Dyego Marçal |
| | ILUSTRAÇÕES | Brendo Francis Carvalho |
| | FOTOGRAFIAS | Celso Dias |

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Tornados no Brasil / organização Karin Linete
Hornes. -- Ponta Grossa, PR : Todapalavra, 2022.

ISBN 978-65-89612-03-2

1. Tornados 2. Tornados - Brasil I. Hornes, Karin
Linete.

22-121362

CDD-551.5530981

Índices para catálogo sistemático:

1. Tornados : Brasil 551.5530981

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Todapalavra Editora

Rua Xavier de Souza, 599

Ponta Grossa - Paraná - 84030-090

Telefones: (42) 3226-2569 / (42) 98424-3225

E-mail: todapalavraeditora@todapalavraeditora.com.br

Site: www.todapalavraeditora.com.br

DEDICATÓRIA

Em especial, a minha família, meus pais Geraldo e Isolde, minha irmã Eliete, meus sogros, meu esposo Adalberto e meus filhos, Erick e Robert, que são meu porto seguro em meio às tempestades. A todos os autores que gentilmente contribuíram para que esta obra pudesse ser concretizada. Aos amigos que sempre estão dispostos a falar de tempestades.

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGG-UEPG e à Capes, à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) por todo apoio durante a realização das pesquisas. E a você, leitor, que admira estas trovoadas.



COM AS
TEMPESTADES
DA MINHA VIDA
APRENDI A
SOBREVIVER

*Tempestades e redemoinhos.
Que ligam o céu a terra.
Incontroláveis.
Remoem, retorcem e elevam ventos.
Quebram, destroem e modificam a lavra.
Por quê? Para quê?
Quem nunca admirou e sentiu o poder do céu?
Quem nunca na vida sofreu uma tempestade?
Turbilhões ao mesmo tempo.
Dançar e chorar na tempestade.
A vida é como o céu.
Você pode ter dias coloridos.
Mas, em um dado momento, tornados aparecem.
Por quê? Para quê?
Para que você aprenda a dançar na tempestade.
E para que descubra que, depois delas, o Sol aparece.
Por quê? Para quê?
Para que você se sinta vivo.
A vida é uma tempestade.
Às vezes você vê tempestades, em outros
momentos, você é a tempestade.
Vida
Tempo
Tempestade*

Karin Linete Hornes





APRESENTAÇÃO

A concepção da presente obra teve início quando sua organizadora se deparou com a atividade de dois tornados: um Dust Devil próximo a Brasília-DF e outro, do tipo múltiplo vórtice, ocorrido no município paranaense de Marechal Cândido Rondon, ambos no ano de 2015. Esta última atividade, em especial, despertou um grande interesse em entender o acontecimento, bem como os fatores que o propiciaram e as regiões que são mais suscetíveis. No campus de Marechal Cândido Rondon, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), este violento fenômeno meteorológico foi estudado e documentado pela organizadora desta obra com a ajuda dos acadêmicos do curso de Geografia-Licenciatura, alguns desses com o apoio da Fundação Araucária (FA). Averiguou-se nas pesquisas que a população não sabia reconhecer o tornado, menos ainda como se proteger dele. Diante desse contexto, foram realizadas diversas atividades no sentido de unir pesquisa e extensão, como contribuição para preparação diante desse tipo de fenômeno. O Grupo de Estudos de Desastres Naturais e Socioambientais (GEDENS) e o Laboratório de Ensino de Leitura e Escrita Acadêmica (LABLEEA), sob direção da professora Mirian Schröder, trabalharam em conjunto com o poder público (Corpo de Bombeiros, Prefeitura Municipal e Defesa Civil), a fim de instruir a população a respeito do que fazer em caso de tempestades severas. Em 2019, a organizadora desta obra foi transferida para a Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. No entanto, os estudos sobre tornados

se mantiveram, por meio dos projetos de pesquisa Tornados no Paraná e Desastres Naturais e Socioambientais no Brasil. Essas pesquisas contaram com a colaboração dos acadêmicos do curso de Geografia, Adriano Kapp Junior e Karina Estaski, os quais, mesmo nunca tendo presenciado o fenômeno, desenvolveram fascínio por essa demonstração da força da natureza e vieram somar conhecimento.

O tema desastres está intimamente relacionado à ciência geográfica que proporciona uma leitura socioambiental indissociável do espaço. Diante das dificuldades de se encontrar literaturas que se debruçam a respeito da ocorrência de fenômenos tornádicos no Brasil é que se almeja, nesta obra, apresentar um pouco da “geografia dos tornados no Brasil”. Estabeleceu-se uma construção por meio de parcerias, assim, a obra conta com a prestimosa atuação da técnica em meteorologia, caçadora e pesquisadora de tornados e tempestades Jaqueline Estivallet; do fotógrafo de tempestades severas Celso Dias; do bombeiro militar do Estado do Paraná Adalberto Ben-Hur Bischof Junior e do geógrafo e desenhista Brendo Francis Carvalho. Não podemos deixar de mencionar o apoio da Universidade Estadual de Ponta Grossa, do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da UEPG, do Museu de Ciências Naturais da UEPG e do Programa de Apoio à Pós-Graduação (Proap) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por disponibilizar o recurso necessário para a sua produção.

A intenção do presente livro é apresentar conceitos básicos de formação de tempestades tornádicas, bem como elucidar atividades que ocorreram no Brasil, a fim de sensibilizar para a temática, uma vez que muitas pessoas desconhecem a presença de tornados no país. A proposta também deixa indicações de como se proteger em caso de tempestades severas.

PREFÁCIO

Não é de hoje que os fenômenos naturais fascinam pela força demonstrada e, ao mesmo tempo, intrigam desafiando para que conheçamos mais sobre suas características, por que ocorrem, padrões de repetição, a decodificação de detalhes que permitam ampliar o conhecimento da humanidade acerca da sua existência.

O Brasil, por muitos anos, foi anunciado como um país onde desastres não ocorriam com frequência – refiro-me aos naturais, obviamente, porque há alguns antropogênicos de natureza social que o acompanham na história de longa data. O fato é que, nas últimas décadas, foram percebidos com maior intensidade e de forma recorrente eventos naturais severos capazes de imporem consequências catastróficas às pessoas, ao setor produtivo, às cidades.

Dúvidas foram suscitadas acerca das escolhas pretéritas em relação à ocupação do espaço urbano sobre o ecossistema natural da forma como ocorrera durante o crescimento desordenado, experimentado recentemente pela maioria das grandes cidades brasileiras.

Dentre esses eventos, os tornados ganharam destaque notadamente pelo aumento da sua frequência percebida em algumas regiões do país. Esses eventos com grande capacidade de destruição podem mesmo ocorrer no Brasil? Por que acontecem? Quais as áreas mais suscetíveis? Quais as características que possuem?

Por todo esse histórico demonstrado nessa reflexão inicial, pesquisadores brasileiros passaram a se dedicar com maior afinco após serem sensibilizados pela deflagração desses episódios. Grupos de estudiosos se organizaram voltando-se ao estudo multidisciplinar da temática que engloba a física por se tratar de um evento meteorológico, a geografia, a

redução/gestão de riscos e desastres (sinistrologia), quando, dessa intersecção há efeitos que determinam danos e prejuízos de grande monta. Além disso, a economia, as engenharias, a aviação, a saúde, a agricultura, dentre outras áreas aqui não mencionadas, seguramente se preocupam com a ocorrência desses eventos, pois sofrem direta ou indiretamente seus impactos.

Neste livro, intitulado: **Tornados no Brasil**, é possível encontrar uma obra que se dedica com grande assertividade a apresentar o tema aos interessados a partir do compartilhamento de saberes iniciado por uma abordagem às tempestades. A mim, particularmente, esses eventos sempre causaram sensações que misturam euforia e medo. A primeira por testemunharmos a força da natureza com toda a energia envolvida no processo que causa uma cadeia de acontecimentos que envolve desde a formação das nuvens, a variação dos ventos, o ruído estrondoso das trovoadas e os flashes típicos dos relâmpagos. O segundo, obviamente, pela percepção que toda essa demonstração de força impõe ao ambiente natural a destruição que se estende, por conseguinte, ao ambiente construído, antrópico e vulnerável. A normalidade costuma se alterar antes, durante e após tais eventos não apenas para os seres humanos, mas todos que compõem a natureza costumam demonstrar alterações de comportamento diante desses episódios.

O conteúdo da obra convida à leitura agradável não restrita somente aos estudiosos dessas áreas mencionadas, mas possibilita, até mesmo a leigos que querem aprender algo sobre tornados, um primeiro contato e entendimento com o tema. Ilustrações onde aparecem fotografias separadas dos cliques feitos pela própria organizadora e seus colaboradores demonstram em imagens alguns dos conceitos apresentados.

A presença de conteúdo decorrente das pesquisas que somam mais de sete anos de realização, mesmo havendo mudança de universidade e local de estabelecimento pela Professora Karin Linete Hornes – pesquisadora que organiza a obra -, lastreia o material conferindo-lhe traços confiáveis a cada definição.

Aliás, a Professora Karin tem se destacado na liderança dos estudos pela busca de respostas, do entendimento especialmente dos eventos dessa natureza ocorridos nos estados do Paraná e Santa Catarina, nos trabalhos que tem conduzido. Seus alunos que integram os projetos de pesquisa e as disciplinas que propôs junto aos programas de pós-graduação *stricto sensu* e até mesmo na graduação dedicadas aos tornados, aos riscos e desastres, foram contagiados pela sua paixão pelo tema, percebida também nas linhas que compõem este livro, alguns dos quais participam da elaboração de capítulos.

Aos leitores que se preparam para esse primeiro contato com a obra lendo este Prefácio, deixo a mensagem que, a partir dos olhos de um Gestor Urbano e Oficial do Corpo de Bombeiros Militar que se dedica há mais de duas décadas à busca e aprimoramento do conhecimento sobre emergências, desastres, catástrofes que afetam a todos nós, mesmo que de forma indireta, a abordagem proporcionada pelos autores trará plenas condições de conhecer mais sobre os tornados desmitificando algumas premissas quanto à ocorrência desses eventos no Brasil e, ainda, entendendo quais as variáveis, condições e características que lhe proporcionam o status de eventos que chamam a atenção e exercem fascínio sobre muitos de nós, exigindo atenção multidisciplinar à prevenção e enfrentamento dos seus diversos efeitos.

Eduardo Gomes Pinheiro

Doutor e Mestre, com Pós-Doutorado em Gestão Urbana pela PUCPR

Especialista em Redução do Risco de Desastre e Desenvolvimento

Local Sustentável CIF/OIT – ONU

Fundador do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

do Paraná e da Rede Estadual de Pesquisa, Ensino, Extensão e

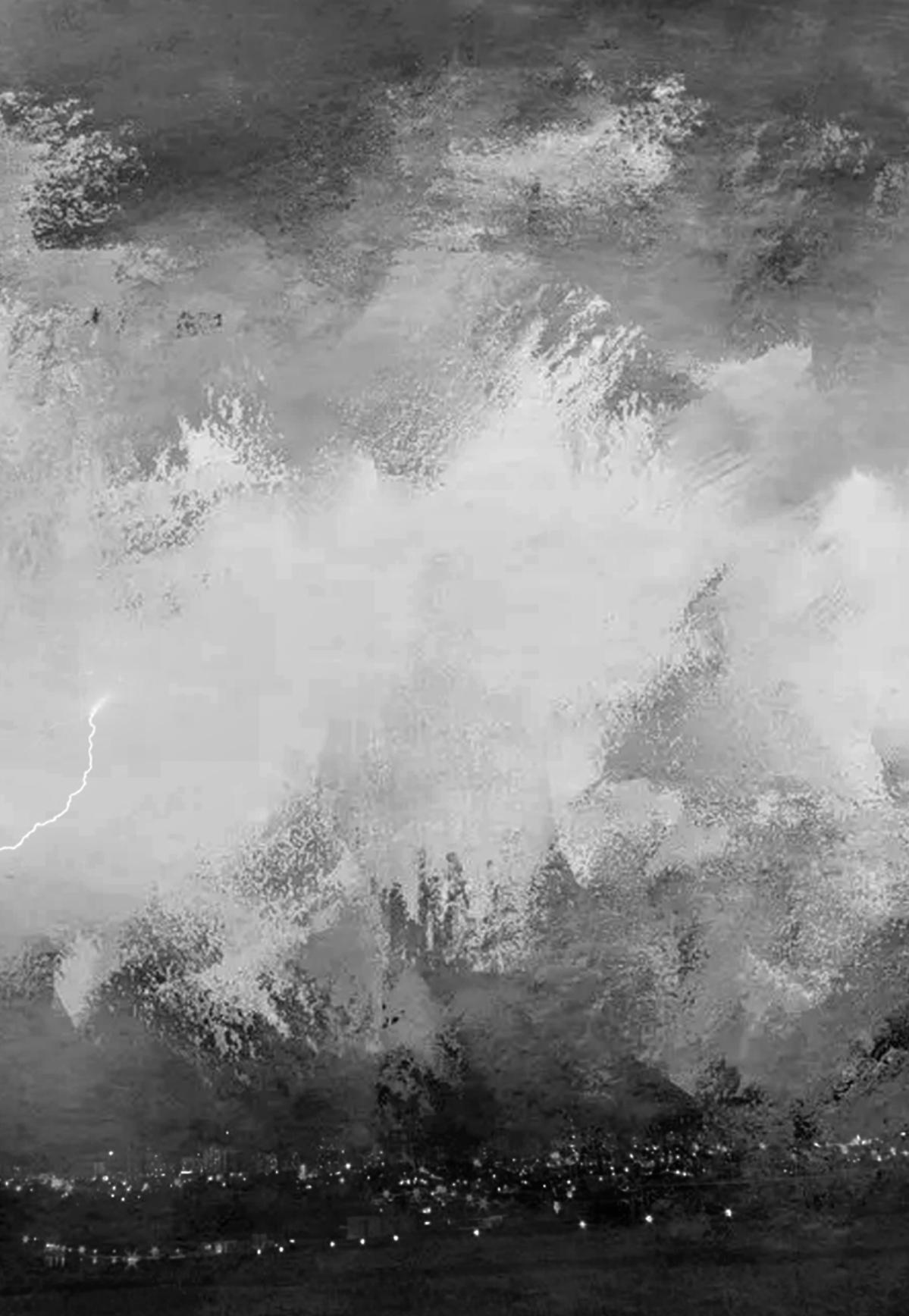
Inovação Tecnológica voltada à Redução de Riscos de Desastres - Redesastre

Oficial Superior do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná



SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| 1 TEMPESTADES | 17 |
| 2 O QUE É UM TORNADO? | 37 |
| 3 ELEMENTOS ENVOLVIDOS NA GÊNESE DE UM TORNADO | 45 |
| 4 QUAIS SÃO OS TIPOS DE TORNADO? | 75 |
| 5 EXISTEM TORNADOS NO BRASIL? | 89 |
| 6 QUAL É A VELOCIDADE DE UM TORNADO? | 101 |
| 7 COMO SE PROTEGER DE TEMPESTADES SEVERAS? | 113 |
| SOBRE OS AUTORES | 122 |





TEMPESTADES

*Karin Linete Hornes
Karina Estaski
Adriano Kapp Junior*

As tempestades exprimem uma das maiores manifestações de força da natureza. O fenômeno atmosférico possui a capacidade de produzir rajadas de ventos, mudanças repentinas de temperatura, precipitações intensas, raios, trovões, granizos, tornados e furacões. Essas ocorrências podem representar sérias perturbações no funcionamento de comunidades, acarretando perdas econômicas, ambientais e humanas. Diante do potencial de força, desperta medo, mas também admiração pelo poder de transportar sedimentos e mudar completamente as paisagens por onde atuam. Tempestades são uma constante no Brasil. Mas onde elas ocorrem? Todos os continentes são assolados por esse fenômeno?

Figura 1 - Tempestade sobre o município de Cascavel-PR

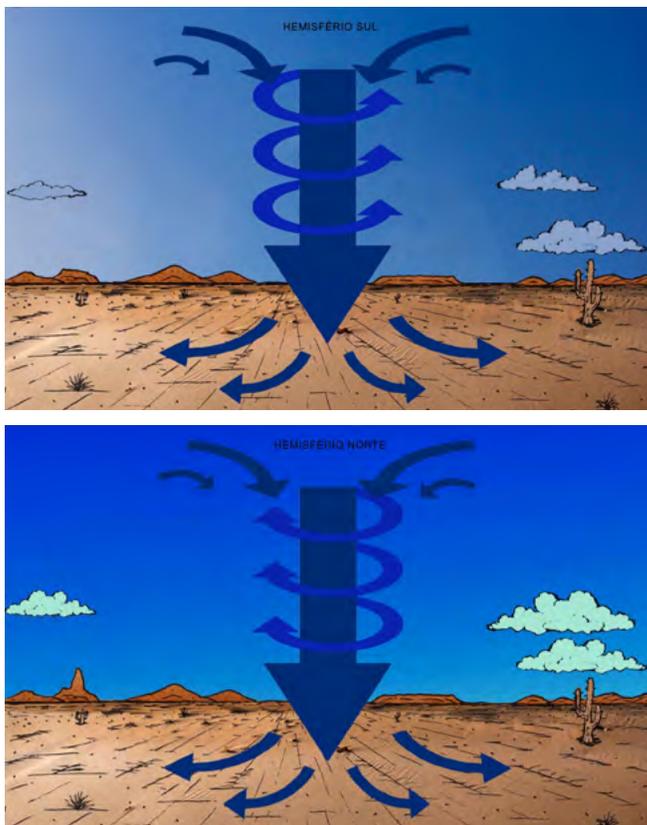


Fonte: Celso Dias (12 de agosto de 2017).

Tempestades são atividades atmosféricas que podem ser observadas em todas as regiões do mundo. No entanto, são raras em locais onde há atuações de anticiclones (áreas de alta pressão) estacionários, pois esses sistemas funcionam como “ventiladores”, espalhando a umidade através de ventos divergentes (Figura 2). O movimento do ar gerado parte em direção ao solo retirando umidade da superfície e levando-a para outros pontos. Isso inibe a formação de nuvens com potencial de precipitação como as *Cumulonimbus*, e, por sua vez, tempestades.

Os locais mais propícios do globo terrestre a apresentar tempestades são as áreas de baixa pressão, onde podem ser encontrados ciclones.

Figura 2 - Movimento descendente do ar em um anticiclone

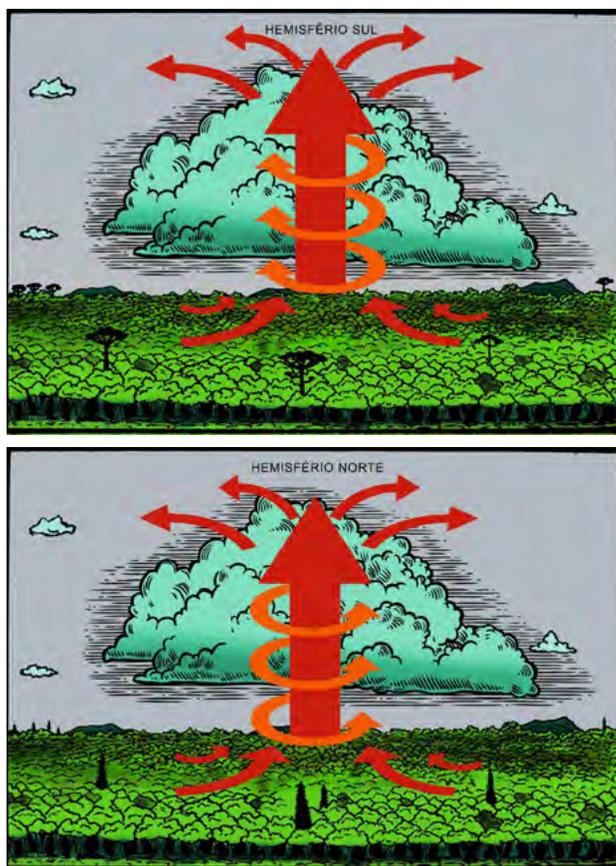


Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).



Essas áreas “sugam” o ar da superfície como “aspiradores”, elevando a umidade a altos níveis da atmosfera com temperaturas mais frias, proporcionando a aglutinação das partículas e sua condensação, ocasionando a formação de nuvens (Figura 3). Os ciclones podem ser extratropicais, tropicais ou subtropicais. Todos possuem o poder de afetar o tempo de determinadas regiões, causando mudanças na temperatura, nebulosidade, precipitação, direção e intensidade dos ventos. O que os diferencia são a gênese e as características adquiridas no decorrer de seus ciclos de vida (REBOITA *et al.*, 2017).

Figura 3 - Movimento ascendente do ar em um ciclone



Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

Na circulação geral da atmosfera, é possível identificar as áreas com menor e maior propensão a tempestades. Na região de latitude de 20° a 35° (subtrópicos), em ambos os hemisférios, há a atuação de um cinturão de alta pressão próximo à superfície, originado pela subsidência da célula de Hadley, dificultando a formação de nuvens, por conseguinte, tempestades. Exemplos no Hemisfério Sul são os desertos do Kalahari, no Sul da África, Atacama, no Chile, e Outback, na Austrália.

Já na região equatorial, ventos originados da alta pressão subtropical deslocam-se para o Equador em superfície e convergem-se, possuindo deflexão para a esquerda no Hemisfério Sul (ventos alísios de sudeste) e para a direita no Hemisfério Norte (ventos alísios de nordeste). A convergência dos ventos alísios, somada ao intenso aquecimento solar da região, favorece a ascensão do ar e o transporte de umidade para os altos níveis da atmosfera. Esses fatores propiciam a formação de nuvens de grande crescimento vertical que se estendem até a alta troposfera. Na faixa equatorial, configura-se uma banda de nebulosidade, denominada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), onde se encontram as áreas de ocorrência dos chamados *Doldrums* (Figura 4), que registram geralmente ventos de baixas intensidades e tempo nublado e chuvoso, localidade de frequentes tempestades (YNOUE *et al.*, 2017). No Brasil, essa situação pode ser vislumbrada na Região Amazônica.

Se desconsiderássemos o movimento de rotação da Terra e sua inclinação, teríamos apenas a Célula de Hadley atuando no planeta. Essa única célula seria constituída pelos ventos frios provindos dos Polos e ventos quentes gerados no Equador. No entanto, a rotação da Terra e sua inclinação possibilitam o efeito da força de Coriolis, e, assim, outras cé-

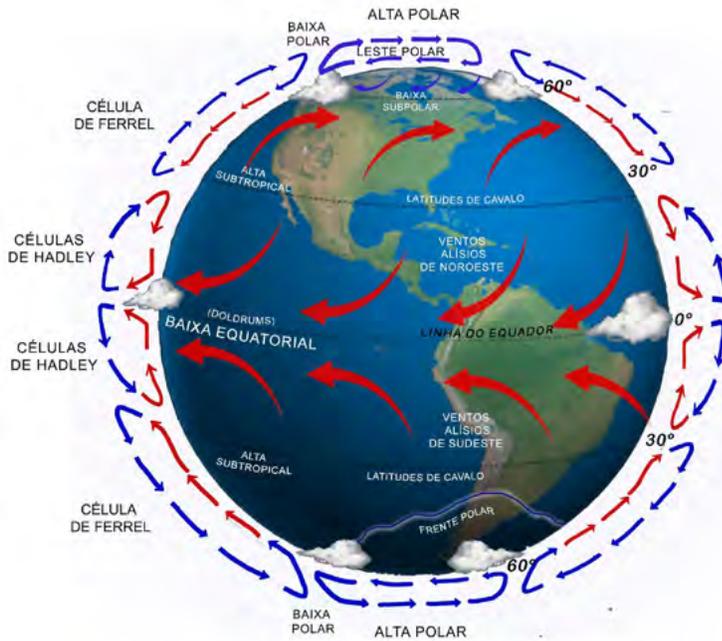


lulas são formadas (Figuras 4 e 5). Entre estas estão a Polar, nas latitudes em torno de 60° a 90° , a Ferrel, também denominada Alta Subtropical, na latitude de 30° a 60° , e por fim, a de Hadley, na latitude de 0° a 30° . Essas grandes células são responsáveis por determinar a constante atuação e direção dos ventos, logo das massas de ar que interferem na dinâmica das tempestades.

