

GÊNESE E IMPACTO DE TEMPESTADES SEVERAS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

BALICKI, Marcos – marcosbalicki88@gmail.com
Universidade Estadual do Centro-Oeste / UNICENTRO

ANDRADE, Aparecido Ribeiro de – apaandrade@gmail.com
Universidade Estadual do Centro-Oeste / UNICENTRO

HORNES, Karin Linete – karinhornes@yahoo.com.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG

RESUMO: Alguns eventos meteorológicos são considerados desastres naturais que afetam rapidamente a população, com destaque para as tempestades. Na presente pesquisa, pretendeu-se identificar a gênese das tempestades e como a população é impactada por tais eventos no estado do Paraná, Brasil, nos anos de 2013 a 2017. Com base em dados da Defesa Civil (eventos), do Instituto das Águas do Paraná (pluviosidade), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE - (imagens de satélite) e do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR - (imagens de Radar), foram destacados quatro tipos de eventos associados às tempestades convectivas/locais: chuvas intensas, vendavais, tornados e granizos. Os resultados mostraram que as chuvas intensas se concentram no período mais frio do dia e têm relação com as Frentes Frias, as Zonas de Convergência do Atlântico Sul, com os Sistemas Convectivos de Mesoescala e com a anomalia positiva da temperatura do Oceano Atlântico sul, atuando principalmente nas regiões sul e central do estado. Os vendavais e granizos têm maior efeito no período da meia tarde e no começo da noite, ocorrendo preferencialmente sobre áreas urbanizadas. Os tornados ocorreram em 2015, em um ano de forte influência do El Niño, no centro-sul e no oeste do estado. Os granizos mostraram uma tendência de ocorrer sucedendo-se a vários dias secos. Preferencialmente de oeste vêm as tempestades que promovem vendavais, tornados e granizos. As chuvas intensas provocaram o maior número de óbitos (10), os vendavais o maior número de afetados (42,8%) e os tornados foram os mais agressivos na relação óbitos e afetados, com 1:3.332 pessoas

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas intensas; Vendavais; Tornados; Granizos

GENESIS AND IMPACT OF SEVERE STORMS IN THE STATE OF PARANA, BRAZIL

ABSTRACT: Some meteorological events are considered natural disasters that quickly affect the population, with emphasis on storms. This research aims to identify the genesis and how the population is impacted by such events in the state of Parana, Brazil, in the years 2013 to 2017. Based on data from Civil Defense (events), Institute of the Waters of Parana (rainfall), INPE (satellite images) and the Meteorological System of Parana - SIMEPAR (Radar images), four types of events associated with convective / local storms were highlighted: heavy rains, gales, tornadoes and hail. The results showed that the intense rains are concentrated in the coldest period of the day and are related to the Cold Fronts, the South Atlantic Convergence Zones, the Mesoscale Convective Systems and the positive temperature anomaly of the south Atlantic Ocean, acting mainly in the south and central regions of the state. The gales and hail, has a greater effect in the period of mid-afternoon and early evening, occurring preferably over urbanized areas. The tornadoes occurred in 2015, a year of strong El Niño influence in the south-central and western parts of the state. Hailings showed a tendency to occur after several dry days. Preferably from the West, there are storms that promote windstorms, tornadoes and hail. Intense rains caused the highest number of deaths (10), gales the highest number of affected (42.8%) and tornadoes were the most aggressive in the death / affected ratio, with 1: 3,332 people.

KEYWORDS: Rainfall; Windstorms; Tornadoes; Hail.