As massas de ar são unidades aerológicas, ou seja, são porções da atmosfera de grande extensão que possuem características térmicas e higrométricas homogêneas, variando de centenas a alguns milhares de quilômetros (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Elas estão associadas e recebem influência das grandes células de circulação atmosférica. As massas possuem características semelhantes de origem, proporcionando uma homogeneidade de pressão e temperatura; no entanto, quando estas se deslocam pela superfície terrestre, tendem a perder tais características.

A célula Polar é caracterizada por apresentar alta pressão. O contato entre a célula de Ferrel e a Polar permite o aparecimento de uma área de baixa pressão causada justamente pela diferença de temperatura, pressão e umidade destas. Assim, surge mais uma região propícia a tempestades (Figuras 4 e 5). Mas é necessário destacar que as oscilações dos Solstícios e Equinócios podem alterar a constância, contrair e expandir essas atividades para outros pontos, sem contar o relevo e a atuação de ciclones e anticiclones que também alteram essa dinâmica, que não é estática. Diferentes estações do ano propiciam a entrada ou distanciamento de sistemas sinóticos como ciclones e anticiclones que oscilam e movimentam a circulação atmosférica.

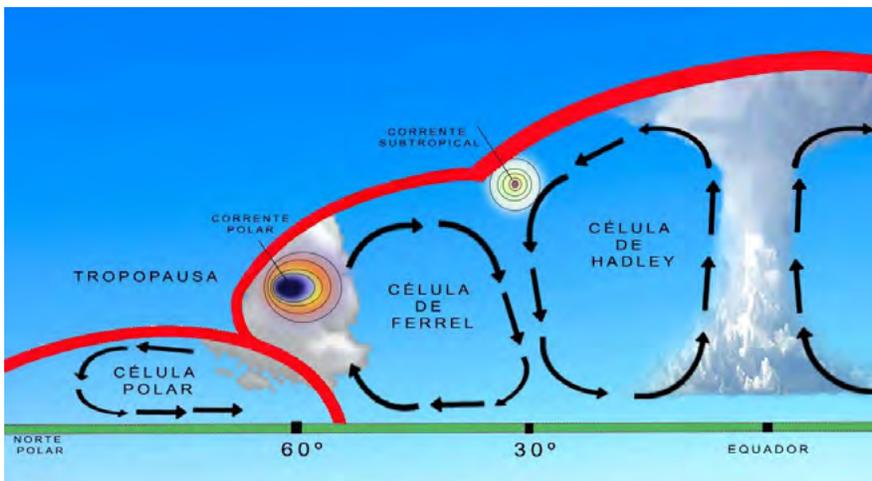
Figura 4 - Circulação Geral da Atmosfera



22

Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

Figura 5 - Perfil latitudinal da Circulação Geral da Atmosfera

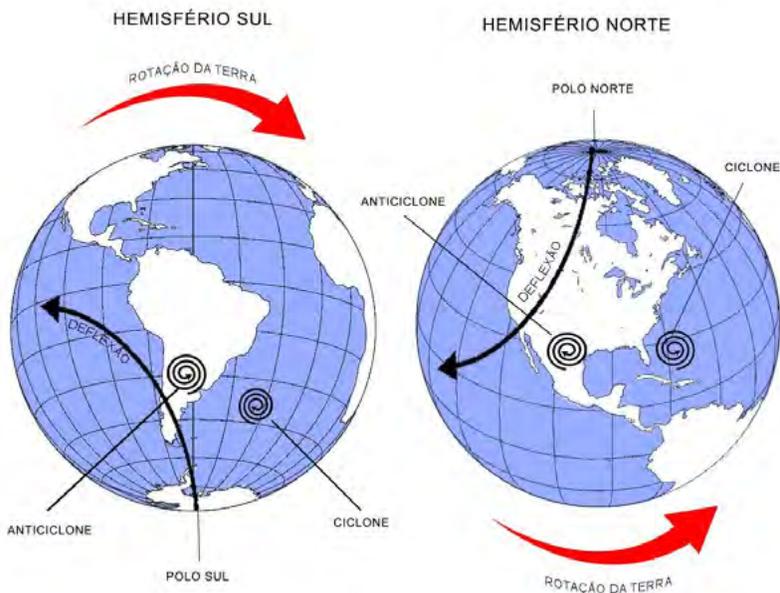


Autor: Brendo Francis Carvalho (2022).



Em cada hemisfério, a força de Coriolis acaba contribuindo para o fenômeno de deflexão, ou seja, para um desvio rotacional das massas de ar e dos corpos d'água de grande extensão (Figura 6). A circulação atmosférica é afetada pelo movimento e inclinação do eixo da Terra, e por consequência pelo efeito de Coriolis. Assim, a circulação oscila interferindo na dinâmica das massas de ar e resulta na formação de ciclones e anticiclones, que tendem a girar em sentidos diferentes a depender do hemisfério. Os ciclones movimentam-se no sentido horário no Hemisfério Sul, e no sentido anti-horário no Hemisfério Norte (NOAA, 2019). De forma contrária, os anticiclones movem-se no sentido anti-horário no Hemisfério Sul e horário no Hemisfério Norte (FUNCEME, 2021).

Figura 6 - Deflexão

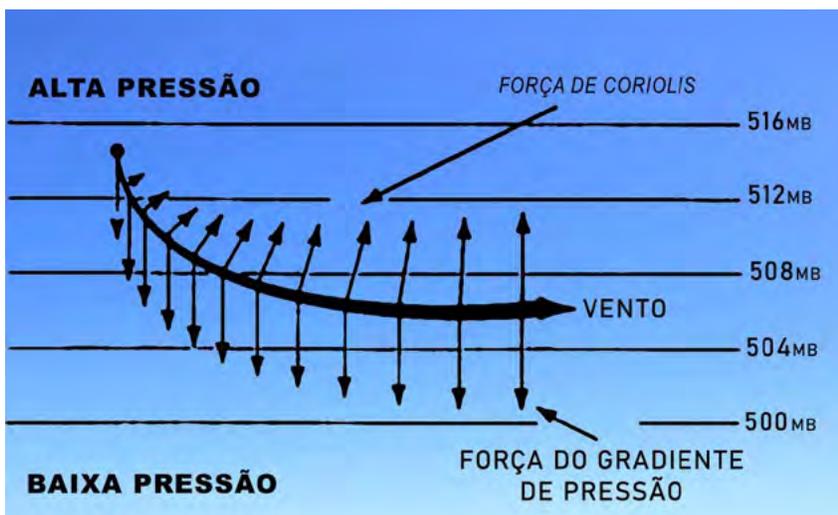


Autor: Brendo Francis Carvalho (2022).

Os anticiclones e ciclones apresentam pressões diferentes devido à variação de aquecimento da Terra, que possibilita a formação do vento, sendo o movimento das partículas de ar de uma dada porção para outra (GEOGRAPHY, 2021). Além do vento que atua junto a superfície da Terra e sofre o atrito dela, existe o vento geostrófico (Geo = Terra, Strophic = Giro), que se caracteriza por soprar a alguns quilômetros acima (Figura 7) da área omissível de atrito da superfície terrestre. Eles resultam da tentativa de equilíbrio entre as forças dos diferentes gradientes de pressão e temperatura e a força de Coriolis. As partículas de ar começam a ser aceleradas da área de maior pressão para a área de menor pressão. A força de Coriolis interfere na deflexão do movimento da baixa e da alta pressão lhe formatando uma curvatura. Esses ventos sopram de forma paralela e podem ser identificados através das isóbaras (linhas de mesma pressão) e por isolinhas. (GEOGRAPHY, 2021).

24

Figura 7 - Vento Geostrófico



Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

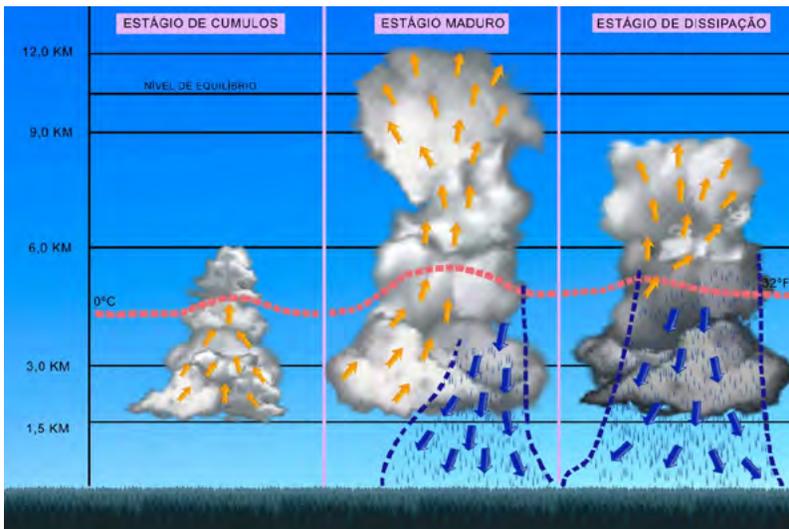


A busca pelo equilíbrio térmico da Terra através do movimento de anticiclones e ciclones, que quando imbuídos de umidade e com condições especiais de temperatura e pressão, proporcionam a condensação do vapor d' água e por conseguinte podem permitir a formação das *Cumulonimbus*. Estas possuem grande e rápido crescimento vertical, podendo aparecer de forma isolada ou agrupada. O fenômeno é caracterizado por muita chuva, rajadas de vento, raios, trovoadas, granizo, e em situações extremas, ocorrência de tornados (YNOUE *et al.*, 2017; AHRENS, 2009).

Wallace e Hobbs (2006) descrevem que o ciclo de vida de uma tempestade compreende essencialmente três estágios (figura 8):

- **Cumulus:** em que a nuvem consiste inteiramente de correntes de ar ascendentes;
- **Maduro:** caracterizado pela presença de correntes ascendentes, bem como o início da precipitação e por consequência correntes descendentes. É o momento mais intenso da tempestade;
- **Dissipação:** a corrente ascendente é inibida pela precipitação e substituída pela descendente.

Figura 8 - Estágio de uma tempestade



Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

As tempestades tendem a ocorrer quando a atmosfera está termodinamicamente instável e com energia potencial disponível. Elas são mais comuns no período da tarde e no anoitecer, com maior atuação nas estações da primavera e verão (NOAA, 2022). Durante o período da tarde, a energia disponível é convertida em movimento de ascensão do ar. Este, quente e úmido, eleva-se para as camadas mais altas e instáveis. O ar ascendente pode ser uma porção que varia em volume, porém sempre mais quente e menos denso do que o ar que o cerca. Isso desencadeia uma força de baixo para cima, provocando sua ascensão. Quanto mais quente a porção é em comparação com o ar ao seu redor, maior é a força ascendente. O ar que se eleva resfria-se e torna-se mais denso, em conjunto com a precipitação, desencadeia uma força de cima para baixo, gerando assim uma corrente descendente em direção ao solo (AHRENS, 2009; COSTA, 2014).

As tempestades podem apresentar-se de várias formas. Pardo *et al.* (2012) as classificam em três tipos: unicélula, multicélula ou supercélula.

UNICÉLULA

Há outras denominações para este tipo de tempestade, como comum, simples ou tempestade de massa de ar. Esta atividade é proporcionada por pequenas células (Figura 9) que possuem diâmetros de 10 a 20 km, alcançam altitudes de 6 a 20 km e movem-se com velocidades de até 50 km/h. Seu tempo de vida é breve, com duração inferior a uma hora. No entanto, esse período é o suficiente para o registro de precipitação e relâmpagos, mas que raramente geram danos graves (AHRENS, 2009).



Figura 9 - Unicélula em Ponta Grossa - PR



Fonte - Karin Linete Hornes (18 de março de 2022).

Sua formação dá-se por pequenas nuvens *Cumulonimbus* isoladas, de convecção local (Figura 10) e com condições de fraco cisalhamento vertical do vento (NETO, 2014).

Figura 10 - Convecção local em Cascavel - PR



Fonte: Celso Dias (8 de março de 2018).

MULTICÉLULAS

Estas são aglomerados de células que se propagam no espaço e interagem entre si. Essa dinâmica favorece a formação de novas células e dissipação de antigas ao longo de seu ciclo de vida (SAKURAGI, 2017).

Uma característica das tempestades multicelulares é a presença de uma frente de rajada, onde o ar quente e úmido da camada-limite é levantado pelo ar denso e frio, que diverge quando as correntes descendentes atingem a superfície. À medida que a frente de rajada avança, ocorre a formação de novas células, sustentando assim a tempestade multicelular.

Figura 11 - Multicélulas em Cascavel - PR



Fonte: Celso Dias (17 de outubro de 2019).

Essas tempestades formam-se em ambientes com forte cisalhamento vertical. Quando as correntes ascendentes atingem a tropopausa, espalham-se lateralmente, levando os cristais de gelo e formando uma bigorna. Em alguns casos, essa corrente é tão intensa que ultrapassa a tropopausa e forma um domo de nuvem (Figura 12), os chamados *overshootings* (QUEIROZ, 2009).



Figura 12 - Overshooting em uma nuvem Cumulonimbus



Fonte: Jaqueline Estivallet (Porto Alegre – RS, 4 de novembro de 2005).

NOAA (2021) aponta que as células individuais dessas tempestades têm duração de 30 a 60 minutos, enquanto o sistema como um todo pode durar muitas horas. As tempestades multicelulares podem produzir granizo, ventos fortes, breves tornados e/ou inundações.

A ascensão do ar quente desencadeia a redução da pressão atmosférica da superfície, facilitando a convergência de ar em baixos níveis e a divergência em altos (LOBO, 2019). Quando esse processo é imbuído de umidade e há constância no aquecimento do ar, pode atingir o seu nível de condensação com saturação e umidade relativa igual a 100% (LOBO, 2019). Nesse nível o ar atingiu o seu ponto de orvalho, onde se processa a condensação e a liberação de calor latente, fonte para o desenvolvimento de atividades convectivas (LOBO, 2019). Dependendo das condições atmosféricas, pode ocorrer a precipitação líquida ou sólida. Quando há muita liberação de calor latente provocada pela condensação de ar muito

quente e úmido, ocorre também um forte gradiente horizontal e barométrico. Esse processo promove cargas energéticas diferenciadas no topo, no meio e na base da nuvem, devido à temperatura, estado e movimento das partículas, proporcionando o aparecimento de raios. Parte da base da nuvem (Figura 13) fica carregada positivamente e possui temperaturas entre 5 e 10 °C, no entanto há variações na temperatura de base das nuvens a depender das estações do ano ou da altitude do local, na altitude de 6 mil metros pode-se encontrar temperaturas em torno de -5 °C (ROBERT; HOUZE, 2014). O meio da nuvem apresenta uma carga negativa e temperatura de aproximadamente -15 °C, e seu topo pode variar entre -40 °C, chegando até a -111 °C (temperatura negativa recorde detectada em imagem de satélite) (SSEC, 2021). Quanto mais negativa a temperatura de topo, mais propensão a tempo severo haverá.

O granizo forma-se quando as gotas de água provenientes do vapor condensado são rapidamente elevadas por correntes de ar ascendentes a altas altitudes na região interna das nuvens *Cumulonimbus*. Em intensas convecções, o granizo, ao cair por seu próprio peso, absorve mais umidade nas camadas inferiores da nuvem e é novamente arrastado para altitudes com temperaturas mais frias, onde sofre novo congelamento ou acaba se conglomerando. O processo se repete, até que o peso do gelo ultrapasse a força ascendente, provocando sua precipitação. Esse tipo de granizo é denominado “saraiva” (BRASIL, 2003).

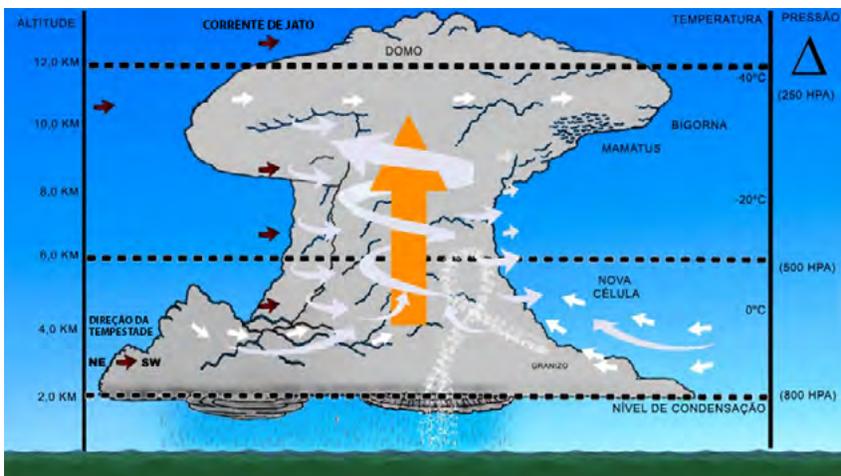
Pesquisas realizadas em operações de voo demonstram que a presença de granizo em uma *Cumulonimbus* é variável conforme a altitude e o vento. Abaixo do nível de voo equivalente a 3 km (*Flight Level* FL 100), é provável que o granizo seja encontrado sob a tempestade ou ao redor dela, com probabilidade de 25%. Entre 3 km e 6 km aproximadamente, a porcentagem de granizo aumenta para 60% dentro da nuvem e 40% em suas proximidades. Acima de 6 km (FL 200), a porcentagem sobe para



80% na localidade da bigorna e 20% em suas proximidades (AIRBUS, 2016).

Essas situações também se repetem nas supercélulas (Figura 13).

Figura 13 - Supercélula



Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

As precipitações de granizo e saraiva são comuns em atividades tornádicas. Bem como a presença de nuvens do tipo *Mammatus* (Figura 14) e as *Shelf Clouds* (prateleiras ou nuvens de parede) acompanhando o sistema. Estas podem ser visualizadas na Figura (15).

As violentas correntes de ar mantêm o granizo suspenso na nuvem por tempo suficiente para eles crescerem até um tamanho considerável. Visto que são grandes o suficiente, estes podem “cair” da nuvem com ajuda da corrente descendente, ou a corrente ascendente giratória pode “arremessá-los” para fora da nuvem (AHRENS, 2009).

Figura 14 - Nuvens Mammatus em Cascavel-PR



32

Fonte: Celso Dias (Cascavel - PR, 27 de dezembro de 2018).

Figura 15 - Shelf Clouds



Fonte: Karin Linete Hornes (Shangrilá - PR, 12 de janeiro de 2018).



TEMPESTADE SUPERCÉLULA

As tempestades de supercélulas são potencialmente mais perigosas do que os outros tipos de tempestade convectiva. Podem produzir ventos fortes, granizo e tornados. A característica de diferenciação é a presença de uma corrente ascendente rotacional (WEISMAN; KLEMP, 1986). A rotação induz a formação de um mesociclone (baixa pressão) dentro da corrente ascendente (WALLACE; HOBBS, 2006). Um mesociclone é um vórtice em rotação ciclônica, com cerca de 2 a 10 km de diâmetro. Esse não é um ciclone de mesoescala qualquer, pois é associado especialmente a uma tempestade convectiva. Os mesociclones são normalmente identificados em conjunto com correntes ascendentes em tempestades de supercélulas (AMS, 2012).

A corrente ascendente rotacional que alimenta a supercélula pode apresentar-se até 20 a 60 minutos antes da formação de um tornado, que se mostra muito pequeno diante da supercélula. Geralmente, os grandes tornados são gerados a partir desse tipo de tempestade (NOAA, 2021).

33

Figura 16 - Supercélula próxima ao Estádio Olímpico Regional Arnaldo Busatto em Cascavel-PR



Fonte: Celso Dias (Cascavel - PR, 9 de fevereiro de 2020).

Embora as tempestades de células comuns e as multicelulares possam produzir tempo severo, as supercélulas são as que mais possuem propensão de infligir danos, logo mais prejudiciais (BLUESTEIN, 2013).

Várias cidades brasileiras sofrem constantemente com tempestades violentas, reconhecer a atuação do fenômeno é o primeiro passo para poder realizar um planejamento que leve em consideração a gestão do uso do solo, melhorias na infraestrutura urbana, equidade e justiça social, para que possamos ter resiliência (MENDONÇA; LIMA, 2020).

REFERÊNCIAS

34

AHRENS, C. D. **Meteorology today: an Introduction to Weather, Climate, and the Environment**. 9. ed. Belmont: Brooks/Cole and Cengage Learning, 2009.

AIRBUS. **Optimum Use of Weather Radar**. 2016. Disponível em: https://www.smartcockpit.com/docs/Optimum_Use_Of_The_Weather_radar.pdf. Acesso em: 29 mar. 2021.

AMS, American Meteorological Society. **Mesocyclone**. 2012. Disponível em: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Mesocyclone>. Acesso em: 15 jun. 2021.

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

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Desastres Volume I: Desastres Naturais**. Brasília, 2003.

COSTA, M. N. M. **Episódio De Tempo Severo Em Brasília-DF: Importância De Fatores Locais No Desenvolvimento De Convecção Profunda**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.



FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Glossário**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario>. Acesso em 19 jan. 2021.

GEOGRAPHY. **Geostrophic winds**. Disponível em: <https://geography.name/geostrophic-winds/>. Acesso em 31 maio 2022.

INPE/ELAT, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Grupo de Eletricidade Atmosférica. **Tipos de tempestades**. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/tipos.php>. Acesso em: 3 fev. 2021.

LOBO, P. R. V. **Meteorologia e oceanografia para usuário navegante**. Volume I. Rio de Janeiro: LCT, 2019.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, F.; LIMA, D. V. (Org.). **A cidade e os problemas socioambientais urbanos**. Uma perspectiva interdisciplinar. Curitiba: Ed. UFPR, 2020.

NETO, C. P. S. da. **Abordagem descritiva de topo de Sistemas Convectivos baseada em combinações de diferenças de temperatura de canais METEOSAT-9 e modelo numérico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA – 20. **Sees Low-Pressure System Spinning off the coast of South America**. June 20, 2019. Disponível em: <https://www.nesdis.noaa.gov/news/noaa-20-sees-low-pressure-system-spinning-the-coast-of-south-america>. Acesso em: 30 maio 2022.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Thunderstorm Types**. 2021. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/types>. Acesso em: 24 maio 2021.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Thunderstorm Basics**. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/>. Acesso em: 31 mar. 2022.

PARDO, N. M. S. *et al.* Análise de um episódio de tempestade severa e o seu impacto nos dias 3 e 4 de novembro de 2007 no estado de São Paulo – Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 49, p. 199-211, 2012.

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

REBOITA, M. S. *et al.* Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte II – Estudo de Casos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 509-542, 2017.

36

ROBERT, A.; HOUZE JR. Chapter 8 - Cumulonimbus and Severe Storms. **International Geophysics**, v. 104, p. 187-236, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123742667000081>. Acesso em: 31 maio 2022.

SAKURAGI, J. **Estudo da morfologia das tempestades severas em 3D e potencial aplicação em Nowcasting**. 2017. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

SSEC. Space Science and Engineering Center. **Universtiy of Wisconsin-Madison. Coldest cloud temps recorded by Weather satellite**. Eric Verbeten; 14 maio, 2021. Disponível em: <https://www.ssec.wisc.edu/news/articles/13654>. Acesso em: 30 mai. 2022.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: an Introductory Survey**. 2. ed. Canadá, Academic Press, 2006.

WEISMAN, M. L.; KLEMP, J. B. Characteristics of isolated convective storms. *In*: RAY, P. S. (ed.). **Mesoscale Meteorology and Forecasting**. Boston: American Meteorological Society, 1986. p. 331-358.

YNOUE, R. Y. *et al.* **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.



O QUE É UM TORNADO?

*Karin Linete Hornes
Adriano Kapp Junior
Karina Estaski*

Figura 1 - Tornado em Tubarão-SC (16 de fevereiro de 2008)



Fonte: Juliano Ramos (2008).

Tornado (Figura 1) é um violento distúrbio atmosférico que se manifesta através do giro fugaz de um vórtice de ar, o qual possui contato com uma nuvem *Cumulonimbus* e com a superfície terrestre. É a parte de uma nuvem instável e com alto cisalhamento do vento que mantém interação com a camada de ar mais próxima da superfície.

O fenômeno é geralmente visualizado como uma nuvem em formato de funil. Isso ocorre quando o déficit de pressão é baixo o suficiente para que o vapor d'água se condense. No entanto, quando o ar está muito seco ou a pressão não é baixa o suficiente para que o funil de condensação se forme e estenda até o solo, o tornado pode ser visualizado como uma coluna de poeira ou detritos rotativos, ou não observado se não houver partículas visíveis disponíveis para serem suspensas. Há também ocorrências em que o fenômeno é envolto pela precipitação, tornando-se “invisível” ou visível apenas de determinados ângulos (BLUESTEIN, 2013). Cabe destacar que a luminosidade solar também pode interferir na sua identificação. Durante a noite, o funil é mais difícil de ser detectado.

Nem sempre a coluna de ar rotativa toca o solo propriamente dito, ou possui velocidade suficiente para causar danos, mas pode atingir e gerar avarias em estruturas mais elevadas, como em prédios, casas, galpões, postos de gasolina, ou até mesmo árvores, onde a alta rotação poderá ser estabelecida. Nesses casos, o fenômeno recebe a classificação de tornado. De forma contrária, o não estabelecimento de contato com uma estrutura ou solo classifica-o somente como uma nuvem funil (Figura 2). O registro de nuvens funis é comum no Brasil.

Figura 2 - Nuvem funil em Cascavel-PR (15 de novembro de 2018)



Fonte: Celso Dias (2018).



Atuações tornádicas já foram reportadas em cinco dos seis continentes, sendo a Antártida a única exceção. Destaca-se que o fenômeno já foi relatado nos 50 estados dos EUA (NOAA, 2021). Beck e Verzenhassi (2008) apontaram que a segunda maior região propensa a tornados do mundo localiza-se no sudeste da América do Sul, compreendendo Paraguai, a região Nordeste da Argentina, Uruguai e as regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Há denominações distintas para o fenômeno a depender da sua área de origem. Quando se formam no continente, são classificados como tornados. Já em áreas hídricas, tais como rios, lagos e oceanos, o vórtice de ar levanta uma coluna d'água, e a designação passa a ser tromba d'água.

O diâmetro da maioria dos tornados varia entre 100 e 600 m, no entanto alguns podem ser menores, enquanto outros podem atingir e até mesmo ultrapassar 1,6 km. Geralmente, o fenômeno tem duração de apenas alguns minutos (média de 10) e percurso de cerca de 7 km. Entretanto há casos de tornados que percorreram centenas de quilômetros e duraram algumas horas (AHRENS, 2009).

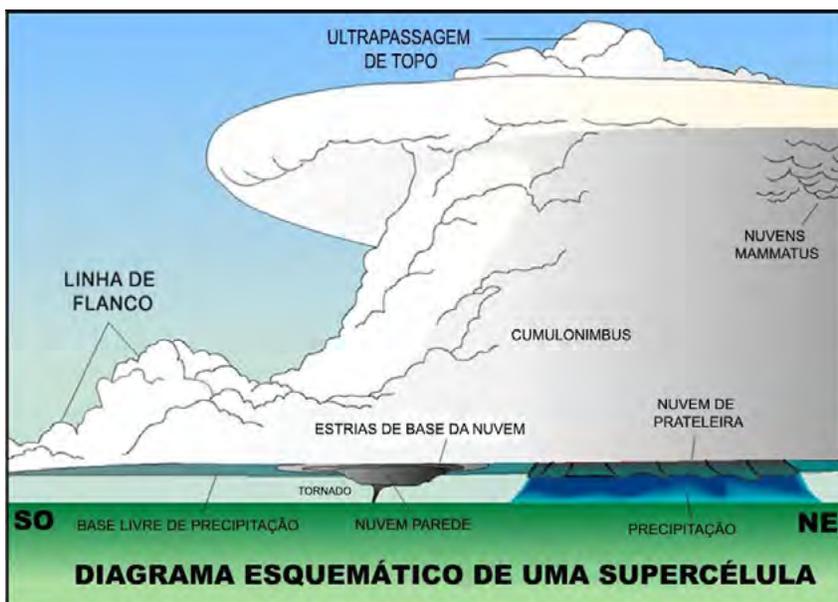
A ocorrência de tornados e trombas d'água estão relacionadas à instabilidade atmosférica, presença de umidade e fortes ventos na alta troposfera. Em razão disso, a pressão pode sofrer quedas bruscas, o que potencializa o poder destrutivo dos tornados e, em alguns casos ele “explode” casas devido as diferenças de pressão entre os ambientes e os ventos de grande intensidade (VIANELLO; ALVES, 2000).

Como relatado no capítulo anterior, os tornados estão geralmente associados à supercélulas (Figura 3), sendo o resultado de um forte e profundo cisalhamento vertical de vento (BLUESTEIN, 2013). Nesse tipo de tempestade, o cisalhamento pode ser tão forte a ponto de criar um vórtice em rotação ciclônica com cerca de 2 a 10 km de diâmetro e extensão vertical significativa. Esse vórtice é denominado mesociclone. Os mesociclones são frequentemente encontrados em conjunção com correntes ascendentes nas supercélulas e podem provocar vários tornados ao mesmo tempo (AMS, 2012; AHRENS, 2009).

Ynoue *et al.* (2017) apontam que em uma supercélula (Figura 3) inicialmente ocorre a rotação horizontal do ar (Figura 4); em seguida, fortes correntes ascendentes na tempestade inclinam o ar que está girando horizontalmente, modificando o eixo para a vertical. A coluna estreita de ar em rotação então alonga-se em direção à superfície, e uma porção da base da nuvem projeta-se para baixo (Figura 4), formando uma nuvem parede (*Wall Cloud*). A formação da parede de nuvem (Figura 3) ocorre quando o ar úmido e frio, proveniente das zonas de precipitação, está descendo em direção às correntes ascendentes que alimentam o sistema convectivo. As nuvens em forma de funil que geram os tornados são formadas quando um vórtice estreito e com rápida rotação emerge da base da parede de nuvem, geralmente possuindo aparência escura devido à condensação e também à elevação de poeira e detritos da superfície.

40

Figura 3 - Diagrama esquemático de uma supercélula



Fonte: Brendo Francis Carvalho, Modificado de NOAA (2022).

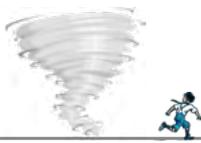
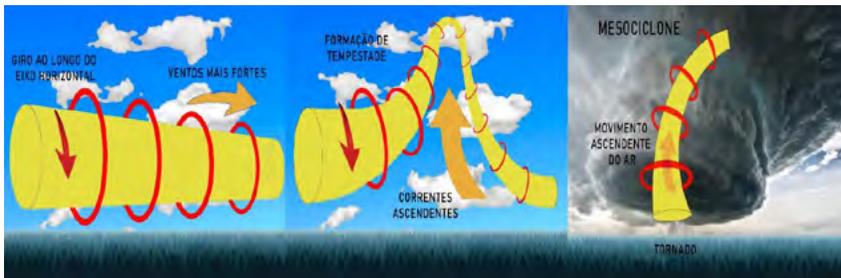


Figura 4 - Representação da formação de um tornado: (A) os ventos são mais intensos em maiores alturas e produzem um movimento em forma de rolo sobre o eixo horizontal; (B) fortes correntes ascendentes na tempestade inclinam o ar que estava girando horizontalmente; (C) estabelece-se o mesociclone, um tubo vertical de ar em rotação; se a parede de nuvem tocar o chão, forma-se um tornado



Fonte: Brendo Francis Carvalho, Modificado de PWM (2019) e Ynoue et al. (2017).

A situação meteorológica anterior à passagem de um tornado é de instabilidade de ventos, e, após, normalmente ocorre elevada precipitação pluviométrica, queda da temperatura, ventos constantes e, em alguns casos, granizo.

Outro fato a ser destacado é que tornados já foram observados em diversos tipos de relevo, incluindo áreas de grande altitude. No entanto o fenômeno é mais comum em regiões de baixas altitudes, pois áreas mais elevadas geralmente possuem menor disponibilidade de umidade, sendo esse um fator importante para o desenvolvimento de uma tempestade tornádica. Além disso, os efeitos do atrito de superfície são diferentes, o que pode afetar a natureza dos tornados. Bem como a canalização do ar e outras características influenciadas pelo relevo impactam o cisalhamento vertical do vento, aumentando-o ou diminuindo-o, logo as chances de formação de um tornado podem ser maximizadas ou minimizadas (BLUESTEIN, 2013).

A identificação de uma atuação tornádica é complexa, no entanto “assinaturas” facilitam sua constatação. O “caminho da lágrima”, ou caminho da destruição (Figura 5), 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 (Figura 6), 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.

42

Figura 5 - Caminho de destruição de um tornado em meio à vegetação em Tangará-SC



Fonte: Defesa Civil de Santa Catarina/YouTube (2020).

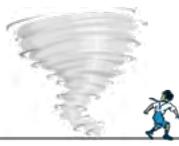


Figura 6 - Danos de uma atuação tornádica em Água Doce - SC em 14 de agosto de 2020



Fonte: Defesa Civil de Santa Catarina/YouTube (2020).

O som também pode ser utilizado para determinar a passagem de um tornado. Muitos produzem um barulho distinto que pode ser ouvido por quilômetros de distância, mesmo quando eles não são visíveis. A intensidade do som torna-se mais alta quando o tornado toca o solo, sendo geralmente descrito com similaridade a um trem cargueiro em movimento, silos funcionando ou um forte estrondo. Já ocorreram relatos, inclusive, de modificações da pressão interna do ouvido, provocando zumbido e surdez temporária.

REFERÊNCIAS

AHRENS, C. D. **Meteorology today**: an Introduction to Weather, Climate, and the Environment. 9. ed. Belmont: Brooks/Cole and Cengage Learning, 2009.

AMS, American Meteorological Society. **Glossary of Meteorology**: mesocyclone. 2012. Disponível em: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Mesocyclone>. Acesso em: 16 jun. 2021.

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

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

DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA. Destruição causada pelos Tornados de SC. **YouTube**. 1 vídeo (6min44s) 16 de ago. de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Wjo4WqrQN8c>. Acesso em: 7 jun. 2022.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Tornadoes**. Disponível em: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/tornadoes>. Acesso em: 26 maio 2021.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **“Textbook” Supercell Schematic**. Disponível em: <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/suprcell.htm>. Acesso em: 25 jul. 2022.

PWM, People’s Weather Map. Tornado. 2019. Disponível em: <https://peoplesweathermap.org/tornado/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

RAMOS, J. Tornado em Tubarão 16 de fevereiro de 2008. **G1 - Globo Comunicações**. Disponível em: <https://g1.globo.com/VCnoG1/foto/0,,13342454-EX,00.jpg>. Acesso em: 31 maio 2022.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000. 449p.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M. da. **Meteorologia**: noções básicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.



ELEMENTOS ENVOLVIDOS NA GÊNESE DE UM TORNADO

Karin Linete Hornes
Jaqueline Estivallet
Adriano Kapp Junior
Karina Estaski

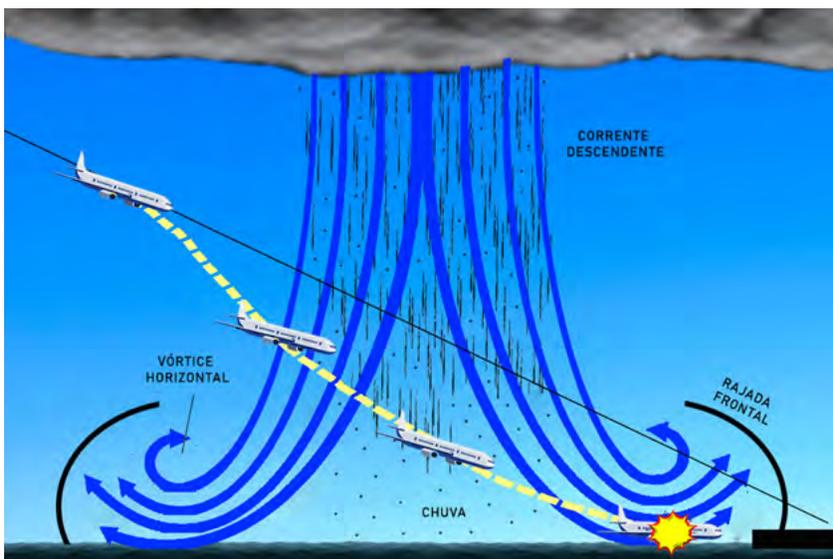
As tempestades severas são assim classificadas devido à potencialidade de seus fenômenos. A Administração Oceânica e Atmosférica Nacional, instituição meteorológica dos Estados Unidos da América, adota como severas as tempestades que atendam aos seguintes critérios: rajadas de vento superiores a 93 km/h; granizo de 2,52 cm de diâmetro, ou maior, e ocorrência de um tornado (NOAA, 2016). Cabe destacar que é comum a presença de intensa precipitação capaz de produzir inundações bruscas, além de um grande número de descargas atmosféricas que podem representar perigo.

Tempestades dessa magnitude costumam produzir *downbursts* – em português, explosões descendentes –, fenômeno meteorológico que ocorre quando uma forte coluna densa de ar frio descende em direção ao solo e, ao colidir-se, provoca uma forte explosão de ventos divergentes.

Os *downbursts* são subdivididos em *macroburst* (macroexplosão) e *microburst* (microexplosão), de acordo com sua escala horizontal de ventos. O *macroburst* trata-se de uma grande explosão com ventos que se estendem a mais de 4 km horizontalmente, com duração de 5 a 30 minutos, e que podem chegar a velocidades de até 216 km/h. O *microburst* refere-se a uma pequena explosão com ventos que atingem uma distância de 4 km ou menos. Ainda que seja relativamente pequeno em escala horizontal, ao atingir o solo com máxima intensidade pode causar ventos de até 270 km/h. As microexplosões

foram responsáveis por diversos acidentes aéreos (Figura 1) e representam grande perigo, pois a rápida variação de velocidades do vento pode trazer instabilidade às aeronaves (FUJITA, 1985).

Figura 1 - Downburst



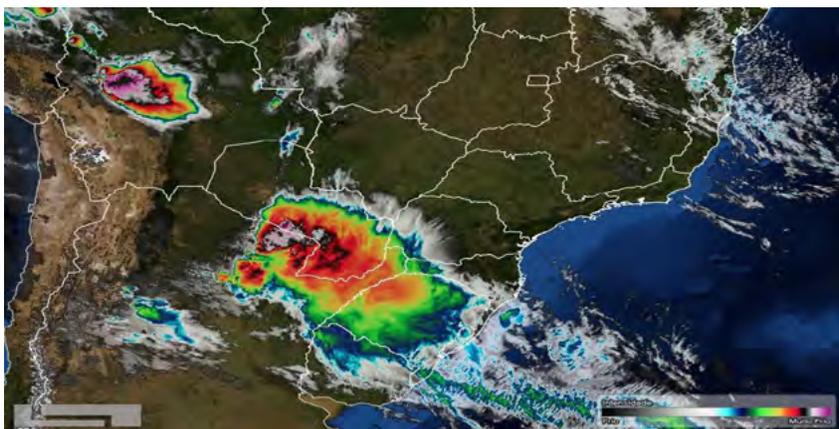
Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

Os *downbursts* são responsáveis por danos localizados. Devido a isso, são frequentemente confundidos com tornados, mas o fenômeno não apresenta funil, sendo caracterizado por abruptas correntes descendentes de ar que colidem com o solo (NWS, 2020).

A gênese de um tornado está associada à atuação de sistemas atmosféricos de convecção, como os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs). Estes são agrupamentos de nuvens *Cumulonimbus* (Figura 2), que podem persistir por horas, intensificando-se ou enfraquecendo a depender dos fatores da região de atuação. Eles estão relacionados a pequenas células convectivas organizadas de maneira linear, circular, até grandes células amorfas (BARRY; CHORLEY, 2013; AHRENS, 2009).



Figura 2 - Exemplo de um Sistema Convectivo de Mesoescala, que se desenvolveu na noite do dia 25 de novembro de 2020 e persistiu até a manhã do dia 26 (visualização através de uma imagem de satélite GOES)



Fonte: SIMEPAR (2020).

Os Sistemas Convectivos Lineares ou Linhas de Instabilidade (LIs) são uma frequente forma dos SCMs. Consistem em um alinhamento ou curvamento estreito de células *Cumulonimbus* contínuas, ou mais ou menos contínuas, que podem atingir centenas de quilômetros de extensão. Em latitudes subtropicais e médias, as LIs (Figura 3) são frequentemente associadas a situações frontais, aparecendo no setor quente ou frio, paralelas ou perpendiculares a uma frente. Podem originar-se de linhas de células convectivas dispersas, que com o passar do tempo têm seus vazios preenchidos por novas células (BARRY; CHORLEY, 2013; MASTER, 2022).

As LIs começam como células convectivas intensas e evoluem para um sistema mais amplo. O tempo de vida de uma LI depende fortemente do cisalhamento vertical do vento em baixos níveis (diferentes velocidades de vento de acordo com a altitude), pois este promove uma vida mais longa para o sistema, o que desencadeia condições de tempo mais

severo (MASTER, 2022). Nessa perspectiva, células podem agrupar-se ao longo da frente da alta superficial, e, durante a formação de novas células, podem ocorrer tornados pela interação próxima das correntes frias descendentes (afluxo) e ascendentes (influxo) (BARRY; CHORLEY, 2013).

Figura 3 – Imagem de Radar Meteorológico Doppler, no qual é possível visualizar uma linha de instabilidade atuando sobre o estado do Paraná e Santa Catarina



Fonte: SIMEPAR (2021).

As linhas de instabilidade estão frequentemente associadas às *Shelf Clouds* (Figura 4), ou nuvens-prateleira. Essas nuvens demarcam uma fronteira entre as correntes descendentes e ascendentes de uma tempestade, ou linha destas. O ar resfriado pela precipitação desce em direção ao ar mais quente e úmido da região frontal, e este é levantado na borda principal da tempestade sobre o ar resfriado pela chuva. À medida que o ar quente e úmido condensa, forma-se uma nuvem-prateleira.



Figura 4 – Shelf Clouds Cascavel-PR (4 de abril de 2022)



Fonte: Celso Dias (2022).

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são outra forma de organização dos SCMs. Consistem em grandes células amorfas, geradas a partir de células inicialmente isoladas. Desenvolvem-se durante a noite e atingem sua maturidade durante a madrugada (BARRY; CHORLEY, 2013). Os CCMs são áreas de baixa pressão que se desenvolvem na América do Sul geralmente na região do Chaco, que compreende o sudeste da Bolívia, norte da Argentina e Paraguai. Estes podem deslocar-se em direção a sudeste, leste ou nordeste, dependendo da posição dos sistemas de baixa pressão atuantes no Atlântico, atingindo frequentemente o Sul e Sudeste do Brasil. Esses complexos possuem capacidade para gerar chuvas fortes, ventos, granizo e, em algumas situações, tornados (VESILIND, 2004).

Kapp Junior (2021) verificou a presença desses complexos em atividade nas ocorrências dos tornados em 19 de novembro de 2015 nas cidades de Chapecó-SC, Treze Tílias-SC e Marechal Cândido Rondon-PR. Estaski (2021) também evidenciou a atuação de um tornado, em 20 de outubro de 2016, em Ponta Grossa-PR, em proximidade com o avanço de um complexo.

Blanchard (1990) aponta que os SCMs possuem uma variedade de características espaciais e adota outros dois padrões de convecção além de LIs e CCMs: os sistemas oclusos e caóticos. Os sistemas convectivos em oclusão crescem individualmente e resultam da oclusão frontal, exibindo limites que separam massas de ar com diferentes características térmicas e higrométricas. Já os sistemas convectivos caóticos surgem de um padrão caracterizado por numerosas células convectivas, que se desenvolvem de forma aparentemente irregular em um curto período de tempo.

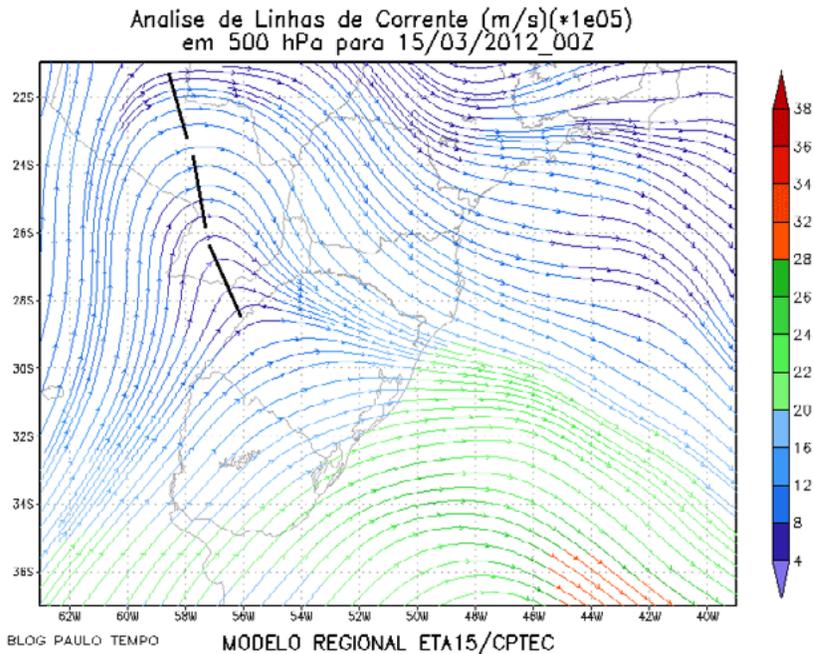
Todos esses sistemas podem proporcionar condições ideais para o desenvolvimento de tempo severo e tornados. Mas cabe destacar que alguns outros sistemas atmosféricos também possuem relação direta com episódios de tempo severo e condições propícias à formação de tornados, como os cavados e jatos de baixos e altos níveis.

Os cavados (Figura 5) representam áreas de instabilidade atmosférica onde ocorrem ondulações dos fluxos de ventos no sentido horário no Hemisfério Sul, como também uma tendência de queda da pressão atmosférica. Isto faz com que o ar suba com grande rapidez formando áreas de tempo instável. Quando uma frente fria avança sobre um cavado ela pode formar uma faixa de chuva ao longo da sua superfície frontal, desencadeando tempo severo (PEGORIM, 2016).