GÊNESIS E IMPACTO DE LAS TORMENTAS SEVERAS EN EL ESTADO DE PARANÁ, BRASIL

RESUMEN: Algunos eventos meteorológicos se consideran desastres naturales que afectan rápidamente a la población, con énfasis en las tormentas. Esta investigación, tiene como objetivo identificar la génesis y cómo la población se ve afectada por tales eventos en el estado de Paraná, Brasil, en los años 2013 a 2017. Basado en datos de Defensa Civil (eventos), del Instituto de las Águas de Paraná (lluvia), INPE (imágenes de satélite) y el Sistema Meteorológico de Paraná - SIMEPAR (imágenes de radar), se destacaron cuatro tipos de eventos asociados con tormentas convectivas / locales: fuertes lluvias, vendavales, tornados y granizo. Los resultados mostraron que las lluvias intensas se concentran en el período más frío del día y están relacionadas con los frentes fríos, las zonas de convergencia del Atlántico sur, los Sistemas Convectivos de Mesoescala y la anomalía de temperatura positiva del océano Atlántico sur, actuando principalmente en las regiones sur y central del estado. Los vendavales y el granizo, tienen un mayor efecto en el período de media tarde y temprano en la noche, que ocurre preferiblemente en las zonas urbanizadas. Los tornados ocurrieron en 2015, un año de fuerte influencia de El Niño en las partes centro-sur y oeste del estado. Las granizadas mostraron una tendencia a ocurrir después de varios días secos. Preferiblemente desde el Oeste, hay tormentas que promueven tormentas de viento, tornados y granizos. Las lluvias intensas causaron el mayor número de muertes (10), los vientos el mayor número de afectados (42.8%) y los tornados fueron los más agresivos en la relación muerte / afectado, con 1: 3,332 personas

PALABRAS CLAVE: Fuertes lluvias; Tormentas de viento; Tornados; Granizo.

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica atmosférica proporciona diferentes tipos de eventos. A chuva é indispensável para a sobrevivência do ser humano, e a sua irregularidade afeta diretamente a agricultura, o abastecimento dos rios, lagos e até mesmo o custo da energia elétrica. A quantidade e/ou a intensidade pluviométrica podem influenciar na instabilidade social de uma determinada área. Nesse sentido, as tempestades severas estão entre as principais causas de prejuízos sociais e econômicos, mas que nem sempre estão associadas a grandes variações pluviométricas.

A Região Sul do Brasil se encontra em uma área de risco de eventos meteorológicos extremos e com a maior diversidade de desastres do país (CEPED, 2012). Para o estado do Paraná, diversos autores já contribuíram com seus estudos, tais como Dyer (1988), Santos (1989), Fendrich (1998), Andrade e Nery (2003), Thomaz e Vestena (2003), Longo, Sampaio e Suszek (2006), Gonçalves (2007), Gobato, Gobato e Fedrigo (2016), Tsay (2017) e Caldana et al. (2019). Contudo, poucos buscaram efetivamente estudar as dinâmicas das tempestades e como elas afetam diretamente a população.

Para Scortegagna e Rebolho (2012), no Sul do Brasil, o encontro de massas de ar Polar (fria e seca) e Tropicais (quentes e úmidas) ocorre muitas vezes de forma rápida, gerando vendavais e desencadeando tempestades mais severas. Essa região também recebe influência das massas de ar Equatorial continental e da Tropical atlântica (quentes e úmidas).

Os sistemas que normalmente promovem as chuvas na Região Sul são os ciclones (geralmente na costa Sul/Sudeste do Brasil), os sistemas convectivos persistentes, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e as circulações de

brisa próximas ao litoral (REBOITA et al., 2010). Outros gatilhos de tempestades são os Sistemas Frontais (SFs), as Frentes Frias (FFs), os Cavados (CVs), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e tempestades isoladas.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), um SF se apresenta como um sistema de frente delineado sobre uma carta sinótica de superfície, mais particularmente um completo sistema pertencente a uma depressão frontal especificada. Quadros et al. (2007, p. 69) comentam que esses Sistemas Frontais “estão intimamente relacionados com a trajetória dos centros de pressão e ciclogênese, no caso, para o litoral do Paraná, comandada principalmente pelo Anticiclone do Atlântico Sul e pelo Anticiclone Migratório Polar”.