Esse sistema pode ocorrer em diferentes níveis da atmosfera, como em superfície ou sobrepostos até níveis mais elevados. Isso ao mesmo tempo e em qualquer época do ano. Em algumas situações, pode ocorrer a passagem de vários pequenos cavados em poucos dias, configurando “ondas curtas” ou “cavados de onda curta”. Dependendo das condições de temperatura e umidade em uma região, a passagem de um cavado pode causar muita instabilidade, com chuvas fortes. Em uma carta meteorológica, pode ser visualizado por sucessivas linhas isóbaras paralelas que apresentam curvatura, tecnicamente demarcado por uma linha tracejada reta que divide ao meio a região do cavado. Áreas de instabilidade formam-se a leste do sistema (PEGORIM, 2016).



Figura 5 - Atuação de um cavado sobre o Paraguai



Fonte: CPTEC (2012).

As correntes de jato são áreas de fortes ventos concentrados em uma faixa relativamente estreita na troposfera superior, com alguns milhares de quilômetros em comprimento, centenas de quilômetros em extensão e alguns quilômetros de profundidade. Elas se comportam como “rios sinuosos”, fluindo ao redor do globo na direção Oeste-Leste em uma velocidade superior a 93 km/h e podem chegar a mais de 300 km/h. Ocorrem devido às mudanças de temperatura do ar, quando o ar polar frio que se move para o Equador encontra o ar equatorial quente que está se movendo para o Polo. Entre as correntes,

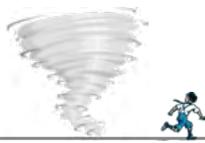
estão os jatos de altos e baixos níveis (INMET, 2021; MONTEIRO, 2007).

Os Jatos de Altos Níveis (JANs) são uma banda concentrada e irregular de ventos que ocorrem em ambos os hemisférios, influenciando diversos sistemas meteorológicos superficiais. A largura dos JANs situa-se entre 160 e 480 km, espessura entre 900 e 2150 m, e suas velocidades podem exceder 300 km/h. Geralmente os JANs tendem a enfraquecer no verão e se fortalecer no inverno (CHRISTOPHERSON, 2012). Há duas formas de JANs: o Jato Subtropical (JST) e o Jato Polar (JP) (ESCOBAR, 2009).

De acordo com Pezzi *et al.* (1996), o Jato Polar não é muito regular, sendo caracterizado por um forte gradiente horizontal de temperatura na região entre 35 °S e 70 °S de latitude. Valente (2015) afirma que a altura do JP é proporcional à temperatura da massa de ar a que este está associado; assim, quanto menor for essa temperatura, mais baixo estará o fluxo de ar. O JP desloca-se para latitudes mais baixas durante o inverno acompanhando as frentes frias. Essa é sua época de maior intensidade. No verão, minimiza-se, retornando para a região do Ártico ou da Antártida.

O Jato Subtropical está associado à circulação da Célula de Hadley e, geralmente, fica localizada no limite polar dessa célula, entre as latitudes de 20 °S a 35 °S. Essa corrente é mais regular, porém sofre alterações de posição conforme a variabilidade sazonal. O JST desloca-se para o Equador no inverno e para o limite polar da célula de Hadley no verão (PEZZI *et al.*, 1996; VALENTE, 2015).

Os Jatos de Baixos Níveis (JBN) podem ser definidos como sistemas de ventos com altas velocidades. Estão entre um ou dois quilômetros acima da superfície e têm uma extensão horizontal de aproximadamente 500 km. Na América do Sul, os JBN são responsáveis pelo transporte de umidade da Amazônia e do Atlântico Tropical para a Região Sul do Brasil, Uruguai, Paraguai e norte da Argentina. Esse



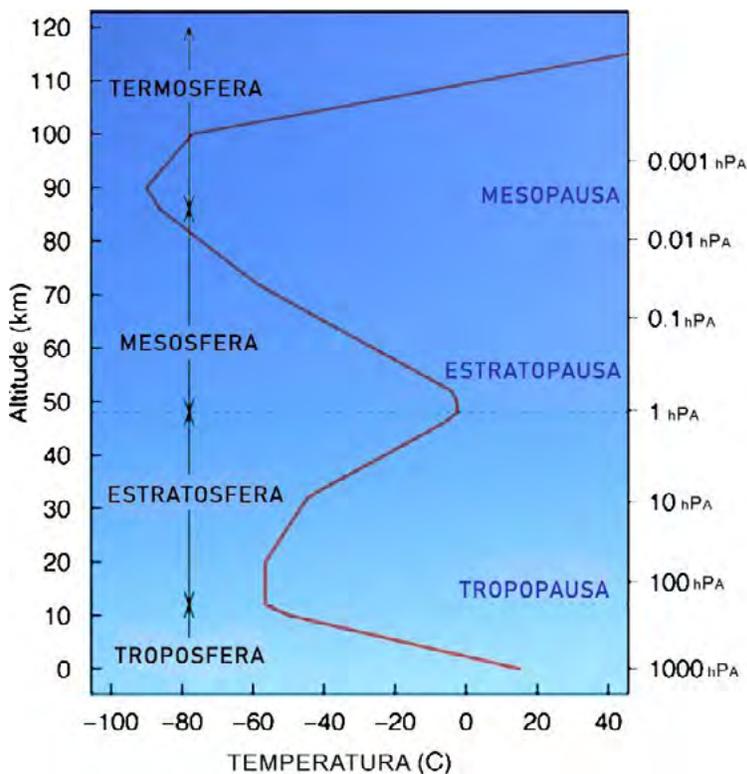
sistema pode ser associado com o desenvolvimento de CCM (MARENCO; SOARES, 2002).

Segundo Valente (2015), algumas ocorrências de eventos extremos de precipitação podem estar diretamente correlacionadas com a intensidade dos JBN. As situações tornádicas evidenciadas por Hornes e Balicki (2018), Estaski (2021) e Kapp Junior (2021) apresentaram a atuação de Jatos de baixos níveis nas ocorrências.

Todos os sistemas convectivos anteriormente citados produzem o que se denomina de CAPE, energia potencial convectiva disponível, ou *Convective Available Potential Energy* (Figura 6). Vieira (2022) traz um excelente exemplo de como o CAPE funciona. Ele associa essa energia a de um carrinho de montanha-russa que está em seu ponto mais alto, com uma dada energia disponível conforme sua altura. No ponto mais alto, o carrinho possui energia potencial que vai sendo convertida em energia cinética no momento em que o carrinho inicia a descida. Quando estamos no alto da montanha, o carrinho move-se mais lentamente, aumentando a velocidade à medida que descemos. O CAPE possui esse princípio, e sua energia está relacionada à variação vertical da temperatura de uma região da atmosfera. Quanto maior esse valor, que chamamos de gradiente, maior será o índice do CAPE, e como consequência mais verticalizadas serão as nuvens, e assim maiores serão as possibilidades de tempo severo.

A variação da temperatura faz com que o ar fique mais denso ou menos denso. Isso altera a pressão e proporciona movimentos de convecção. Quanto maiores forem as diferenças de temperatura e pressão, mais rápido o sistema girará na tentativa de equilibrar as temperaturas.

Figura 6 - Avaliação convectiva do potencial energético (CAPE)



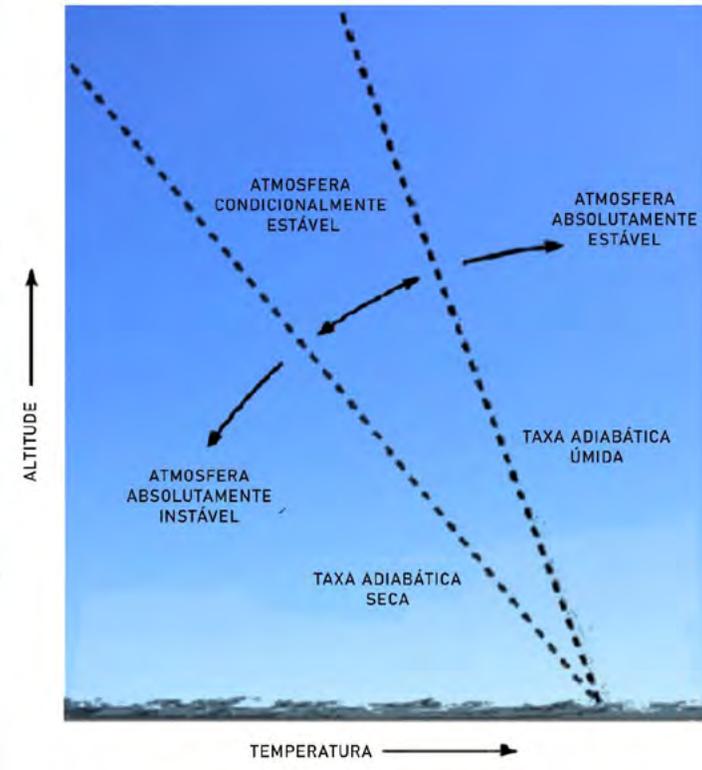
Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

O CAPE, assim como outros índices termodinâmicos, é obtido por meio de sondagens atmosféricas realizadas através do lançamento de balões meteorológicos.

Existem alguns perfis que informam as condições do tempo em determinada atmosfera. São eles: estabilidade, instabilidade e atmosfera condicionalmente estáveis (Figura 7). A umidade ou a falta desta regerão os estados seguintes. Essas estimativas conduzem nossas perspectivas do comportamento do tempo e da atmosfera.



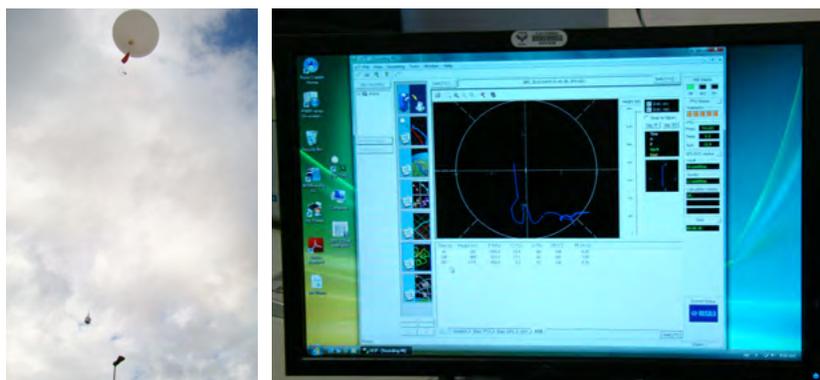
Figura 7 - Condição da atmosfera



Fonte: Brendo Francis Carvalho (2022).

Essas estimativas atmosféricas são obtidas a partir de sondagens (Figura 8) feitas por balões meteorológicos lançados em aeroportos ou outros pontos de interesse científicos ligados à pesquisa, em horários mundiais de referências global, que são: o GMT, *tempo médio de Greenwich*, aceito pelas comunidades internacionais como padrão; o Z, que é hora *ZULU* e *UTC*, que são as Coordenadas Universais de Tempo. Nesses horários, são realizadas as sondagens atmosféricas nos aeroportos brasileiros e no mundo. Alguns realizam às 9 UTC; outras, às 21h UTC; e outros, mais vezes.

Figura 8 - Balão com sonda acoplada e recepção no programa decodificador lançado no Aeroporto Internacional Hercílio Luz - SBFL, em Florianópolis-SC



56

Fonte: Jaqueline Estivallet (14 de abril de 2010).

No momento em que a sonda vai subindo, esta vai agregando informações da atmosfera em seus sensores e vai gerando o perfil do momento nos diversos níveis troposféricos, identificando calor, frio, vento e umidade presentes em cada área de pressão até aproximadamente 15 km. Esses dados são coletados e estabelecem variáveis de vento, umidade e temperaturas que podem retratar a situação termodinâmica potencial da atmosfera.

A combinação com outros índices também capturados pela sondagem, após muitos estudos da NOAA, pôde fornecer uma visão antecipada das possibilidades de que naquela região e arredores poderia ocorrer tempo estável, tempo instável, tempestades e tempestades severas, grando do tamanho mínimo ao severo, formação de supercélulas, mesociclones, enchentes, inversões térmicas, neve e até tornados. Isso melhorou muito os padrões de previsão de tempo locais.

Os índices fornecidos pela sondagem atmosférica informam ainda a capacidade da atmosfera de produzir cisalhamento, rotação pela helicidade (indicados pelas siglas EHI nos EUA e IEH no Brasil), além da



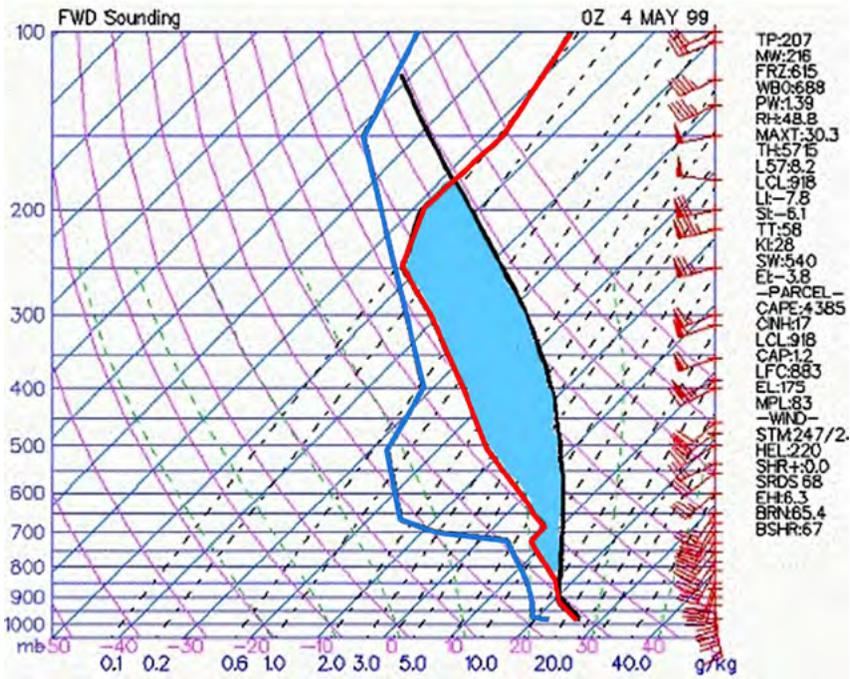
quantidade de água disponível informada pelo índice K na parcela no nível de 700 hPa. Um K alto pode indicar enchente; com vento em superfície forte ou também um microburst. O índice K se refere à medida potencial de instabilidade ele baseia-se na variação vertical de temperatura e no conteúdo de umidade na baixa troposfera bem como na extensão vertical da camada úmida, quanto mais positivo, maiores serão as tendências de tempo severo. Um K acima de 30 é indicador de alta probabilidade de ocorrência de convecção profunda (DIAS, 2008). No diagrama completo de Skew-T o índice k é representado pelas letras KI nos EUA, e KINX para o Brasil.

Os índices também podem ser potencializados no decorrer do dia somando-se a outras variáveis, como a entrada de uma frente fria, frente quente, ventos de um ciclone, um furacão, entre outros. Outro índice utilizado é o TT (resultado da temperatura no nível de 850 hPa mais a temperatura do ponto de orvalho no nível de 850 hPa menos duas vezes a temperatura no nível de 500 hPa). Índices de TT de 44 a 50 indicam tormentas moderadas acima de 50 a 55 tormentas fortes e acima de 55 tormentas muito fortes (DIAS, 2008).

A importância dos índices termodinâmicos (Figura 9) obtidos nas sondagens e a relação entre eles disponibilizam o potencial de severidade da atmosfera em evidência e podem ajudar na identificação de situações indicativas de que ali poderá haver uma mudança radical, e esta vir a se tornar perigosa. A NOAA (NWS-NOAA, 2022) estabeleceu pesquisas sobre alguns parâmetros convectivos e encontrou dados comuns na ocorrência de fenômenos severos, os quais, já pesquisados no Brasil, evidenciam semelhanças (ESTIVALLET et al., 2013).

Este seria completo de Skew-T com os índices gerados pela sondagem em Fort Wort, Texa, EUA. O diagrama indica o perfil vertical da atmosfera, que é composto por isóbaras, isotermas e razão de mistura adiabática secas e saturadas.

Figura 9 – Demarcação do potencial do índice CAPE em azul
 Skew-T de um de tornado em Fort Wort, Texas, EUA



58

Fonte: Sondagem atmosférica – FWD Fort Wort, Texas, EUA/Adaptado de Weather (2022b).

À direita, fica a indicação da direção e intensidade dos ventos conforme altitudes troposféricas na legenda há uma síntese de índices termodinâmicos encontrados nessa sondagem atmosférica, a esquerda encontra-se a escala de pressão. À direita, dentro do diagrama, fica a linha de temperatura positiva (cor vermelha), e a linha do ponto de orvalho à esquerda (cor azul). A distância entre as linhas pode indicar acréscimo de calor nos níveis. À direita, ao lado da linha de temperatura (em azul), forma-se o CAPE (Figura 9). Potencial convectivo para desestabilizar tal atmosfera gerando tempestades. O CAPE é expresso em joules ou em gramas por kg e pode variar de zero superando 5000 joules. Geralmente valores do CAPE menores que 1000 J/Kg representam instabilidade fraca de 1000 a 2500 J/kg instabilidade moderada e acima de 4000 J/kg instabilidade extrema. Esta escala pode se apresentar de forma diferenciada

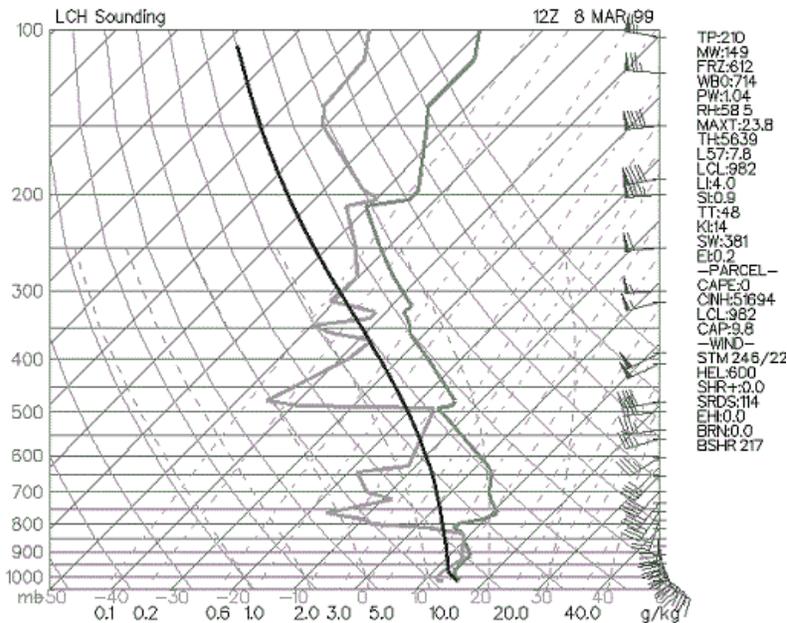


a depender da época do ano. Este índice é uma das ferramentas que os meteorologistas utilizam para determinar a instabilidade da atmosfera, mas deve ser utilizado em conjunto com outros parâmetros (WEATHER, 2022b).

A figura 9 apresenta rajadas de vento fortes nos médios níveis com inversão do padrão superior, tendendo as linhas para a esquerda. Tempo Severo com a linha de CAPE bem demarcada à direita da linha da temperatura. Nessa data (Figura 9) ocorreu uma onda de tornados na região do Texas, EUA. Foi um dos maiores surtos de tornados violentos na história americana. E muitos desses valores são encontrados também em tempestades que geram tornados ocorridos no Brasil.

Alguns exemplos de fenômenos atmosféricos capturados em sondagens nos EUA:

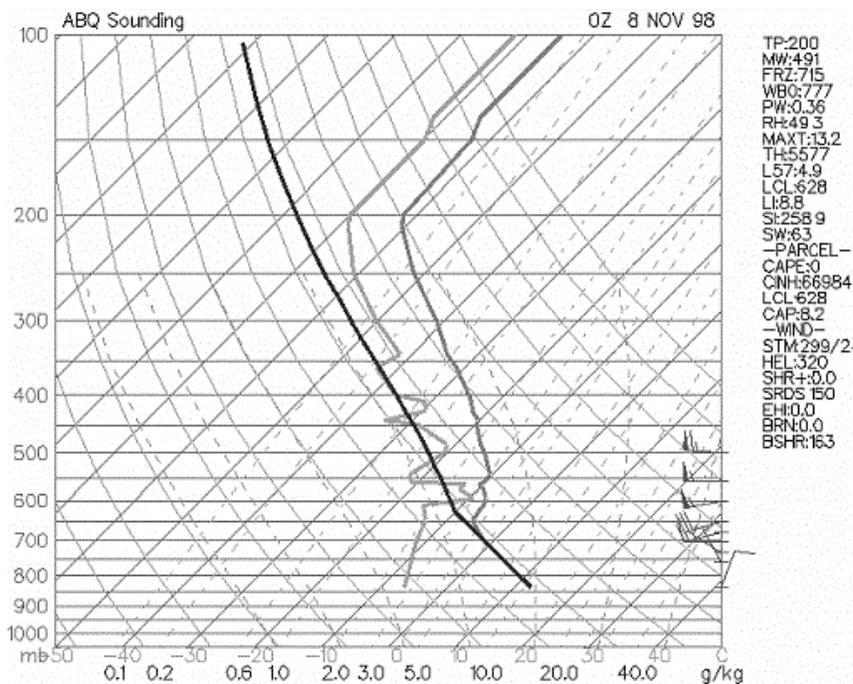
Figura 10 – Skew-T de um Microburst em Lake Charles, Louisiana, EUA



Fonte: Sondagem atmosférica LCH - Lake Charles/Weather (2022).

Atmosfera com ventos muito intensos em superfície, a soma de todo o calor disponível no índice TT e as linhas inferiores unidas de temperatura, indicando precipitação com vento em arco, em superfície até 1.600 m de altitude.

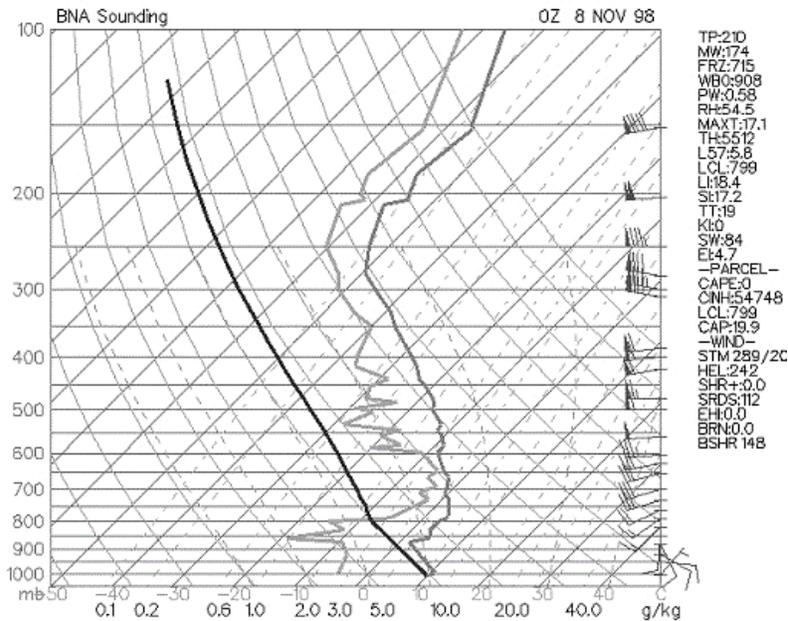
Figura 11 - Skew-T de um Gust front (Shelf Cloud, frente de rajada) em Albuquerque, Novo México, EUA



Fonte: Sondagem Atmosférica - ABQ Albuquerque, Novo México, EUA/ Weather (2022).