As FFs ocorrem quando uma massa de ar frio avança em direção a uma região com ar quente (INPE, 2020), ou seja, uma massa de ar de alta pressão que se movimenta para um centro de baixa pressão. Esse processo é muito comum no Sul do Brasil, em estações de transição (primavera e outono) e principalmente no inverno. Já o CV é uma região alongada de uma relativa baixa pressão em um plano horizontal. Nessa região, as linhas de pressão não são fechadas, apresentando uma ondulação aberta para o lado das altas pressões (INPE, 2020).

Os SCMs são facilmente detectados por imagens de satélite, por seu tamanho, tempo de duração e gradiente de temperatura de topo de nuvens. As características dessas conglomerações estão associadas à umidade e à temperatura em escalas meso e locais. De acordo com Ferreira (2017), esses sistemas estão comumente associados a chuvas muito intensas, a enchentes, a granizo e a descargas atmosféricas, preferencialmente em médias latitudes.

Campos e Eichholz (2011) comentam que os SCMs tropicais são menores e caracterizados por um ciclo diurno, controlado pelo aquecimento radiativo. Já os subtropicais, por exemplo, na América do Sul, preferem uma fase noturna de maturidade sobre a Argentina, contrastando com um pico de maturidade diurna sobre o Uruguai e o Sul do Brasil. Reboita et al. (2010) e Barry e Chorley (2013) diferem-nos essencialmente em três formatos: linear (tempestades em linha, geralmente com maiores probabilidades de ventanias próximas a superfície), semicircular alongada e em CCMs.

Os estudos sobre os CCMs se devem inicialmente a Maddox (1980) na região central dos Estados Unidos. Na América do Sul, os primeiros estudos foram elaborados por Velasco e Fritsch (1987), comparando os dados com as ocorrências da América do Norte. De acordo com Dias (2008, p. 1), “os CCMs estão frequentemente associados a eventos de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e até tornados, motivando seu estudo com base nas aplicações em previsão do tempo”.

As ZCAS são sistemas que perduram por mais de 3 dias no setor Sul-Sudeste do Brasil (REBOITA et al., 2010). Ocorrem preferencialmente durante o verão (QUADRO et al., 2012), sendo característica importante da circulação de umidade na América do Sul. As ZCAS apresentam um corredor de umidade no sentido NW-SE, desde a Amazônia até o Atlântico Sul. No Brasil, essa banda de nebulosidade se estende do centro-sul da Amazônia, regiões do Centro-Oeste e

Sudeste, centro-sul da Bahia, norte do estado do Paraná e nordeste de Santa Catarina, seguindo em direção ao Oceano Atlântico sudoeste (FERREIRA; SANCHES; SILVA DIAS, 2004).

Outro fator que fortalece o desenvolvimento das tempestades severas na porção central da América do Sul são os Jatos de Baixos Níveis (JBNS) e os Jatos de Altos Níveis (JANs). Jatos de baixos níveis são fluxos de alta pressão (frio) que se deslocam em alta velocidade de vento entre 1000 e 2000 metros de altura. Nesses, a umidade condensa frequentemente e precipita na região de convergência situada na saída do jato (MARENGO et al., 2004). Segundo Paegle (1998 apud MARENGO et al., 2004), os JBNS ocorrem preferencialmente a leste de uma topografia mais alta, como os Andes na América do Sul, justamente onde se localiza a região de estudo (estado do Paraná). Os JANs (frios e mais secos) estão relacionados ao deslocamento mais rápido das nuvens altas.

As tempestades isoladas que surgem nas bordas dos CCMs e SCMs são as mais perigosas (BARRY; CHORLEY, 2013), pois, ao final de tarde, há maior liberação do calor latente e consequente diminuição da temperatura superficial, o que também é provocado pela mudança do ponto de orvalho. Na América do Sul geralmente se formam no norte da Argentina e oeste do Paraguai, e seguem na direção norte, nordeste e sudeste (VESILIND, 2004).

O fato é que toda tempestade severa é extrema, mas nem toda a tempestade extrema é severa. Se uma delas ocorrer em uma região isolada e não causar nenhum dano direto ou indireto, sua existência poderá passar despercebida. Existem definições diferentes sobre o tema, mas, no geral, as tempestades severas seriam as que causam os maiores danos à população, ou seja, tem de existir a presença humana (VESTENA, 2017).

Segundo McNulty (1995), as tempestades severas são aquelas que produzem rajadas de vento acima de 83,4 km/h, em que há a presença visível de tornados e/ou precipitação de granizos maiores que 1,9 cm de diâmetro. Já para Frediani (2003), as tempestades severas se caracterizam pelo tempo de duração, geralmente de 2 a 6 horas. Barry e Chorley (2013) relacionam as tempestades potencialmente severas com uma grande instabilidade vertical, capaz de provocar eventos como vendavais, granizo e eventualmente tornados, mais comuns com a presença de nuvens Cumulonimbus do tipo supercélula.

As supercélulas são tipos raros de nuvens rotativas que normalmente estão associadas a tempo severo, geralmente isoladas e mais comuns sobre os continentes. Se caracterizam essencialmente pela presença do mesociclone (DOSWELL; BRUGESS, 1993). Para Almeida (2006), há nelas um sistema duplo de correntes de vento: um quente que sobe e outro frio que desce. A presença de supercélulas tem um bom indicativo de tempo extremo, pois a sua estrutura indica grande possibilidade de ocorrer algum evento catastrófico.

Na base das supercélulas podem surgir nuvens parede que casualmente se fecham formando um funil de vento, alongar-se e toronar no chão (tornado). Para a estimativa dos estragos deixados na trilha dos tornados, a mais usual é a Escala Fujita Melhorada (ou simplesmente EF). Essa é dividida em seis categorias, de EF-0, para o mais fraco, até o EF-5, o mais forte. Porém tornados também podem ocorrer sem a presença de mesociclones (landspout).

Marcelino et al. (2005 apud LIMA, 2014), baseados em dados da Defesa Civil do estado do Paraná, citam que entre 1990 e 1999 metade dos desastres

naturais foi de origem meteorológica extrema. Esses eventos podem causar impactos indiretos, tais como: inundações, alagamentos, enchentes, movimento de massa, e impactos diretos, por exemplo: chuvas intensas, tempestades de raios, vendavais, tornados e granizo. Esses são os "tipos" de eventos associados a tempestades classificados pela Defesa Civil.

As chuvas intensas são oriundas de tempestades bem organizadas. Muito calor, alta umidade e ponto de orvalho favorável são seus combustíveis. Caracterizam-se essencialmente por descarga de grande volume de precipitação em curtos espaços de tempo. Esses tipos de eventos causam grandes prejuízos, como erosões agressivas, inundações e prejuízos à agricultura (ARAÚJO, 2006).

Já os vendavais e os granizos costumam ocorrer associados às nuvens do tipo Cumulonimbus. Ao atingirem grandes altitudes com temperaturas negativas, as nuvens sobem e o topo resfria, então, o ar do topo desce pela parte interna delas e se espalham em todas as direções. Elas são denominadas como downburst ou microburst (ou micro explosão) (LIMA, 2014).

Esses fenômenos se diferenciam dos tornados pela forma de alterar a paisagem, no formato semicircular ou radial, com estragos do centro para as bordas, como na posição das quedas das árvores, por exemplo. As microexplosões podem ser definidas como pequenas downburst com menos de 4 km de diâmetro e duração de 2-5 minutos, e os "macroburst" ou "família de downburst", apresentam extensão maior que 4 km de diâmetro e duração de 5-20 minutos (FERREIRA, 2017).

A partir desse panorama, pretendeu-se neste trabalho evidenciar que os danos causados por esses eventos normalmente estão associados a tempestades convectivas (ou locais). Complementa-se, ainda, o fato da contribuição no intuito científico e político-social, pois, uma vez que reconhecido o problema, fica mais fácil de delinear estratégias para solucionar e melhorar a resiliência da população. Em síntese, o objetivo geral do estudo foi identificar a tipologia, a dinâmica e como a população é impactada pelas tempestades no estado do Paraná, utilizado um recorte temporal de cinco anos (2013 a 2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estado do Paraná (Figura 1) é uma unidade da República Federativa do Brasil com área de 199.315 km². Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os estados que formam a Região Sul do país.