Figura 12 – Skew-T de uma Convecção Elevada. Sondagem de Nashville, Tennessee, EUA



Fonte: Sondagem atmosférica - BNA Nashville, Tennessee, EUA/Weather (2022).

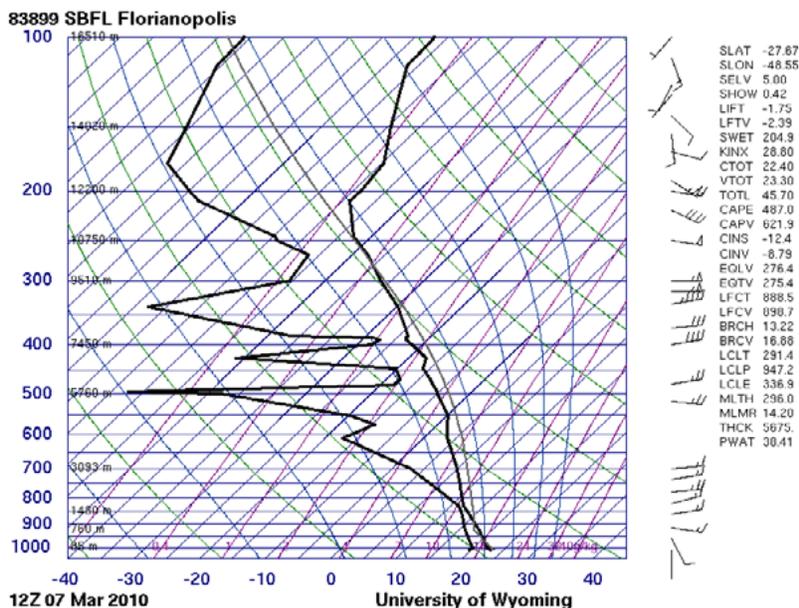
Observa-se na sondagem parcelas com índices potenciais à convecção durante as horas seguintes, tais como Helicidade, forte rotação nos baixos níveis, indicando cisalhamento intenso nos níveis de superfície.

EXEMPLO DE SONDAGEM PREDITIVA DE TORNADO NO BRASIL

Na data 7 de março de 2010, estação verão, um vórtice no litoral paranaense adquiria uma formatação aquecida em seu núcleo, compatível com a formação de um ciclone subtropical. Em desenvolvimento, esse ciclone já provocava formações de tempestades na costa catarinense. Nessa data, formou-se uma tromba d'água em Barra Velha e outra na praia Brava em Florianópolis. Sondagem realizada às 12Z (9h - Brasília) no Aeroporto Internacional de Florianópolis, estação SBFL.

Figura 13 – Skew-T Log-P diagrams. Florianópolis, SC, SBFL - 07.03.2010 horário 12z (Z = ZULU, menos 3 horas para a região)

62



Fonte: Sondagem atmosférica - SBFL - Florianópolis-SC/Weather (2022).



Destacam-se os índices combinados TT: 45.70 e K: 28.00, favorecendo a formação do CAPE, que pode ter sido maior até o momento das ocorrências. Nas quatro horas seguintes a essa sondagem, foram avistadas duas trombas d'água, uma na região de Barra Velha (Figura 14) e outra na região de Florianópolis (Figura 15). Além desses avistamentos, outras nuvens-funis foram reportadas em Araranguá.

Figura 14 - Tromba d'água em Barra Velha-SC (7 de março de 2010)



Fonte: REBELLO, N./YouTube (2010).

*Figura 15 - Tromba d'água avistada às 13h10 de 7 de março de 2010,
na Praia Brava em Florianópolis, SC*



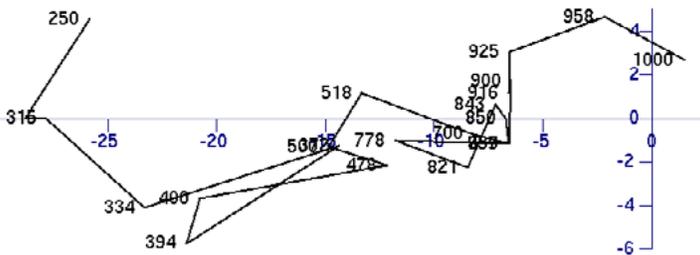
Fonte: Jaqueline Estivallet (2010).

Padrão rotacional relativo na hodógrafa (Figura 16) do Skew-T da mesma sondagem. Abrangeu também parte do litoral norte e sul catarinense, pois ocorreu muita rotação nos níveis troposféricos, culminando nas formações das trombas d'água e nuvens-funil.



Figura 16 - Hodógrafa de 7 de março de 2010 das 12Z de Florianópolis, SC.
SBFL

83899 SBFL Florianopolis



12Z 07 Mar 2010

University of Wyoming

Fonte: Sondagem - Hodógrafa. SBFL, Florianópolis-SC/Weather (2022).

A hodógrafa é um parâmetro resultante de uma sondagem e envolve informações sobre o vento, mas também a helicidade relativa de possíveis tempestades com ventos rotatórios e o movimento de supercélulas. Através do perfil fornecido por uma sondagem, estabelece-se uma análise do vento tridimensionalmente atuante, sendo dessa forma possível prever os rumos severos que a atmosfera possa seguir.

A Tempestade Anita (Figura 17), formada dia 09.03.2010 em Florianópolis, influenciou diretamente com seus ventos potentes e circulares a atmosfera, gerando por três dias seguidos trombas d'água, funis e um tornado EF0 em Florianópolis, SC.

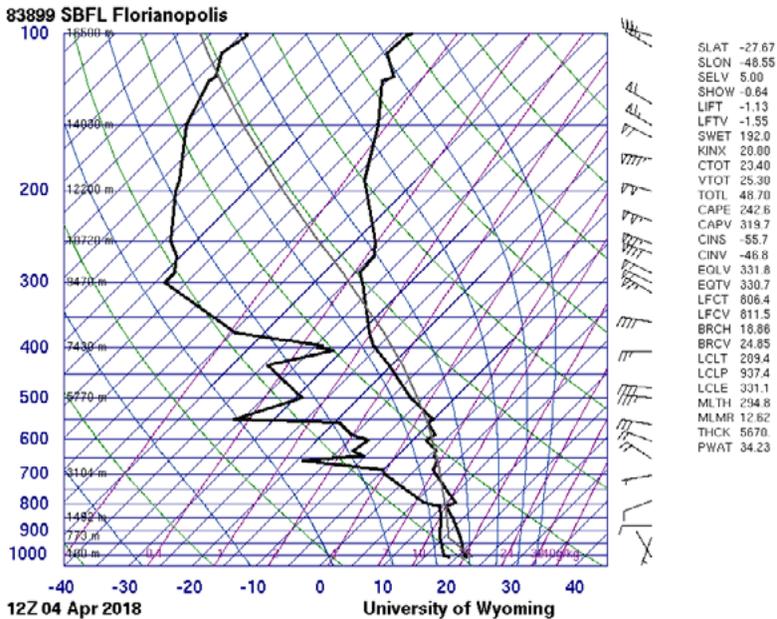
*Figura 17 - Tempestade Anita atuando na costa sul do Brasil
(10 de março de 2010)*





Segundo exemplo de sondagem preditiva de tornado no Brasil.

Figura 18 - Skew-T Log-P diagrams. Florianópolis, SC, SBFL - 4 de abril de 2018 horário 12z (Z = ZULU, menos 3 horas para a região)



Fonte: Sondagem atmosférica - SBFL - Florianópolis-SC/Weather (2022).

Pela manhã, a sondagem informava alguma chance de tempestade devido ao cisalhamento nos baixos níveis, indicado no vento rotacional no Skew-T, obtido da sondagem das 9h (Brasília). Os índices TT (TOTL): 48.70, K (KINX): 28.80, combinados começaram a estabelecer o cenário seguinte. Por volta de 15 horas, uma supercélula (Figura 19) de grandes proporções se forma a nordeste de Florianópolis, SC. Com o vento forte e a drástica mudança no tempo, ela avança para norte da ilha, sendo possível observar vários funis e um tornado (Figura 20) rumando a nordeste.

Figura 19 - Supercélula em Florianópolis em 4 de abril de 2018, às 15h



68

Fonte: Jaqueline Estivallet (2018).

Figura 20 – Tornado atuando na praia de Canasjure, Florianópolis, SC



Fonte: Jaqueline Estivallet (2018).



Este tornado devastou inicialmente árvores e taquaireiras. Deste-
lhou casas (Figura 21) na entrada do balneário Jurerê Internacional. Pos-
teriormente destruiu uma área residencial de 12 casas, bares, quiosques e
barcos à beira-mar. Causou ferimento em pessoas e animais tanto pelos
detritos como pelo granizo grande posterior.

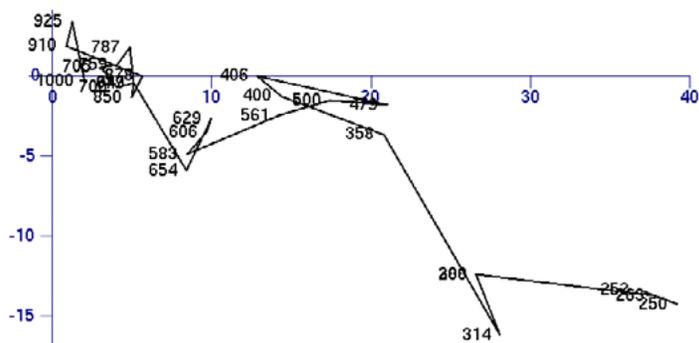
Figura 21 - Algumas residências afetadas pelo tornado



A hodógrafa evidenciou muita rotação, *wind shear* vertical, o que se emparelhou com achados muito semelhante a outras formações tornádicas em outros países. Tais índices incrementaram-se bastante ao longo do dia.

Figura 22 - Hodógrafa das 12Z em 4 de abril de 2018

83899 SBFL Florianopolis

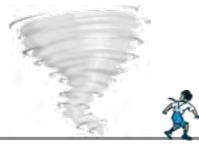


12Z 04 Apr 2018

University of Wyoming

Fonte: Sondagem atmosférica - SBFL - Florianópolis-SC/Weather (2022).

Embora Estivallet *et al.* (2013) tenha estudado os índices K e TT, para a climatologia de 1957 a 2009 nas ocorrências de tornados em SC, parte do sul do PR e parte do norte do RS, necessitam da reanálise de casos, por isso mais estudos a respeito do assunto são salutares. Análises profundas envolvendo os índices de instabilidade para predição de tempestades que possam produzir tornados são muito importantes. Trabalhos envolvendo a termodinâmica da troposfera tempestuosa ou não sempre serão fundamentais para a compreensão do tempo. Também foram encontrados, nesse estudo, semelhanças nas ocorrências tornádicas brasileiras com os valores de referência para as latitudes médias apontadas pela NOAA, o que por si só já torna necessária a compreensão dos



índices termodinâmicos no funcionamento dessas tempestades destrutivas ou formações de trombas d'água nas latitudes subtropicais, além da chance de maior poder de previsibilidade para diminuir o risco de danos à população.

REFERÊNCIAS

AHRENS, C. D. **Meteorology today**: an Introduction to Weather, Climate, and the Environment. 9. ed. Belmont: Brooks/Cole and Cengage Learning, 2009. p. 370-437.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Sistemas sinóticos e de mesoescala em latitudes médias. *In*: BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2013. p. 224-265.

BLANCHARD, D. O. Mesoscale Convective Patterns of the Southern High Plains. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 71, n. 7, p. 994-1005, 1990. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/71/7/1520-0477_1990_071_0994_mcpots_2_0_co_2.xml. Acesso em: 15 abr. 2022.

CES/FAU. Center for Environmental Studies. Florida Atlantic University. **Examples of Extreme Weather Events**. 2019. Disponível em: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-1/weather-climate/extremes-examples.php>. Acesso em: 28 jun. 2022.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems**: an introduction to physical geography. 8. ed. New York: Pearson, 2012.

DIAS, V. S. **Análise dos índices de instabilidade para previsão de formações convectivas severas para a região do aeródromo do Galeão, Aeroporto Tom Jobim**. 2008. Relatório de Pesquisa (Especialização em Meteorologia Aeronáutica) - Instituto de Controle do Espaço Aéreo, 2008.

ESCOBAR, G. Jatos de altos níveis. *In*: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos. 2009. p. 127-134.

ESTASKI, K. **Caracterização da atuação de tempestade severa ocorrida no município de Ponta Grossa**. 2021. Orientadora: Karin Linete Hornes. Iniciação Científica. (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021.

ESTIVALLET, J. *et al.* Climatologia para índices de instabilidade K e TT para ocorrências tornádicas em Santa Catarina. *In*: **Simpósio Internacional De Climatologia**, 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2013.

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

72

HORNES, K. L; BALICKI, M. Caracterização do tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes em novembro de 2015. **Ra'eGa**, Curitiba, v. 44, p. 36-54, maio 2018.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Glossário Técnico - Corrente de Jato**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario/C3%A1rio#J>. Acesso em: 17 jan. 2021.

KAPP JUNIOR, A. **Caracterização das Atuações Tornádicas do Dia 19/11/2015 nos Municípios de Chapecó e Treze Tílias, Estado de Santa Catarina e Marechal Cândido Rondon Estado do Paraná**. 2021. (Graduação em Geografia) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2021.

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

MASTER, Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais. **Linhas de instabilidade**. Disponível em: <http://master.iag.usp.br/pr/ensino/sinotica/aula19/>. Acesso em: 13 jun. 2022.



MONTEIRO, M. A. **Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

NASA. Worldview Snapshots. Terra Modis. Disponível em: https://wvs.earthdata.nasa.gov/?LAYERS=MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueColor&CRS=EPSG:4326&TIME=2010=03-09-&COORDINATES=-35.6727,-57.2947,-25.3305,-48.2029&FORMAT=image/jpeg&AUTOSCALE=TRUE&RESOLUTION=500m. Acesso em: 14 jun. 2022.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Skew-T Parameters**. Disponível em: https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/convective_parameters/skewt/skewtinfo.html#SKEW. Acesso em: 13 jun. 2022.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **The Great Plains Tornado Outbreak of May 3-4, 1999**. Disponível em: <https://www.weather.gov/oun/events-19990503>. Acesso em: 13 jun. 2022.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **What are severe storms?**. 2016. Disponível em: <https://www.noaa.gov/explainers/severe-storms>. Acesso em: 26 mai. 2021.

NWS, National Weather Service. **How do dowbursts form?**. Disponível em: <https://www.weather.gov/lmk/downburst>. Acesso em: 3 jan. 2020.

NWS, National Weather Service. NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Env Parameters and Indices**. Disponível em: <https://www.weather.gov/lmk/indices>. Acesso em: 14 jun. 2022.

PEGORIM, Josélia. Qual a diferença entre cavado e frente fria? **Clima-tempo**, 8 nov. 2016. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/06/22/qual-a-diferenca-entre-cavado-e-frente-fria-4924>. Acesso em: 20 jan. 2021.

PEZZI, L. P.; ROSA, M. B.; BATISTA, N. N. M. A Corrente de Jato sobre a América do Sul. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/jatclim.html>. Acesso em: 19 jan. 2021.

REBELLO, N. Tromba d'água Barra Velha. **YouTube**, 9 mar. 2010. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Oy2wIRmM4k4>. Acesso em: 14 jun. 2022.

VALENTE, P. T. **Identificação das Áreas mais Sujeitas a Eventos Extremos de Temperatura e Precipitação no Sudeste da América do Sul**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

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

74

VIEIRA, R. **Índice CAPE a Energia Potencial Convectiva Disponível**. Disponível em: <https://www.inavigate.com.br/post/indice-cape>. Acesso em: 14 jun. 2022.

WEATHER. **Department of Atmospheric Science**. Disponível em: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Acesso em: 14 jun. 2022.

WEATHER. **Severe Weather Topics**. Disponível em: <https://www.weather.gov/ilx/swop-severetopics-CAPE>. Acesso em: 14 jun. 2022b.



QUAIS OS TIPOS DE TORNADOS?

*Karin Linete Hornes
Jaqueline Estivallet*

Figura 1 - Tornado em Xanxerê - SC (22 de abril de 2015)



Autor: Youtube/Portaltri (2015).

O ciclo de vida de um tornado (Figura 1), detalhado por Ahrens (2009), envolve várias etapas, e dentro delas eles adquirem forma e força diferenciada, mas a descrição aqui não é uma regra, e sim uma tendência. Assim, determinados tornados podem pular fases.

A primeira fase é a do redemoinho de poeira, na qual é possível visualizar um cone quando há disponibilidade desse material no solo do percurso. O funil geralmente se inicia curto e se estende da base da tem-

pestade para baixo. Nesse início, a força destrutiva do tornado é mais leve. Sua próxima etapa é denominada de estágio organizador, em que o tornado vai aumentando de intensidade e passando para o estágio de maturidade, quando o dano normalmente é mais severo. Nesse momento, o diâmetro de seu vórtice pode ser aumentado, e a área de agravo será maior, seu posicionamento em relação a nuvem é praticamente vertical. Depois disso, há a fase de encolhimento, caracterizada por uma diminuição da largura do funil, podendo ocorrer inclinação e um estreitamento da faixa de dano na superfície. A última fase é denominada de estágio final, em que há decadência do vórtice, o qual normalmente adquire o aspecto de uma corda oscilante até se dissipar. Nesse processo os funis podem apresentar formas diferenciadas.

Conforme o NSSL (2022), os tornados podem ser agrupados e provindos de uma supercélula ou não associados a esta. Os tornados de supercélulas são os mais comuns e perigosos; já os não associados tendem a ser mais fracos e de vida mais curta.

Além da classificação relacionada ao tipo de nuvem geradora, destaca-se que existem diferentes tipos de tornados e circulações, desde os que se formam em terra, na neve (WEATHER CHANEL, 2022), no deserto (ALMANAC, 2022), e os que ocorrem nos meios líquidos, denominados trombas d'água. Os tornados mais mortais ocorrem em famílias, isto é, diferentes tornados gerados por uma mesma tempestade. As famílias também podem estar associadas a uma única supercélula, de longa duração e que produz múltiplos vórtices. Algumas tempestades produzem sequências de tornados. Estas podem ocorrer no interstício de 2 horas e com distâncias aproximadas de 100 km entre um tornado e outro. Quando ocorre o registro de 6 ou mais atividades, o termo surto de tornados é utilizado. No Brasil, em 19 de novembro de 2015, Kapp Junior (2021) retratou a ocorrência de três tornados no mesmo dia. Estes atingiram os estados do Paraná e Santa Catarina.

A seguir, serão descritos os principais tipos de tornados, destacando a condição de desenvolvimento e a severidade deles.



TROMBAS D'ÁGUA

As trombas (Figura 2) podem evoluir de um vórtice com um eixo rotacional, em algumas ocasiões atingindo a intensidade EF3 (na escala Fujita melhorada) elas formar-se em tempestades a partir de uma nuvem *Cumuliforme*, sem eletrificação. Inicialmente, a superfície líquida levanta em um anel de spray. As gotículas de condensação se agrupam e formam o funil, representando um estágio já de dissipação (GOLDEN, 1974). Golden (1974) também destaca a coloração escura, comumente verificada no funil de uma tromba, que auxilia na identificação de sua presença. No Brasil as trombas já foram registradas, tanto em áreas litorâneas como fluviais. Houve até mesmo registros de danos, como o ocorrido em Nhamundá, no Amazonas, onde uma tromba destruiu parcialmente barcos e casas ribeirinhas (PORTAL TUCUMA, 2022). A seguir tem-se o registro de uma grande tromba no rio Amazonas em abril de 2015, na localidade de Parintins (LIMA, 2015). As trombas d'água capturam umidade das superfícies aquáticas, no entanto muitas vezes acabam se direcionando rumo a superfície terrestre, geralmente desaparecendo após esse momento.

77

Figura 2 - Tromba d'água (21 de abril de 2015)



Fonte: G1 AMAZONAS/Cássio Júnior (2015).

LANDSPOUT

São tornados que não estão associados a supercélulas. O *landspout* (Figura 3) possui um funil de condensação estreito, semelhante a uma corda, que se forma enquanto a nuvem de tempestade ainda está crescendo e não há corrente ascendente rotativa. Seu movimento giratório origina-se perto do solo. Os *landspouts* podem gerar danos, mas não tão severos se comparados a tornados provindos de supercélulas (NSSL, 2022).

*Figura 3 – Tornado Landspout no município de Vicentina-MS
(30 de novembro de 2019).*

78



Fonte: MACHADO/PAINEL GLOBAL/Fábio Faria da Silva (2019).



MÚLTIPLOS VÓRTICES

Fujita *et al.* (1972) descreveram algumas atuações de múltiplos vórtices no Japão. Eles apontam que os primeiros trabalhos a respeito de múltiplos vórtices foram realizados por VanTassel. Conforme o autor, a maioria dos tornados são identificados como de sucção única. No entanto, quando o diâmetro do núcleo de um tornado aumenta de tamanho, sua estabilidade fica comprometida, assim esse mesociclone acaba produzindo vários pontos de sucção a fim de manter a sua estabilidade.

Os tornados múltiplos vórtices são caracterizados por fortes vórtices de sucção, denominados de tornados satélites ou secundários. Esse tipo de tornado já foi descrito no Brasil por Nascimento *et al.* (2014), na cidade de Indaiatuba-SP, no ano de 2005, por Hornes e Balicki (2018) e Hornes *et al.* (2022), em Marechal Cândido Rondon-PR, no ano de 2015 (Figura 4).

Tornados múltiplos vórtices são raros e intensos. Eles orbitam um núcleo comum de circulação denominado de mesociclone. Os subvórtices disputam energia e espaço entre eles (BARRY; CHORLEY, 2013). As marcas de destruição deixadas por esses tornados no solo ficam com a aparência cicloidal e são indicativos do giro do vórtice entorno de um eixo comum (BLUESTEIN, 2013). Os subvórtices podem ser cerca de 160 km/h mais rápidos do que o mesociclone gerador (NOAA, 2017). O movimento dos subvórtices assemelham-se a um *loop* (giro), apresentando-se de forma anômala, com rápidas mudanças, variando entre momentos acelerados, estacionários, contraíndo-se ou intensificando-se (WURMAN *et al.*, 2014).

Os subvórtices duram menos de um minuto e podem surgir em grupos de dois a cinco tornados. Em raras situações, o número de vór-

tices chega a seis ou sete (BARRY; CHORLEY, 2013). Agee *et al.* (1977) observaram que os vórtices tendem a se formar na margem principal do sistema de um tornado. Eles se movimentam por aceleração da parte traseira do mesociclone para a frontal, e os novos vórtices de sucção repetem a mesma dinâmica.

Esse tipo de tornado é responsável por danos em forma de arco. Nessas ocorrências é comum encontrar casas totalmente destruídas ao lado de locais intactos. Isso reflete o toque do subvórtice.

Figura 4 - Tornado múltiplos vórtices em Marechal Cândido Rondon - PR (19 de novembro de 2015. Frame de um vídeo registrado por Regis Guerreiro)

80



Fonte: YouTube/Marechal Online/Regis Guerreiro (2015).



TORNADOS DE FOGO

Forthofer e Goodrick (2011) apontam que tornados de fogo ou redemoinhos de fogo estão associados a grandes incêndios florestais e urbanos, sendo registrados em derramamentos de óleo e atividades vulcânicas. Eles possuem uma coloração laranja, provinda de gases de combustão subindo de dentro do núcleo do vórtice. A queima de detritos aspirados para dentro do vórtice e lançados a distâncias consideráveis pode levar à dispersão de diversos focos de incêndio.

Com sua formação repentina, movimento errático e dissipação muitas vezes súbita, os redemoinhos de fogo são um bom exemplo de comportamento de fogo extremo, sendo responsáveis por diversas mortes, uma vez que não há tempo de fugir dessas chamas rápidas. Na maioria dos casos, não estão ligados às *Cumulunimbus*. Eles provêm do encontro de correntes de ar quente ascendentes e convergentes, provocadas pelo incêndio que eleva fumaça, cinzas e chamas rapidamente em rotação da superfície até o céu (FORTHOFFER; GOODRICK, 2011). O tornado de fogo quando pequeno se apresenta entre 10 e 1200 m de altura, e o seu tempo de duração oscila, pois depende das condições de temperatura do incêndio para se manter (MERONEY, 2003). Seu diâmetro pode variar de 10 m até 100 m, podendo chegar até 3 km de diâmetro por 5 km de altura, como os registrados nos incêndios provocados pelos bombardeios da Segunda Guerra Mundial na cidade de Hamburgo, na Alemanha (FORTHOFFER; GOODRICK, 2011).

Nos casos em que o diâmetro do tornado de fogo apresenta-se maior, sua velocidade fica aumentada, podendo atingir categorias da Escala Fujita. Em situações muito raras, esses vórtices podem estar associados às denominadas *Pirocumulunimbus (piroCb)*, que podem vir a produzir uma pirotornadogênese. Os pirotornados são dinamicamente distintos dos tornados de fogo comuns, pois possuem uma concentração e o alongamento de sua vorticidade próxima à superfície através de cor-

rentes ascendentes induzidas pelo fogo e pela liberação de calor latente do piroCb, estando conectados a esta.

As queimadas emitem gases e partículas a temperaturas superiores a aquelas presentes naturalmente no ambiente. Esses gases começam a ter uma flutuação positiva e podem ser transportados para cima (FREITAS, *et. al*, 2005). O que determina a altura final desses materiais é a estabilidade termodinâmica. A fumaça também pode ser inserida na atmosfera através de plumas provocadas por turbilhões de atividades de incêndio. Essas plumas podem adentrar em ambientes mais frios, assim sua flutuação fica reduzida. Essa injeção de fumaça diretamente na baixa e média troposfera (3 a 10 km de altura) pode permitir o desenvolvimento das *Pirocumulus* (FREITAS *et al.*, 2005).

Tornados de fogo já foram registrados no Brasil (Figura 5). Em Tabapuã-SP, em um período de grande número de incêndios, vários redemoinhos de fogo foram avistados nas plantações de cana no ano de 2021 (G1, 2021).

82

Figura 5 - Tornados de fogo em Tabapuã-SP



Fonte: G1 (2021).



DUST DEVIL - REDEMOINHOS

Em dias ensolarados, secos, ou dias de verão, o ar aquecido junto ao chão somado ao vento forte e a baixa umidade relativa do ar pode subir em redemoinhos ascendentes e giratórios, tornando-se visível pela elevação da poeira, areia ou detritos que ao girar adquire a forma de coluna. Há definições informando que um Dust Devil só é reconhecido como fenômeno quando atinge diâmetro mínimo de 3 m (NATIONAL WEATHER SERVICE - NWS, 2022). No Brasil, a nomenclatura dada ao evento é Redemoinho (Figura 6), Poeira do Diabo e Pé de Vento, Saci, entre outras. Uma das explicações ao fenômeno diz que tais redemoinhos ocorrem por elevação brusca do ar convectivo em ambientes de baixa umidade relativa do ar ou efeitos do deslocamento do ar sobre obstáculos.

Imprimir determinada força de vento à circulação do ar, em regiões desérticas, faz com que ocorram essas formações, consideradas por alguns pesquisadores como típicas de deserto. Na neve, o fenômeno também ocorre e se chama Snow Devil (CLOUD ATLAS, 2022). O Dust Devil pode ser encontrado em outros planetas do nosso Sistema Solar, como Marte, e seguidamente imagens com o fenômeno são publicadas na WEB pela NASA (NASA, 2012). As Poeiras do Diabo podem se parecer com um tornado fraco, mas raramente atingem alturas maiores que 100 m. O diâmetro compreende de 3 a 30 m. Em geral, são de curta duração. Grandes Dust Devil podem lançar mobiliários de jardim no gramado de uma residência, provocar danos em telhados, mover grandes quantidades de pó ou areia em seu interior, mas em geral não representam ameaça.

*Figura 6 – Redemoinho (Dust Devil)
(Brasília - DF no dia 3 de outubro de 2015)*



Fonte: Karin Linete Hornes (2015).

Na literatura é possível encontrar outras classificações de tipos de tornado, no entanto, estas são as mais utilizadas. As descrições aqui disponibilizadas permitem elucidar que o Brasil possui a atuação de diversos tipos de tornados, compreender a sua gênese e dinâmicas de atuação, são elementos imprescindíveis para que possamos pensar em resiliência.



REFERÊNCIAS

AGEE, E. M. *et al.* Na observational Study of the West Lafayette, Indiana, Tornado of 20 March 1976. **Monthly Weather Review**, v. 105 (7), p. 893-907, 1977. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/105/7/1520-0493_1977_105_0893_aosotw_2_0_co_2.xml. Acesso em: 10 set. 2021.

AHRENS, C. D. **Meteorology today**: an Introduction to Weather, Climate, and the Environment. 9. ed. Belmont: Brooks/Cole and Cengage Learning, 2009.

ALMANAC. **The Lonely Tornado**. Disponível em: <https://www.almanac.com/lonely-tornado>. Acesso em: 7 jun. 2022.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BLUESTEIN, H. B. **Severe Convective Storms and Tornadoes**: observations and dynamics. New York: Springer Heidelberg Dordrecht London, 2013.

CLOUD ATLAS. **Snow Devil**. Disponível em: <https://cloudatlas.wmo.int/en/snow-devil.html>. Acesso em: 7 jun. 2022.

FORTHOFFER, J. M.; GOODRICK, S. L. Review of vortices in wildland fire. **Journal of Combustion**, p. 1-14, 2011. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jc/2011/984363/>. Acesso em: 7 jun. 2022.

FREITAS, S. R. *et al.* Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, p. 167-185, 2005.

FUJITA, T. T. *et al.* Typhoon-Associated Tornadoes in Japan and New Evidence of Suction Vortices in a Tornado near Tokyo. **Reprinted from the Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 50, n. 5, 1972. Disponível em: <https://swco-ir.tdl.org/handle/10605/262128>. Acesso em: 9 set. 2021.

GOLDEN, H. H. The life Cycle of Florida Keys' Waterspouts. **Journal of Applied meteorology**, v. 13, 1974.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. Redemoinhos de fogo se formam durante queimada de grandes proporções no interior de São Paulo. **G1**, 8 set. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2021/09/08/redemoinhos-de-fogo-se-formam-durante-queimada-de-grandes-proporcoes-no-interior-de-sp-video.ghtml>. Acesso em: 7 jun. 2022.

HORNES et al. Caracterização da força destrutiva de um tornado múltiplo vórtice em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes – PR. **Revista Geografar**. Curitiba, v.17, n.1, p.114-136, jan. a jun./2022. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/80092/46572>. Acesso em: 3 ago. 2022.

HORNES, K. L.; BALICKI, M. Análise do tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes em novembro de 2015. **Revista Raë Ga**, v. 44, p. 36-54, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/47761>. Acesso em: 9 set. 2021.

KAPP JUNIOR, A. **Caracterização das Atuações Tornádicas do Dia 19/11/2015 nos Municípios de Chapecó e Treze Tílias, Estado de Santa Catarina e Marechal Cândido Rondon Estado do Paraná**. 2021. (Graduação em Geografia) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2021.

LIMA, Ocimar. Tromba d'água é registrada no Rio Amazonas, em Parintins. **G1**, 23 abr. 2015. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2015/04/tromba-dagua-e-registrada-no-rio-amazonas-em-parintins.html>. Acesso em: 31 maio 2022.

MACHADO, M. C. Tornado que atingiu o Mato Grosso do Sul foi um Landspout. **Painel Global**, 2 dez. 2019. Disponível em: https://www.painelglobal.com.br/noticias.php?t=Tornado_que_atingiu_Mato_Grosso_do_Sul_foi_um_landspout&id=20191202-101851. Acesso em: 1 jun. 2022.



MARECHAL ONLINE. Marechal Rondon - Tornado atinge a cidade e causa grande destruição. Regis Guerreiro. **YouTube**. 1 vídeo (2min12s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Bt1mUqnbxdU&t=40s>. Acesso em: 7 jun. 2022.

MERONEY, R. N. Fire whirls, fire tornadoes, and fire storms: Physical and numerical modeling. *In*: PHYSMOD'03: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PHYSICAL MODELLING OF FLOW AND DISPERSION PHENOMENA, Prato, Italy, 2003. **Proceedings** []. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283316444_Fire_whirls_fire_tornadoes_and_fire_storms_Physical_and_numerical_modeling. Acesso em: 7 jun. 2022.

NASA. **The Serpent Dust Devil of Mars**. 2012. Disponível em: <https://mars.nasa.gov/resources/5307/the-serpent-dust-devil-of-mars/>. Acesso em: 7 jun. 2022.

NASCIMENTO, E. D. L.; HELD, H.; GOMES, A. M. A Multiple-Vortex Tornado in Southeastern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 142, n. 9, p. 3017-3037, 2014. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/MWR-D-13-00319.1>. Acesso em: 11 jul. 2016.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. Tornadoes. **Physical Sciences Laboratory**. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/programs/infrasound/FAQ.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.

NSSL, NOAA National Severe Storms Laboratory. **Severe Weather Types of tornadoes**. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/sv-rwx101/tornadoes/types/>. Acesso em: 1 jun. 2022.

NWS, NOAA National Weather Service. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Dust Devils in Northern Arizona**. Disponível em: <https://www.weather.gov/fgz/DustDevil>. Acesso em: 7 jun. 2022.

PORTALTRI. Tornado em Xanxerê rastro de destruição causado em 5 minutos. **You Tube**, 22 abr. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OEjbUP2CNYc>. Acesso em: 13 jun. 2022.

PORTAL TUCUMA. Tromba d'água no rio Amazonas destrói barcos e causa Pânico. **Portal Tucumã**, 3 mar. 2022. Disponível em: <https://www.portaltucuma.com.br/tromba-dagua-em-rio-no-amazonas-destroi-barcos-e-causa-panico-video/>. Acesso em: 2 jun. 2022.

WEATHER CHANNEL. **Raro tornado de neve captado nos Alpes**. Disponível em: <https://weather.com/pt-PT/portugal/videos/video/raro-tornado-de-neve-captado-nos-alpes>. Acesso em 31 maio 2022.

WURMAN, J. *et al.* The Role of Multiple-Vortex Tornado Structure in Causing Storm Researcher Fatalities. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 1, p. 31-45, 2014. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/1/bams-d-13-00221.1.xml>. Acesso em: 30 ago. 2021.



EXISTEM TORNADOS NO BRASIL?

Karin Linete Hornes

Sim, existem tornados no Brasil! Há muito tempo esses fenômenos são registrados em nosso país. Em 1560, o padre e missionário jesuíta José de Anchieta, na Carta de São Vicente, fez o seguinte relato a respeito de uma tempestade ocorrida na vila de São Paulo de Piratininga, localizada na Capitania de São Vicente:

[...] 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 quasi sempre costuma vir a tempestade, caiu com tanta violencia que parecia ameaçar-nos o Senhor com destruição: abalou as casas, arreatou os telhados e derribou as matas; a árvores de colossal altura arrancou pelas raizes, partiu pelo meio outras menores, despedaçou outras, de tal maneira que ficaram obstruidas 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. O que, porém, no meio de tudo isso, se tornou mais digno de admiração, é que os Indios, que nessa ocasião se compraziam em bebidas e cantares (como costumam), não se aterraram com tanta confusão de cousas, nem deixaram de dansar e beber, como se tudo estivesse em completa tranquilidade. (ANCHIETA, 1997, p. 10-11).

No relato de Anchieta, é possível observar que a tempestade ocorrida na região que atualmente corresponde ao município de Piratininga, no estado de São Paulo, possui características do tempo, período de atuação e tipo de destruição, que se assemelham muito a de um tornado. Este pode ser o primeiro possível tornado que se tem registro na América do Sul.

Cabe destacar que a região que compreende o Sudeste e Sul do Brasil apresenta uma maior propensão ao fenômeno, devido à constante atuação de sistemas frontais, ou seja, encontro de duas massas de ar com características distintas; perturbações atmosféricas provocadas por ciclones no Oceano Atlântico; formação de Sistemas Convectivos Isolados de grande convecção e cisalhamento, como as supercélulas; e atuação de Sistemas Convectivos de Mesoescala.

No entanto o fenômeno tornádico pode ocorrer nas mais diversas regiões do Brasil. Diante disso, a semântica utilizada para sua designação varia. As seguintes palavras são frequentemente aplicadas para descrever o evento: redemoinho, rodamoinho, redemunho, furacão, ventania, noroeste, tornado, pé-de-vento, vento Sul, tormenta, tufão, vendaval e roda de munho (BARBOSA-DOIRON, 2010). Outras palavras também estão associadas às lufadas de ar que se movimentam em círculo, inclusive ligadas ao folclore, como: saci, vento do diabo, vento de poeira e ventania.

90

Alguns estudos de variação lexical apontam que essas definições são chamadas de geolinguagens. Estas são utilizadas pela população para descrever a ocorrência de determinados acontecimentos (SÁ, 2020).

A palavra “tornado”, segundo o dicionário *Oxford* (2022), tem origem espanhola. Provavelmente ela deriva da alteração da palavra *tronada* (trovoada), de “*tronar*” (trovão). Ela é muito utilizada na América do Norte e também no Brasil para nomear o fenômeno.

As diversas definições e a dificuldade de caracterizar um tornado, confundindo-o com outras atuações atmosféricas, como vendaval, furacão ou tufão, dificultam o reconhecimento de suas atuações históricas e atuais. Esses empecilhos, em conjunto com a ausência de um órgão ou instituição que se dedique exclusivamente ao registro de tal evento, tributam para a falta de reconhecimento da sua ocorrência. A disparidade de registros antigos e atuais contribui para uma grande dose de incerteza em relação ao comportamento a longo prazo ou a padrões de ocorrência de tornados.

Segundo o estudo realizado por Brooks e Dotzek (2008), existe na América do Sul uma área de significativa ocorrência de tempestades severas e atuações tornádicas, a qual corresponde a parte do território do Brasil, da Argentina, Paraguai, Uruguai e Bolívia. No entanto, no Brasil, a maioria da população desconhece essa informação e acredita que o fenômeno é exclusivamente da América do Norte e que não acontece no país.



De fato, os EUA são o país que mais registra a ocorrência de tornados. No período de 1950 a 2020, contabilizou-se em média 1.251 por ano (NCEI; NOAA, 2021). Os elevados registros podem ser explicados por o território dos Estados Unidos abranger uma das regiões mais favoráveis à geração de nuvens com capacidade de formação de tornados do mundo. Essa área recebe o nome de *Tornado Alley*, ou corredor de tornados, sendo frequentemente atingida por tempestades de supercélulas, das quais originam-se o fenômeno em questão (EDWARDS, 2021; NOAA, 2019).

O Brasil, assim como os EUA, está inserido em um “corredor de tornados”, mais precisamente a região centro-sul do país (VESILIND, 2004). A qual é constantemente atingida por tempestades e possui maior propensão a atividades tornádicas (Figura 1). Destaca-se que frequentemente os jatos subtropicais, polares e tropicais atuam e auxiliam para essa condição (ESTIVALLET *et al.*, 2009).

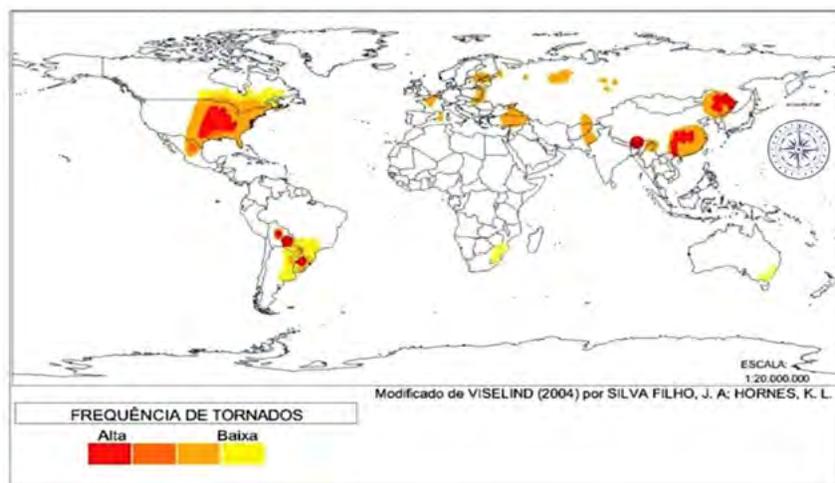
A região centro-sul da América do Sul possui, conforme a classificação da NASA (2022), uma vegetação característica de pradaria (campo) para os países da Argentina e Uruguai. No Paraguai e no estado brasileiro do Rio Grande do Sul, a vegetação campestre apresenta-se com espécimes mais arbustivas, localmente chamada de pampas, e variação de precipitação entre 200 a 1000 mm. Para a área compreendida entre a Bolívia e Santa Catarina (BR), Paraná (BR) e São Paulo (BR), há presença da Floresta Tropical, pertencente ao Bioma da Mata Atlântica, registrando, em alguns casos, índices pluviométricos superiores a 2.000 milímetros anuais.

Geograficamente, as regiões de maior propensão a tornados dos EUA e da América do Sul possuem semelhanças. Contudo a área da América do Sul é pelo menos três vezes menor, logo há uma menor incidência. Isso sem contar que na área propícia às atividades, estão inseridos vários países, o que dificulta a sistematização e a contabilização total de ocorrências.

Brooks *et al.* (2003), em estudos utilizando reanálise de dados no período de 1997 a 1999, aplicaram parâmetros para determinar áreas globais propícias a tempestades severas e significativas, que produzam granizo de 5 cm ou mais de diâmetro e rajadas de vento de 120 km. Ele verificou que as regiões de ambientes de tornados significativos estão nos Estados Unidos da América e em uma área que compreende o sul do Brasil e norte da Ar-

gentina (Figura 1). O autor apontou também uma área limitada ao redor do Himalaia e outras dispersas, como no norte e centro da Eurásia.

Figura 1 - Áreas propensas a tornados no mundo



92

Fonte: José Amaro Silva Filho e Hornes, adaptado de VESILIND (2004).

Um dos trabalhos pioneiros reunindo diversos dados de atividades tornádicas do Brasil foi realizado por Dyer (1986). O autor identificou uma série de rastros de tornados na região da Tríplice Fronteira entre Brasil, Paraguai e Argentina, por meio da observação da variação fitofisionômica em fotografias aéreas de 1965, na escala 1:60.000 e em algumas imagens de satélite da década de 70. Dyer preocupou-se com a validação dos dados, comparando as imagens para qualificá-las com maior detalhamento, verificando o restabelecimento da nova vegetação no percurso destruído. Os dados apontaram que as maiores ocorrências se deram entre junho de 1964 e julho de 1965. Ele identificou um rastro de tornado de 70 km de extensão entre as cidades de Cascavel e Guaíra, com uma largura aproximada de 1,2 km. Uma outra atividade reportada apresentou cerca de 1,9 km de largura que provavelmente pertenceu a um tornado anterior a 1943. O autor também utilizou dados do geógrafo



e geólogo alemão Reinhard Maack, para averiguar algumas atuações de destruição descritas em suas anotações climatológicas.

A maioria das faixas lineares descritas na pesquisa de Dyer (1986) possuía predominância da direção NW e NNW (Noroeste e Norte-Noroeste). A análise foto aerogramétrica identificou 24 rastros, sendo 6 pertencentes ao Brasil, 1 na Argentina e 14 exclusivamente no Paraguai. Somam-se, ainda, dois tornados que ocorreram entre a Argentina e o Brasil, e um entre o Paraguai e a Argentina. Dyer também relatou notícias a respeito de algumas atuações que causaram grandes danos. Uma ocorrida em 1 de setembro de 1967 derrubou árvores, casas e pavilhões. Oito pessoas foram vitimadas e 56 ficaram feridas. O tornado percorreu aproximadamente 20 km, com 1 km de largura, na direção Oeste para Leste. Em 1 de agosto de 1984, na cidade de Ribeirão Preto, o autor foi testemunha de uma atividade. No mesmo ano, a cidade de Londrina também foi atingida por uma tormenta que provocou o desabamento de várias construções, feriu duas crianças e derrubou fios de alta tensão, provocando grandes incêndios. Estima-se que os ventos ultrapassaram os 120 km/h, atingindo a cidade no início da noite.

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED/UFSC, 2013) representa um dos poucos registros estatísticos da atuação de tornados no país. Esses dados foram construídos a partir dos relatórios dos municípios que decretaram Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública. As informações dos desastres causados por tornados foram catalogadas pelos agentes da Defesa Civil, que preenchem relatórios classificando a atuação da catástrofe conforme a Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), antiga Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (Codar). Essas informações são então enviadas às Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil e, posteriormente, à Secretaria Nacional de Defesa Civil. Portanto, apenas as atividades tornádicas que geraram grandes danos foram catalogadas.

Outras atividades que são flagradas no cotidiano e que geram danos de pequena monta podem ser reconhecidas por órgãos de meteorologia, mas não são contabilizadas pela Defesa Civil. Há de se destacar que muitas atuações podem ser erroneamente classificadas como venda-

vais ou *downbursts*. Isso ocorre pelo despreparo do profissional, que nem sempre possui a capacitação adequada para identificar com exatidão o fenômeno ocorrido. Como também devido à dificuldade envolvida para obter todas as informações necessárias como imagens de satélite, radar, dados meteorológicos e de campo, para determinar com precisão a ocorrência. Portanto, os números apresentados pelo Atlas não correspondem à realidade de atuações, as quais devem ser muito superiores às contabilizadas pelos órgãos da Defesa Civil.

Os dados do Atlas apontam que entre os anos de 1991 e 2012, ocorreram 45 tornados. Estes tiveram maior frequência principalmente na região noroeste do Rio Grande do Sul, oeste e sul de Santa Catarina. O motivo de a região concentrar o maior número pode ser explicado pelo fato de os estados da Região Sul estarem sob influência de sistemas como frentes frias, complexos convectivos de mesoescala, ciclones, cavados e jatos. Estivallet *et al.* (2009) afirmam que jatos de baixos níveis úmidos advindos da Amazônia, em conjunto com os jatos de alto níveis, de ar polar e seco, advindos da cordilheira dos Andes, são a composição atmosférica potencial para causar atividades convectivas. Estas podem gerar supercélulas e, por sua vez, formar tornados, pois proporcionam correntes de ar frio em altura, que ao se encontrarem com correntes ascendentes quentes e úmidas da superfície passam a girar em movimentos rotacionais no interior da nuvem *Cumulonimbus*, formando um mesociclone, no qual formam-se tornados. Os autores também relatam a influência dos jatos subtropicais, responsáveis pelo desenvolvimento e intensificação de atividade convectiva, quando ocorrem paralelos à linha da frente fria, a cerca de 500 a 600 km de distância, com direção preferencial de noroeste-sudeste. Nessas situações, podem ocorrer bloqueios atmosféricos que proporcionam frentes estacionárias; a exemplo, uma frente fria pode estar sobre o Paraná e a nebulosidade aumentar em Santa Catarina.

Como veremos a seguir, diversos trabalhos acadêmicos vêm colaborando para análises históricas e retrógradas de ocorrências de atividades, que em algum momento foram relatadas em meios de comunicação, sejam impressos ou digitais.