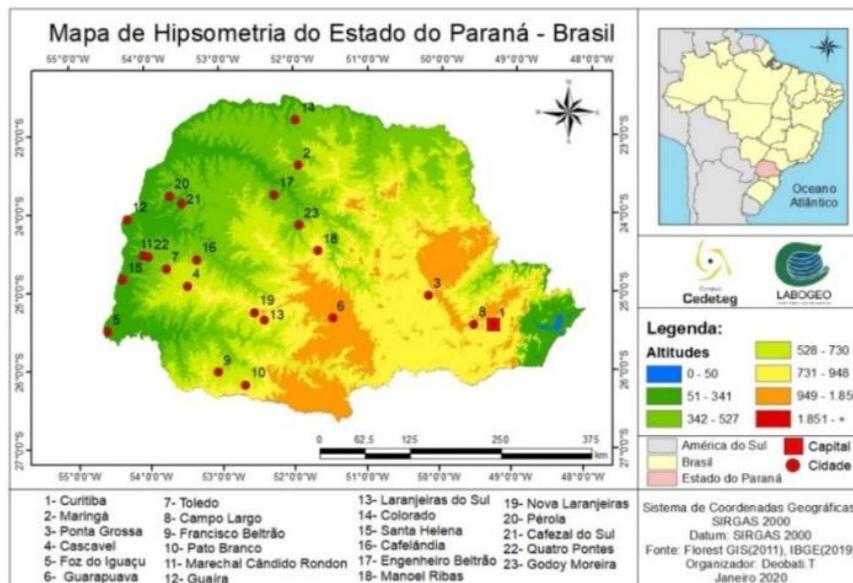


Figura 1 - Mapa da área de estudo, hipsometria e municípios destacados. Org.: Deobati e Balicki (2020) com auxílio do Software ArcGis 10.3.

O estado pode ser representado por cinco unidades geomorfológicas que se sucedem de leste para oeste: o litoral, a serra do mar, o primeiro planalto (ou de Curitiba), segundo planalto (ou de Ponta Grossa) e o terceiro planalto (ou de Guarapuava) (MAACK, 1981).

A população do estado do Paraná é estimada em 11 milhões de pessoas, com densidade de 52,40 hab./km² (IBGE, 2019). Seus residentes são predominantemente alfabetizados (93%), além disso, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio é de 0,79, considerado de nível alto.

O predomínio da vegetação é do tipo Mata Atlântica, sobressaindo-se as araucárias (*Araucaria angustifolia*) nas regiões mais altas e úmidas. O clima do estado do Paraná é do tipo mesotérmico, sem estação seca, com índices pluviométricos variando de 1.200 a 1.950 milímetros anuais (PALHARES, 2007).

Pela classificação climática desenvolvida por Wladimir Köppen, tendo como base a temperatura e a vegetação, e expressa por letras correspondentes a determinado clima, o estado do Paraná tem o clima tipo Cfa (Clima subtropical, com verões quentes e temperaturas superiores a 22°C no verão, com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco) no oeste, norte e litoral e também Cfb (Clima temperado, com verão ameno, com chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C, com precipitação entre 1.100 a 2.000 mm, ocorrendo geadas severas e frequentes) no sul, sudeste e nordeste do estado (IAPAR, 2019).

Quando ocorre um evento meteorológico severo no referido estado, a população normalmente solicita o trabalho da Defesa Civil. Esse órgão é o responsável pelo conjunto de medidas permanentes que visam a evitar, a prevenir ou a minimizar as consequências dos eventos desastrosos e a socorrer as populações atingidas, preservando a sua moral, limitando os riscos de perdas materiais e restabelecendo o bem-estar social (DEFESA CIVIL, 2018). Sempre que solicitado, após o fim do trabalho em função de determinado evento, esse órgão elabora resumos e tabelas sobre o ocorrido e os transfere para um banco

de dados, que permite mostrar com clareza a localização dos eventos que mais afetaram a população de um determinado local e para um período específico.

Dessa forma, a origem dos dados utilizados para o presente estudo, isto é, as ocorrências de eventos nos 399 municípios do estado do Paraná foram obtidas junto ao site da Defesa Civil¹. Nesse site, que utiliza a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), é possível definir qual “tipo” de evento afetou a população. Os dados (chuvas intensas, vendavais, granizo e tornado) são registrados por meio da observação dos episódios e/ou pelos danos causados, ou seja, mesmo que ocorra um evento em uma área rural ou pouco habitada, os técnicos da Defesa Civil preenchem a ficha e são responsáveis pelas informações do banco de dados, inclusive pela escolha do código COBRADE.

Além desse órgão, há aquele que monitora e disponibiliza dados pluviométricos do território do Paraná, o Instituto das Águas do Paraná, que conta com dados de pluviosidade de 499 postos pluviométricos presentes em 289 municípios, os quais foram acessados e estão disponíveis eletronicamente². Após acessar e salvar os dados, esses foram organizados em formato de planilhas no software Excel e analisados seus totais mensal e anual, a partir da soma total das alturas diárias de precipitação.

As imagens de radar utilizadas neste estudo foram fornecidas pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), as quais possibilitaram identificar a gênese, a intensidade, a duração e a direção das supercélulas. Esse procedimento foi realizado por meio da simples observação visual (empírica) das referidas imagens em comparação com as datas e com os horários dos eventos.

Os dados de recorrências foram espacializados utilizando-se o Software SURFER 13, no qual foi eleita a técnica de krigagem para realizar a interpolação destes. Esse é um método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionais. Para o correto funcionamento desse processo “nas variáveis regionalizadas deve existir certa continuidade espacial, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimativa de pontos” onde “o valor da variável seja desconhecido” (LANDIM, 2000, p. 9).

Para identificar a direção das nuvens, foram utilizadas imagens de satélite GOES 12 e GOES 13 do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), fornecidos na página da Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados foram acessados no modo “T realce” e de alta resolução³, em cinco imagens sequenciadas de cada evento, de acordo com as datas e os horários fornecidos pela Defesa Civil, e analisado sua direção de forma visual com o uso de uma rosa dos ventos com 8 subdivisões (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO). Ao todo, foram analisadas 3.255 imagens de satélite para traçar as rotas das tempestades que produziram as quatro modalidades de evento de Tempestade convectiva/local (chuva intensa, vendaval, granizo e tornado). As tempestades de raios não foram consideradas por uma questão de espaço e pelo baixo número de afetados no período 2013-2017 (217).

¹ Dados disponíveis em: <<http://www.geodc.pr.gov.br/geodc/pages/templates/initialpublic.jsf?windowId=5d8>>.

² Dados disponíveis em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264>>.

³ Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>>.

Nas imagens de satélite foram verificadas as origens (direções) dos sistemas (nuvens) como definidoras para identificação das: massas de ar, SCMs, CCMs, ZCAS e tempestades isoladas. Os cavados foram identificados por meio dos boletins do INPE.

Os dados de períodos de ocorrência do El Niño – Oscilação Sul e anomalias das temperaturas superficiais dos Oceanos Atlântico e Pacífico - foram compilados do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) .

De acordo com Thomaz e Vestena (2003), a intensidade e o volume são importantes características para o desenvolvimento de desastres relacionados a eventos de desencadeamento pluviométrico. Nesse sentido, Righetto (1998) afirma que, em geral, a equação para chuvas intensas apresenta o seguinte formato: $I=K.TR^a/(t.d+B).c^a$, em que I: intensidade da precipitação (L T-1); TR: tempo de retorno (anos); td: tempo de duração da chuva (T); K, a, B e C: parâmetros de ajuste, adimensional. Vale ressaltar que a nomenclatura “chuva intensa” utilizada pela Defesa Civil não foi a mesma constante na literatura, pois as equações locais para definição não são utilizadas pelo órgão, mas sim a alta pluviosidade em curtos espaços de tempo, afetando a população de determinada área.