Bertoni (2013) fez um levantamento de atividades tornádicas a partir de dados de jornais, canais de TV locais e regionais, trabalhos

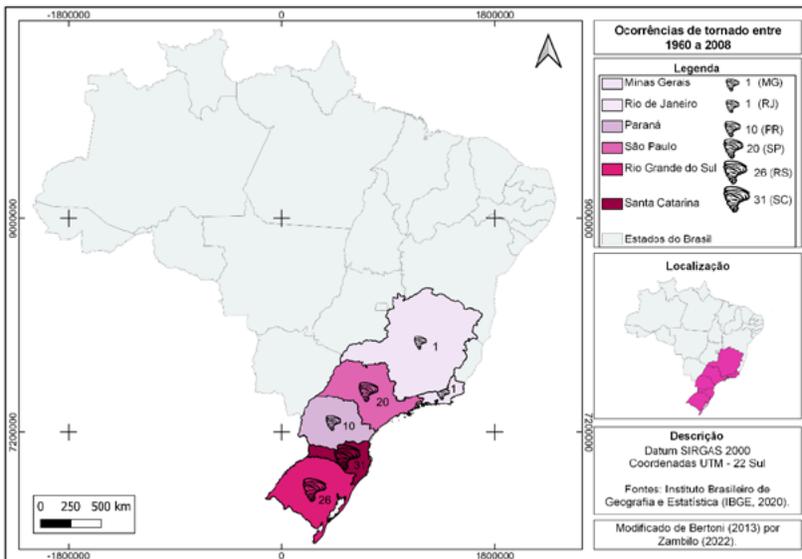


publicados em congressos, notícias do site *Tempo Severo*, consultas em boletins de clima, Defesa Civil, entre outros. O trabalho também se fundamentou nas pesquisas de Marcelino (2003, 2005) e Silva Dias (2011).

Marcelino (2003, 2005) registrou 45 episódios de possíveis tornados e trombas d'água que foram catalogados no território de Santa Catarina, no período de 1976 a 2003. A maior concentração das atividades que eles reportaram ocorreu nos meses de primavera. Oliveira *et al.* (2012) realizaram um estudo em Santa Catarina, atualizando a catalogação de tornados ocorridos no estado desde 1976 até 2009, ampliando a contabilização para 77 casos, mas essa atualização não foi utilizada no trabalho de Bertoni (2013).

O levantamento de Bertoni (2013) para os anos 1960 e 2008 contabilizou 89 atuações distribuindo-se nas regiões Sul e Sudeste (Figura 2).

Figura 2 - Número de tornados contabilizados na Região Sul e Sudeste no período de 1960 a 2008



Fonte: modificado de Bertoni (2013).

Entre 1960 e 2008, Silva Dias (2011) registrou mais de 158 episódios de tornados, com maior distribuição para a Região Sul, seguida da Sudeste. A autora realizou um levantamento de atividades, principalmente por meio dos dados de um grupo de meteorologistas que começou a documentar casos de tornados e publicar suas características no site *Tempo Severo no Brasil*, porém ele não está mais em atividade. Atualmente, há uma página na rede social Facebook intitulada *Tornados no Brasil* que constantemente publica atualizações de atividades.

Na sua contabilização, Silva Dias (2011) registrou atuações de tornados nas cinco regiões brasileiras. A maior concentração se deu na Região Sul. Destaca-se que a região Norte e Nordeste também apresentaram ocorrências. A autora discorre a respeito da raridade de atuações na região Nordeste, mas alerta para as atuações do Norte e Centro-Oeste. Para a Região Norte, ela traz os trabalhos de Nechet (2002) como referência, destacando ocorrências tornádicas ao longo do Rio Amazonas, nas proximidades das cidades de Manaus e Santarém. O trabalho de Silva Dias (2011) compara o aumento dos relatos de tornados à evolução da densidade populacional e das comunicações, demonstrando que vem ocorrendo um crescimento proporcional entre eles.

Wollmann e Iense (2019) realizaram uma contabilização de 138 registros de tornados entre os anos de 1959 a 2018 distribuídos por São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. No período de 1967 a 2019, Writzl *et al.* (2020) contabilizaram 67 ocorrências de tornados no Rio Grande do Sul. Entre eles, 22 ocorreram na primavera; 17, no verão; 11, no outono; e 17, no inverno.

As pesquisas realizadas por Rodrigues e Hornes (2015) de catalogação de tornados no período de 2005 a 2015, e Santin e Hornes (2019) com o interstício de 2016 a 2018, contabilizaram pelo menos 20 ocorrências de tornados no Paraná. Os trabalhos destacaram a região oeste e centro-oeste do estado do Paraná com maior número de incidências (Figura 3). A contabilização levou em consideração as atuações reportadas pela Defesa Civil, vídeos e imagens postadas na internet, confirmações realizadas pelo Simepar (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná) e reportagens de jornais e notícias locais.

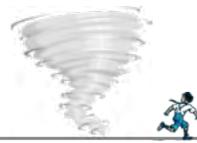
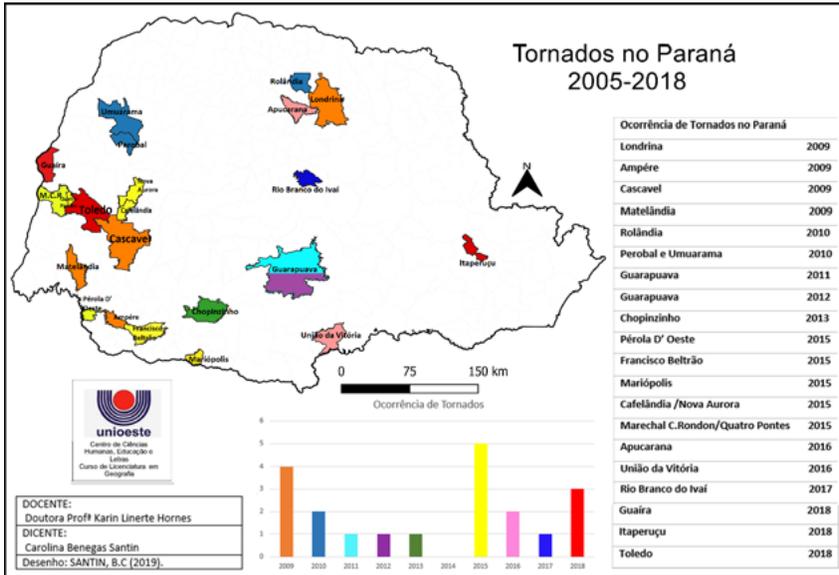


Figura 3 - Espacialidade dos tornados ocorridos no período de 2005 a 2008 no Paraná



Fonte: Carolina Benegas Santin (2019).

Os dados permitiram evidenciar que a maior concentração das atuações ocorreu no noroeste, oeste e sudoeste do Paraná. O ano com maior registro de ocorrências no período registrado foi 2015, contabilizando 5, seguido do ano de 2009, com 4. Os meses de maiores atividades foram outubro e janeiro. As estações preferenciais foram primavera e verão, e o período de maior atuação foi o vespertino.

Neste capítulo ficou evidente que tornados sempre atuaram no Brasil e que o país possui condições e localização geográfica que favorecem a presença do fenômeno. As atividades já trouxeram diversas perdas econômicas, ambientais e humanas. Assim, é fundamental o reconhecimento da sociedade a respeito das atuações em suas regiões, para que medidas protetivas possam ser planejadas e realizadas a fim de salvaguardar a vida.

REFERÊNCIAS

ANCHIETA, J. de. **Caderno nº 7**: Carta de São Vicente 1560. São Paulo: Primavera, 1997. p. 10-11, 1997.

BARBOSA-DOIRON, M. P. Ocorrências Lexicais para Redemoinho no Falar Paulista: Um Estudo Dialetoológico. **SIGNUM: Estudos da Linguagem**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 113-130, dez. 2010.

BERTONI, B. **Estudos de caso de tornados, uso e ocupação do solo, topografia e análise meteorológica destes eventos atmosféricos no Sul e Sudeste do Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BROOKS, H. E.; DOTZEK, N. The Spatial Distribution of Severe Convective Storms and an Analysis of their Secular Changes. In: DIAZ, H. F.; MURNANE, R. J. (org.). **Climate extremes and society**. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. p. 35-53.

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, 2003.

CEPED, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres; UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. Volume Brasil. 2. ed. rev. e ampl. Florianópolis: UFSC/CEPED, 2013.

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://martesid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/martes@80/2009/02.10.18.19/doc/589-603.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

EDWARDS, R. The online tornado – Frequently Asked Questions. **NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration**. 2021. Disponível em: <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/> Acesso em: 9 jun. 2022.



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.

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

MARCELINO, I. P. V. de O. Tornados. *In:* HERRMANN, M. L. P. (org). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina.** 1. ed. Florianópolis: IOESC, 2005. p. 113-116.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Earth observatory:** Mission Biomes. 2022. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/biome>. Acesso em: 9 jun. 2022.

NCEI, National Centers for Environmental Information. NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Annual 2020 Tornadoes Report.** 2021. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/tornadoes/202013> Acesso em: 9 jun. 2022.

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

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Story map:** Inside Tornado Alley. 2019. Disponível em: <https://www.noaa.gov/stories/story-map-inside-tornado-alley>. Acesso em: 9 jun. 2022.

OLIVEIRA, R. de; OLIVEIRA, R. de; ESTIVALLET, J. Climatologia e Sazonalidade em 33 anos de Eventos Tornádicos em Santa Catarina. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA – CBMet, 17, 2012, Gramado. **Anais [...].** 2012. v. 1

OXFORD. **Language.** Oxford University Press, 2022. Disponível em: <https://languages.oup.com/google-dictionary-en/>. Acesso em: 3 fev. 2022.

RODRIGUES, N. A.; HORNES, K. L. **Incidência de tornados no Paraná entre 2005 e 2015**. Iniciação científica financiada pela Fundação Araucária. Licenciatura em Geografia da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon. 2015.

SÁ, E. J. de. Lexicografia e Geolinguística: um pequeno glossário de itens lexicais retirados de atlas linguísticos pernambucanos. **Revista do GEL-NE**, v. 22, n. 1, p. 101-115, 2020.

SANTIN, C. B. **Incidência de tornados no Paraná 2016 - 2018**. Iniciação científica financiada pela Fundação Araucária. Orientadora: HORNES, K. L. Licenciatura em Geografia da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon. 2019.

VESILIND, P. J. Chasing Tornadoes: a Tale of Science, Guts, and Luck. **National Geographic**. v. 205, n. 4, p. 2-37, apr. 2004.

100

WOLLMANN, C.A.; IENSSE, A. C. A gênese Climática dos tornados nos Estados da Região Sul do Brasil e São Paulo. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, p. 1-17. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344966019_A_GENESE_CLIMATICA_DOS_TORNADOS_NOS_ESTADOS_DA_REGIAO_SUL_DO_BRASIL_E_SAO_PAULO. Acesso em: 13 jun. 2022.

WRITSL, L.; WOLLMANN, C. A.; IENSSE, A. C.; SILVA, A. N. da. Gênese e probabilidade ocorrência de tornados no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência e Natureza**, Santa Maria, v. 42, e. 18, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/e19%27/pdf>. Acesso: 13 jun. 2022.



QUAL A VELOCIDADE DE UM TORNADO?

Karin Linete Hornes

Figura 1 - Destruição causada pelo tornado de 19 de novembro de 2015, Marechal Cândido Rondon-PR



Fonte: Karin Linete Hornes (2015).

A classificação envolvida na destruição de uma atuação tornádica é um desafio. Até o momento estão tentando construir aparelhos que suportem a violência da região interna de um tornado para coletar dados como: velocidade dos ventos, temperatura, pressão, entre outros.

Atualmente a velocidade dos ventos é calculada a partir da análise de destruição deixada pelo evento. Existiram várias tentativas de lançamento de sensores para a captação de tais informações. Tim Samaras (BECHTEL; SAMARAS, 2009), em diversos momentos, construiu equipamentos e tentou deixá-los na rota do funil para que eles fossem sugados e assim pudessem marcar variáveis meteorológicas. Em 24 de junho 2003, Samaras conseguiu implantar uma sonda no caminho de um tornado F4, que atingiu uma localidade perto de Manchester, no estado da Dakota do Sul, nos Estados Unidos. A intenção da colocação da sonda era a de obter uma visão científica sobre o funcionamento interno de um tornado. Com tal equipamento, ele registrou a maior queda da pressão atmosférica já registrada, cerca de 100 hPa (mb) em menos de um minuto. Na localidade registrou-se 850 hPa (mb), a mais baixa já registrada relacionada à altitude do local (BECHTEL; SAMARAS, 2009).

Apesar de os EUA possuírem um grande número de radares destinado à previsão de tempo, ainda não conseguem prever com exatidão o local do surgimento e deslocamento de tornados. O que ocorre são alertas de probabilidade.

Hornes e Schulz (2021) realizaram um trabalho a respeito do tornado múltiplo vórtice ocorrido em Marechal Cândido Rondon-PR e tentaram verificar, por meio de imagens de radar cedidas pelo Simepar (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná), a possibilidade de identificação de um eco gancho (*hook echo*) antes da atuação do tornado. Este, quando verificado, pode ser interpretado como uma “assinatura” do fenômeno, possibilitando a identificação anteriormente à sua atuação. No entanto há de se destacar que nem toda tempestade tornádica produz esse tipo de assinatura e muitos tornados podem começar antes do desenvolvimento do gancho (FORBES, 1981). Para a atividade em Marechal, encontrou-se um apêndice, e o tempo estimado deste para obter um gancho com forte fluxo em 65dBZ foi de sete minutos apenas. Este seria o tempo de lançamento de um alerta para a população se proteger antes de o tornado tocar o chão para a situação descrita. Mas são necessárias mais análises para a verificação dessas assinaturas no Brasil, pois, como descrito anteriormente, há variações nas atuações.

Em um tornado, há uma grande dinâmica de comportamento de ventos que podem refletir na variação da destruição. A área central (nú-

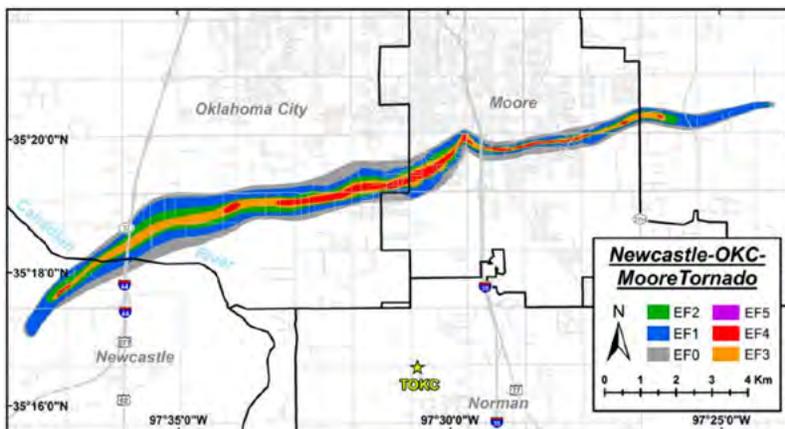


cleo) é a que produz os danos maiores, e sua largura pode variar conforme o tamanho do diâmetro do tornado. O diâmetro oscila segundo as condições meteorológicas e a rugosidade do terreno, assim a velocidade máxima tangencial dos ventos localizada no núcleo do tornado também varia conforme o seu tamanho, podendo apresentar entre 50 e 600 metros (DOMINGUEZ, D.; SELVAM, 2017), o que vai refletir na variação de danos. À medida que o tornado avança, a coluna de ar rotativa produz um longo rastro de destruição, sendo este contínuo ou intermitente.

A velocidade inicial do seu toque até a sua finalização é variável. Os tornados geralmente iniciam fracos e tendem aumentar gradativamente sua força. Quando se desestabilizam, a velocidade dos seus ventos tende a diminuir, assim o rastro de destruição apresentará diferenças de danos ao longo do percurso, mas isso não é uma regra.

Há variações dos danos no diâmetro do percurso do tornado de um único vórtice. Geralmente podem estar relacionadas à proximidade ou distanciamento do núcleo com a pressão mais baixa. Essa situação deve ser verificada em conjunto com o tipo de estrutura afetada (HONERKAMPA *et al.*, 2020).

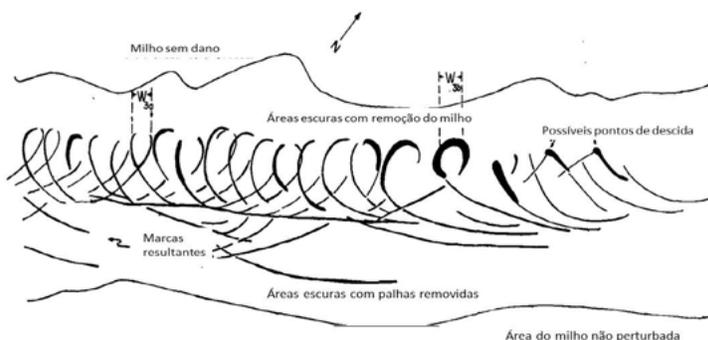
*Figura 2 - Trajeto do tornado de 20 de maio (Moore Oklahoma, 2013).
As áreas de dano da escala EF são codificadas por cores.*



Fonte: BURGESS *et al.*, (2014).

Quando se trata de múltiplos vórtices, a dinâmica é outra. Nesse caso, as áreas com maiores danos vão refletir o toque destes, os quais giram ao redor de um grande mesociclone que sustenta o tornado. Assim, a área de destruição apresenta-se com arcos de destruição, onde casas praticamente sem danos podem estar ao lado de locais totalmente destruídos, como a ocorrência descrita em Marechal Cândido Rondon no ano de 2015 (HORNES; BALICKI, 2018; HORNES; SCHULZ, 2021).

Figura 3 - Análise de detritos cicloidais com larguras de alças identificadas. A figura também apresenta os possíveis pontos de descida e deriva.



Fonte: Agee et al. (1977), adaptado por Hornes (2021).

A distância média percorrida pelos tornados no EUA é de 5,6 km. (NOAA, 2021), mas já houve registro de até 160 km (NOAA, 2022). No Brasil, os registros de Dyer (1986) indicaram um percurso de aproximadamente 70 km e áreas de destruição com até 1,9 km de largura.

Os tornados possuem uma velocidade de giro e também uma de deslocamento abaixo da nuvem de tempestade. Sua velocidade de deslocamento em terra varia de 16 a 32 km/h, com duração de poucos minutos até horas. O tornado de Marechal Cândido Rondon de 19 de novembro de 2015 obteve uma velocidade aproximada de 64 km/h com um percurso de 16 km e duração de aproximada de 15 minutos (HORNES; BALI-



CKI, 2018). O tornado de Campinas em 5 de junho de 2016 percorreu 40 km (NUNES *et al.*, 2017) a uma velocidade de deslocamento acima de 50 km/h (HELD, 2005). Como um tornado baseia-se na rotação, ou seja, em turbilhonamento em forma de funil, quanto mais ele permanecer em um determinado local, maior será sua destruição. Isso, pelo fato dele concentrar uma alta velocidade de giro e um tempo maior em determinada área.

A respeito da classificação de danos, esta foi desenvolvida pelo meteorologista da Universidade de Chicago, Tetsuya Theodore Fujita, com a colaboração de Allen Pearson do Storm Prediction Center (Centro de Previsão de Tempestades), no ano de 1971 (SPC; NOAA, 2021-2022). A primeira escala Fujita perdurou de 1971 até 2007. Ela se baseia principalmente no nível de destruição para determinar a velocidade dos ventos. Após o ano de 2007, ocorreram modificações para o melhoramento da escala Fujita, assim criou-se uma nova escala denominada de escala Fujita melhorada, ou reforçada. Essa escala passou a ser implementada em fevereiro de 2007, nos EUA.

Diante da dificuldade na identificação quanto à classificação dos tornados, principalmente em relação às escalas F3, F4, F5 e um possível F6 (também chamado de tornado inconcebível), que produzem danos quase similares, foi necessária a elaboração de uma nova escala Fujita, a qual atendesse às necessidades de maneira sólida e confiável. Em fevereiro de 2007, a Universidade de Chicago, nos Estados Unidos, propôs, através de um grupo de meteorologistas, a Escala Fujita Melhorada, ou simplesmente EF. Essa escala possui 28 indicadores de danos (ID), relacionando tipos de estruturas e vegetação afetados, em combinações com a velocidade dos ventos (CHRISTOPHERSON, 2012; NSSL, 2022).

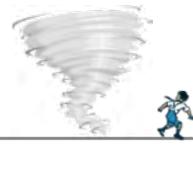
A atualização ocorreu devido à necessidade em melhorar a avaliação da relação velocidade e danos, causados diante da qualidade de construção e estruturas. A classificação foi construída a partir de um conjunto de estimativas e não necessariamente medidas. Elas variam de acordo com a estrutura, exposição aos ventos e tipos de vegetação encontrada (SPC; NOAA, 2021).

Essa escala não leva em consideração o tamanho dos tornados, e sim os estragos máximos de pontos no percurso (trilha de destruição). Sua classificação vai do mais fraco, o EF0, ao mais forte, o EF5.

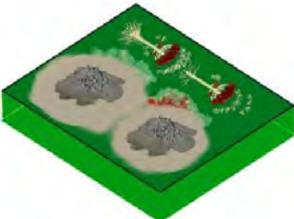
A ESCALA FUJITA MELHORADA

Tabela 1 – Escala melhorada para tornados

| ESCALA FUJITA MELHORADA (EF) | |
|--|--|
| Número EFM | Velocidade de rajada em 3 segundos, descrição dos danos |
| <p>EF0 = 105 a 137 km/h:</p>  | <ul style="list-style-type: none">• Alguns danos em antenas de TV; algumas árvores têm seus galhos quebrados e poderão cair se tiverem raízes rasas. |
| <p>EF1 = 138 a 177 km/h:</p>  | <ul style="list-style-type: none">• Destelhamento; janelas quebradas; Algumas árvores têm seus galhos quebrados, as que não possuem raízes profundas são facilmente arrancadas; automóveis em movimento São empurrados pelos fortes ventos para fora da estrada. |
| <p>EF2 = 178 a 217 km/h:</p>  | <ul style="list-style-type: none">• Telhados mais frágeis são completamente arrancados; edificações com estruturas fracas em áreas rurais são demolidas; grandes árvores são quebradas ou arrancadas; objetos leves são arremessados como mísseis; carros são arrancados da rodovia. |



(continuação)

| ESCALA FUJITA MELHORADA (EF) | |
|---|---|
| Número EFM | Velocidade de rajada em 3 segundos, descrição dos danos |
| <p>EF3 = 218 a 266 km/h:</p>  | <ul style="list-style-type: none">• Telhados e algumas paredes de casas de madeira são arrancados; alguns edifícios rurais são totalmente demolidos; vagões de trens e caminhões tombam; estruturas do tipo galpão-armazém com estrutura de aço são destruídas; carros são levantados do chão; muitas árvores são arrancadas e quebradas. |
| <p>EF4 = 267 a 322 km/h:</p>  | <ul style="list-style-type: none">• Casas de estrutura de madeiras são varridas, restando apenas pilhas de entulho; edificações com estruturas de aço são muito danificadas; árvores são descascadas pelos destroços lançados; carros, caminhões e trens tombam e são arrastados ou até lançados por distâncias; destroços grandes transformam-se em mísseis. |
| <p>EF5 = Mais de 322 km/h:</p>  | <ul style="list-style-type: none">• Casas de madeira são inteiramente lançadas, inclusive suas fundações; estruturas de aço e/ou concreto são muito danificadas; mísseis do tamanho de um automóvel são gerados; fenômenos incríveis podem ocorrer. |

Essa escala é atualmente a mais usada internacionalmente. No entanto há necessidade de se pensar uma nova escala para o Brasil, uma vez que as construções do país são diferentes, o que pode resultar em variáveis nos níveis de estragos.

Trombas e tornados também podem transportar animais, plantas, sementes e objetos a quilômetros de distância. A exemplo, cita-se a chuva de peixinhos ocorrida em Paracatu, no estado de Minas Gerais (PORTAL DOS BARCOS, 2007). Telhas, placas, isopores e outros objetos pertencentes a municípios de Xanxerê-SC foram encontrados na cidade de Lindóia do Sul-SC, a 50 km de distância (MARTINS, 2015).

Outra característica dos tornados é a capacidade de liquidificar e lançar objetos de forma rotacional, o que produz situações como discos fincados em árvores, carros pendurados em torres e até mesmo árvores açoitadas por pedaços de madeira (Figura 4), como os registrados no Tornado de Nova Laranjeiras em 1997. O tornado ainda pode descarrilhar trens.

108

Figura 4 - Açoitamento com tábua de madeira transpassada



Autor: Ademar Tessaro (1997).



No Brasil há registros de pessoas, animais e até carros que foram lançados por tornados. O evento tornádico ocorrido em Nova Laranjeiras-PR, relatado pela revista *Veja* em junho de 1997, trouxe diversos danos à cidade e possuiu uma velocidade tão intensa que chegou a arremessar pessoas. Ele foi classificado como um F3 na primeira escala desenvolvida por Fujita (BALICKI, 2017; VEJA, 1997).

Assim, concluímos este capítulo com a reflexão de que o Brasil precisa colocar este tema no planejamento e organização das cidades. Tornados existem no Brasil, e necessitamos estar preparados para esses eventos.

REFERÊNCIAS

109

AGEE, M. *et al.* Na observational Study of the West Lafayette, Indiana, Tornado of 20 March 1976. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 7, p. 893-907, 1977. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/105/7/1520-0493_1977_105_0893_aosotw_2_0_co_2.xml. Acesso em: 20 jun. 2022.

BALICKI, M. **Estudo de caso de um evento de tempestade severa ocorrido em Nova Laranjeiras (PR) em 13/06/1997**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Licenciatura em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

BECHTEL, S.; SAMARAS, T. **Tornado Hunter: Getting Inside the Most Violent Storms on Earth**. Washington National Geographic, 2009.

BURGESS, D. *et al.* 20 May 2013 Moore, Oklahoma Tornado: Damage Survey and Analysis. **American Meteorological Society**, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Path-of-the-20-May-tornado-EF-scale-damage-areas-are-color-coded-Boundaries-and-names_fig1_273627311. Acesso em: 17 jun. 2022.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas**: uma introdução à Geografia Física. 7. ed. Tradução de Francisco Eliseu Aquino *et al.* Porto Alegre: Bookman, 2012.

DOMINGUEZ, D.; SELVAM, R. P. Tornado Width for Computer Modeling from Google Earth Data and the Period of the Vortex. **Anais da AEI 2017**, ASCE, Oklahoma City, OK, 11 a 13 de abril, p. 470-483. 2017.

DYER, R. C. Rastros de Tornados no Sudoeste do Brasil, Leste do Paraguai e Nordeste da Argentina. *In: Anais SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, p. 589-603. 1986. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2009/02.10.18.19/doc/589-603.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

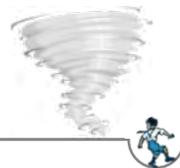
110

FORBES, G. S. On the Reliability of Hook Echoes as Tornado Indicators. **Monthly Weather Review – American Meteorologists Society**, p. 1457-1466. 1981. Recuperado de: <https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493%281981%29109%3C1457%3AOTROHE%3E2.0.CO%3B2>.

HELD, G. *et al.* Tornado Signatures for Nowcasting Using Radar and Lightning Observations in Brazil. **Geophysical Research Abstracts**, v.7, 6p., 2005.

HONERKAMPA, R.; YANB, G.; SNYDERC, J. C. A Review of the Characteristics of Tornadic Wind Fields through Observations and Simulations. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. v. 202, July 2020. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0167610520301057> Acessado em: 17 de jun. de 2022.

HORNES, K. L.; BALICKI, M. Caracterização do tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes em novembro de 2015. **RA'E'GA**, Curitiba, v. 44, p. 36-54, 2018.



HORNES, K. L.; SCHULZ, L. C. Assinatura de tornado em imagens de radar em ocorrência de 2015 em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes, PR. **Terr@ Plural**, [S.l.], v. 15, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/view/15413>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MARTINS, Valéria. Objetos de moradores são achados a quilômetros de distância de Xanxerê. **G1**, 22 abr. 2015. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2015/04/objetos-de-moradores-sao-achados-quilometros-de-distancia-de-xanxere.html>. Acesso em: 31 maio 2022.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Tornadoes Faq**. Disponível em: <https://www.weather.gov/lmk/tornadoesfaq>. Acesso em: 17 jun. 2022.

III

NSSL, National Severe Storms Laboratory; NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Severe Weather 101**. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/tornadoes/>. Acesso em: 1 jun. 2022.

NUNES, L. H. *et al.* Evidências de um tornado em campinas em junho de 2016: considerações preliminares. **Os desafios da Geografia Física na Fronteira do conhecimento**. Instituto de Geociências UNICAMP Campinas, 2017.

PORTAL DOS BARCOS. Chuva de peixes, peixes caindo do Céu. **YouTube**, 2 maio 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VCSGt-gDW-0>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SPC, Storm Prediction Center; NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Edwards, R. The online tornado faq. Frequently Asked questions about**. 2021. Disponível em: <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/#Damage>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SPC, Storm Prediction Center; NOAA's National Weather Service. **A Escala Fujita Aprimorada**. Disponível em: <https://www.spc.noaa.gov/efscale/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

VEJA. **Ventos da Morte**. São Paulo, ed. 1501, ano 30, n. 25. p. 85-25, jun. 1997.



COMO SE PROTEGER DE TEMPESTADES SEVERAS?

*Karin Linete Hornes
Adalberto Ben-Hur Bischof Junior
Mirian Schröder*

Figura 1 - Tornado Marechal Cândido Rondon - PR



Fonte: Frame do vídeo de autoria de Júnior Pereira (19 de novembro de 2015).

Como visto no capítulo anterior, o Brasil é um país que sofre com a incidência de desastres naturais. Anualmente, muitas vidas são perdidas em decorrência de raios, inundações, deslizamentos, vendavais e/ou tornados.

O presente capítulo é fruto das atividades do Grupo de Estudos de Desastres Naturais e Socioambientais (Gedens), do Laboratório de Ensino de Leitura e Escrita Acadêmica (Labelea), do Corpo de Bombeiros de Marechal Cândido Rondon e da Prefeitura Municipal de Marechal Cândido Rondon. A situação de produção deste estudo ocorreu após o desastre causado por um tornado múltiplo vórtice ocorrido em Marechal Cândido Rondon (Figura 1), o qual deixou o município em estado de calamidade (Figura 2) e quando se constatou a falta de preparação da população em relação à atuação de tornados, bem como desconhecimento geral de medidas protetivas.

Figura 2 - Caminhão tombado



Fonte: Vanda Moreira Martins (19 de novembro de 2015).

O objetivo do conjunto de atividades desenvolvido pelas entidades foi o de levar informações para a preservação da vida e minimização de impactos, aliando pesquisa e extensão para gerar e difundir informações a respeito dos riscos e da redução de desastres em tempestades severas.

Como já mencionado nos capítulos anteriores, muitas pessoas associam a atuação de tornados apenas aos Estados Unidos e, assim, iludem-se pensando que esses desastres naturais estariam distantes da nossa realidade. Podemos



afirmar que essa falsa conclusão ocorre pela falta de informação sobre o fenômeno, como também pela difusão midiática e/ou popular de afirmações equivocadas de que eventos tornádicos são uma exclusividade norte-americana.

Trazer informações sérias, verídicas e sem caráter sensacionalista seria a primeira ação em prol da conscientização de nossas comunidades. Não há defesa contra aquilo que não se conhece; não se elaboram estratégias e ações para algo não previsto nem desejado. Portanto, a difusão do conhecimento é um condicionante para qualquer medida preventiva de sucesso. E, nessas circunstâncias, é necessário unir a pesquisa, a extensão e os órgãos públicos. Ademais, os meios de comunicação são fundamentais para auxiliar na divulgação da correta informação.

Com base nessa percepção, após o advento do tornado que devastou o município de Marechal Cândido Rondon, no Paraná, no dia 19 de novembro de 2015, medidas foram tomadas a fim de mitigar os danos causados por eventos climáticos que a partir daquele momento viessem a ocorrer.

Em um primeiro momento, foi criado um grupo de estudos, como supracitado, a fim de realizar estudos que norteassem quais seriam as melhores e mais eficientes medidas de resiliência a serem adotadas.

O grupo de estudos foi concebido de forma adjunta ao curso de Geografia da Unioeste-Campus Marechal Cândido Rondon. Composto por diversos profissionais e instituições representadas (Corpo de Bombeiros, Prefeitura Municipal, psicólogos, físicos, fisioterapeuta, arquitetos, agrônomos, engenheiros, geógrafos e geólogos), a equipe buscou somar a parcela de conhecimento de cada um dos envolvidos de modo a formular ações e propostas comuns em benefício da comunidade atingida.

O resultado dessa ação conjunta foi a elaboração de um *folder* instrutivo. Na sua construção, tomou-se o cuidado para que fosse inclusivo e atingisse tanto crianças quanto adultos (Figura 3). No verso do *folder* (Figura 4), foram elencadas as medidas que devem ser tomadas antes e durante a tempestade, a fim de salvaguardar vidas em momentos de tempestade severa. O fundo da imagem (marca d'água) apresenta o portal da cidade todo destruído com o intuito de marcar a proximidade e a severidade da situação com um dos símbolos do município para a sensibilização da população.

Figura 3 – Folder sobre como se proteger de tempestades severas (frente)

116



Fonte: Grupo GEDENS (2017).

A proposta de criação do *folder* instrutivo exigiu um trabalho multidisciplinar. Além de estudos geográficos, da saúde, da agronomia, da engenharia, entre outros, também foram colocados em cena estudos sobre escrita e sobre o gênero *folder* (via equipe do Labelea). Dessa forma, a linguagem acadêmica e as pesquisas científicas puderem ser adaptadas ao público e ao objetivo específico desta publicação.



Figura 4 – Folder como se proteger de tempestades severas (verso)

Antes da tempestade

- Elabore um plano de comunicação familiar: oriente crianças e familiares sobre o que fazer, caso os telefones deixem de funcionar.
- Escute rádio para obter informações e instruções.
- Esteja atento às alterações nas condições do tempo.
- Evite sair quando houver previsão de tempo severo.
- Verifique na sua residência quais os locais mais reforçados (de preferência com laje) e oriente os familiares a utilizá-los em caso de tempestade.
- Ao sinal de tempestade, desligue os aparelhos elétricos e o gás.
- Tenha sempre à mão: lanterna, rádio, pilhas e celular com boa carga de bateria.
- Permaneça em local seguro, longe de janelas e portas. Evite segurá-las, pois há risco de acidentes.
- Evite abrigar-se em ginásios, postos de combustível e locais com telhados amplos.
- Se estiver na rua, procure abrigo no prédio mais próximo e, de preferência, nos pisos inferiores, próximos a escadas.
- Nunca fique embaixo de árvores ou postes. Se não houver local seguro, permaneça dentro do veículo.

Durante a tempestade

- Não toque em fios elétricos.
- Economize água, baterias e gás.
- Não trafegue por áreas atingidas, pois sua curiosidade dificulta o atendimento dos necessitados.
- Se você estiver em campo aberto, procure valetas e depressões. Nesta situação, deite-se encolhido, protegendo a cabeça.
- Caso o veículo seja atingido por destroços, pare-o, continue com o cinto de segurança e cubra a cabeça com os braços.
- Se estiver com pessoas feridas, ligue para o Corpo de Bombeiros: **193**.
- Siga as orientações da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros, para sua própria segurança.

Colaboração Imagem: Edmerson Sáez/Unioeste

Para receber os alertas da Defesa Civil sobre ocorrências de chuvas de granizo, tempestades e vendavais, basta se cadastrar, enviando um SMS gratuitamente para o número 40199, com o CEP de sua residência ou de outros locais de interesse. Você pode cadastrar quantos endereços quiser.

Não pague este panfleto em suas publicações.

Apoio:

SICOOB **SANCOR SEGUROS** **unioeste** **GEOGRAFIA**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Campus de Marombá, Toledo, Paraná

Fonte: Grupo GEDENS (2017).

O primeiro item do verso do *folder* (Figura 4), que se refere ao plano de comunicação familiar baseado em NOAAa (2017), prevê que os indivíduos tracem um plano, caso os celulares deixem de funcionar, ou seja, quem irá ao encontro de quem, quando e como irá.

O segundo item informa sobre o uso de rádio, uma vez que tanto a televisão como o rádio trazem informações a respeito da situação do tempo. No entanto, diante de tempo severo, o sinal do rádio local ou de outras rádios consegue se manter mais estável do que o da televisão. Um dos danos comumente causados durante tempestades severas é a falta de energia. Rádios a pilha podem funcionar, e se houver um radialista bem habilitado para prestar informações a respeito de como proceder em momentos antes, durante e depois da tempestade este poderá auxiliar verdadeiramente a população sobre quais as melhores medidas a serem adotadas. Também foi informado no *folder* sobre: estar atento às condições do tempo, evitar sair quando estas não são propícias, cancelar eventos, e sobre como conduzir as pessoas a locais seguros. A seleção das informações para o *folder* sempre primou por atitudes importantes em momentos típicos de tempo severo.

O reforço e o planejamento na construção auxiliam muito nas condições de sobrevivência, uma vez que abrigos subterrâneos são os mais seguros para esse tipo de evento (NOAAb, 2017). Dessa forma, é importante que as pessoas verifiquem nos seus locais de trabalho, de moradia e escolar quais seriam os cômodos ou locais mais seguros. Os locais mais frequentados e nos quais se permanece mais tempo são aqui listados, tendo em vista que o fenômeno não tem dia nem hora para acontecer, sendo preciso observar de forma preventiva os locais de uso mais comum.

Ter lanternas, rádio, pilhas e celulares com cargas à disposição pode ajudar. Ficar distante de janelas, portas, postes e árvores, bem como não se abrigar em estruturas de grande monta e com telhados amplos minimizam a possibilidade de ser atingido por estilhaços. Em Marechal Cândido Rondon, foi verificado que todas as edificações térreas entre 150 e 300 metros quadrados sofreram as maiores avarias (RODRIGUES, 2017), colocando as pessoas em risco iminente de acidentes. Caso se encontre em deslocamento e sem possibilidade de encontrar um abrigo, o indicado é permanecer no veículo parado e ficar em posição fetal, abaixado e protegendo a cabeça.

Em campo aberto, a sugestão é procurar valetas e depressões, deitar em posição fetal e proteger a cabeça. Durante e após o evento, deve-se ter atenção aos entulhos e fios elétricos, pois estes podem causar ferimen-



tos e até morte. Assim, é fundamental que o deslocamento ocorra somente em casos de urgência. Se estiver com pessoas feridas, o indicado é ligar ao Corpo de Bombeiros. No entanto, caso os telefones tenham deixado de funcionar, será necessário remover a vítima utilizando as técnicas de primeiros socorros e encaminhar a um hospital. É imprescindível que a população atingida ou não pela catástrofe siga as orientações da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros, pois, dependendo da dimensão dos estragos, as pessoas que não sofreram avarias poderão auxiliar as demais, constituindo assim a real função da Defesa Civil.

Economizar água e energia, bem como alimentos, é fundamental, tendo em vista que dificilmente esses serviços e produtos serão restabelecidos rapidamente. No *folder*, há o destaque para o SMS da Defesa Civil, que envia um alerta gratuitamente aos celulares cadastrados com o CEP da localidade, informando a possibilidade de tempo severo (DEFESA CIVIL, 2018).

O aprimoramento dos sobreavisos dos serviços meteorológicos é fundamental, a fim de alertar a Defesa Civil sobre a provável ocorrência de tempestades com certa antecedência em uma região determinada, para que essa informação atinja o maior número de pessoas e, quando esse alerta chegar, as comunidades saibam como agir.

Além das medidas já citadas, que são aplicáveis antes e durante as tempestades, deve-se considerar a necessidade de orientar também jovens que estão em idade escolar. A instrução continuada é necessária desde os primeiros anos escolares até o fim do ensino médio, para que assim seja possível, a longo prazo, doutrinar nossa população sobre qual a melhor ação a ser tomada em caso de tempestade.

Espera-se de sociedades desenvolvidas que, a cada evento severo, sejam retiradas as lições e que assim aquela população aprenda a melhor se defender. O reconhecimento e o conhecimento são as melhores ferramentas para a resiliência (PINHEIRO, 2017). Saber que os desastres continuarão a ocorrer, mas que vidas podem ser salvas, é o gatilho para desenvolver e implementar políticas de mitigação de desastres.

No caso específico de Marechal Cândido Rondon, a divulgação dessas informações ocorreu via transmissão radiofônica, jornais e even-

tos (CAMPANHA PARA PREVENÇÃO CONTRA TEMPESTADES SEVERAS, 2018; PESQUISAS, 2016) de forma instrutiva e preventiva a outros eventos meteorológicos que venham a atingir a população. Além dessa transmissão, o *folder* também foi entregue nas escolas municipais (tanto da rede pública quanto da privada), de modo a divulgar a informação ao maior número de pessoas.

Com este capítulo encerramos a proposta desta obra de apresentar um pouco da geografia dos Tornados no Brasil. Nela ficou evidente que as tempestades sempre atuaram em nosso território e que a região Sul do país é uma das que mais concentra atuações tornádicas, e que o Brasil já apresentou diversos tipos de tornados. Há ainda muito o que se fazer em termos de pesquisa e extensão para o reconhecimento do fenômeno e de sua dinâmica de atuação. Esta atividade exige parcerias e o envolvimento de várias instituições e profissionais numa perspectiva multidisciplinar e interdisciplinar, com um propósito único, o de melhorar esta sociedade para que se torne resiliente.

Mudanças climáticas ao longo da história geológica da Terra sempre existiram e continuarão acontecendo. Cabe a nós entendermos como as mesmas ocorrem, quais são as ameaças e perigos que nos cercam para podermos organizar e planejar para a sobrevivência. Há uma frase do geógrafo Aziz Nacib Ab'Saber, que diz o seguinte: “ninguém escolhe o Ventre, a localização Geográfica, a condição socioeconômica e a condição sociocultural para nascer. Nasce onde o acaso determina. Por isso, temos que cuidar de todos aqueles que estão em todos os recantos deste país”.

REFERÊNCIAS

CAMPANHA para prevenção contra tempestades severas inicia hoje em Marechal Cândido Rondon. **O Presente**, 19 set. 2018. Disponível em: <https://www.opresente.com.br/marechal-candido-rondon/campanha-para-prevencao-contra-tempestades-severas-inicia-hoje-marechal/>. Acesso em: 28 maio 2022.



DEFESA CIVIL. **Receber alertas da Defesa Civil por SMS**. Disponível em: <http://www.defesacivil.pr.gov.br/servicos/Seguranca/Defesa-Civil/Receber-alertas-da-Defesa-Civil-por-SMS-ERrZ4PN6>. Acesso em: 28 maio 2022.

NOAAa, National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <https://www.weather.gov/safety/tornado-prepare>. Acesso em: 10 jan. 2017.

NOAAb, National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/safety.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.

PESQUISAS sobre tornados serão detalhadas. **Rádio Difusora**, 2016. Disponível em http://www.radiodifusora.com.br/ver_noticia.php?uid=22741. Acesso em: 15 set. 2016.

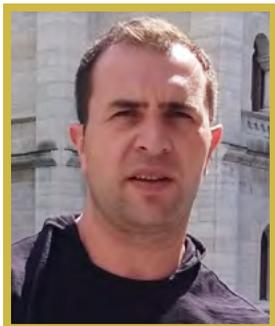
PINHEIRO, E. G. Orientação para planejamento em Defesa Civil. **Plano Estadual de proteção em Defesa Civil**. Curitiba: FUNESPAR, 2017. 106 p.

PRF PR. Tornado atinge Marechal Cândido Rondon. **YouTube**, 19 nov. 2015. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=vzECNljLj_0. Acesso em: 29 maio 2022.

RODRIGUES, N. A. **Caracterização da atuação do Tornado ocorrido em 19 de Novembro de 2015 em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes - PR**. 80 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Geografia) - Marechal Cândido Rondon, 2017.

TORNADO atinge Marechal Cândido Rondon e deixa rastro de destruição. **O Presente**, nov. 2015. Disponível em: <http://www.opresente.com.br/marechal/2015/11/tornado-atinge-marechal-candido-rondon-e-deixa-rastro-de-destruicao/2031290/>. Acesso em: 19 jun. 2016

SOBRE OS AUTORES



ADALBERTO BEN-HUR BISCHOF JUNIOR: Licenciado em Geografia e Bombeiro Militar no Estado Paraná, pós-graduado em Proteção e Defesa Civil, auxiliou no atendimento pós-tornado em Marechal Cândido Rondon.

122



ADRIANO KAPP JUNIOR: Graduado em Licenciatura em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Premiado no XXX Encontro Anual de Iniciação Científica da UEPG, com a pesquisa: Caracterização das atuações tornádicas do Dia 19/11/2015 nos municípios de Chapecó e Treze Tílias, Estado de Santa Catarina e Marechal Cândido Rondon, Estado do Paraná.



JAQUELINE ESTIVALLET: Técnica em Meteorologia, curso de Meteorologia inconcluso (UFSC), Psicóloga. Pesquisadora em desastres especialmente tempestades tornádicas, há mais de 20 anos, atuando principalmente no RS e SC, realizando visitas a locais de desastres por tornados, levantamento de danos e apoio emocional as vítimas. Caçadora de Tempestades desde 1995 no Cone sul e Brasil.



KARIN LINETE HORNES: Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. Professora do departamento de Geociências da UEPG atuante na linha de Dinâmicas Naturais e Análise Socioambiental no Programa de Pós-Graduação em Geografia, coordenadora dos projetos de pesquisa Tornados no Paraná e Desastres Naturais e Socioambientais no Brasil. E-mail:klhornes@uepg.br



KARINA ESTASKI: Graduada em Licenciatura em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Premiada no Encontro Anual de Iniciação Científica da UEPG com a pesquisa: Caracterização da atuação de tempestade severa ocorrida no município de Ponta Grossa.



MIRIAN SCHRÖDER: Doutora em Letras pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Docente efetiva da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) vinculada ao Colegiado do Curso de Letras-Português/Alemão/Espanhol/Inglês. Tem experiência na área de Linguística, com ênfase em Linguística Aplicada. Suas pesquisas envolvem os temas: a escrita acadêmica e os gêneros discursivos/textuais na sala aula. E-mail: msmirian@hotmail.com



TORNADOS NO BRASIL

Um dos fenômenos mais fortes da natureza capaz de unir o céu e a terra com ventos inimagináveis, existe no Brasil! Centenas de atividades tornádicas já foram registradas no país. Os tornados já trouxeram enormes perdas pessoais e materiais, mudando a paisagem por onde passam. A presente obra se dedica a apresentar e caracterizar atuações tornádicas nacionais, afim de sensibilizar para o tema. Tornados existem no Brasil! Você sabe o que fazer para se proteger? Convidamos a conhecer um pouco mais a respeito da geografia dos tornados no Brasil.

ISBN 978-65-87612-03-2



9 786569 612032