A definição de rajadas de vento acima de 84 km/h para classificação de tempestades severas, conforme cita McNulty (1995), também não é considerada, mas sim as que são capazes de causar danos econômicos e/ou pessoas afetadas. O mesmo ocorre para granizos, não considerando somente os acima de 1,9 cm de diâmetro, porém, os que causam danos sociais e econômicos. Mas ao final, foi possível identificar e quantificar os municípios, os afetados e os quatro “tipos” de eventos provenientes de tempestades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de 2013 a 2017 foram registrados 204 eventos de chuvas intensas em 153 municípios, 801 eventos de vendavais em 235 municípios, apenas 4 de tornados em 5 municípios e 330 de granizos em 194 municípios (DEFESA CIVIL, 2018).

Uma das primeiras informações encontradas se refere aos horários das ocorrências registrados pela Defesa Civil do Paraná, associando esses quatro tipos de eventos às tempestades. A identificação dos horários em que todos ocorreram é requisito fundamental para a resiliência da população, haja vista que, com eles, é possível uma melhor orientação, buscando identificar e prevenir os impactos causados pelos eventos.

Na figura 2 é possível identificar a distribuição das ocorrências e os horários em que efetivamente ocorreu o evento, de acordo com os dados da Defesa Civil do estado do Paraná do período 2013 a 2017.

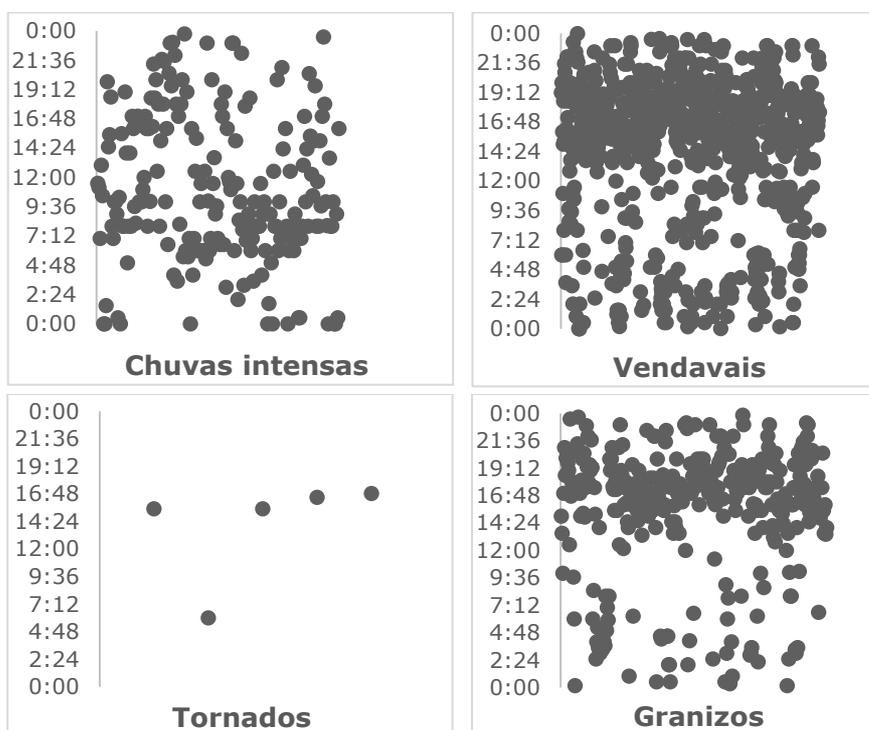


Figura 2 - Gráficos com a distribuição dos horários das ocorrências dos eventos. Fonte: Defesa Civil (2018).

Pelos horários de ocorrências apresentados para chuvas intensas, foram reportados 125 eventos das 00h00min até 11h59min, e 79 eventos das 12h às 23h59min, logo, os períodos mais frios do dia (madrugada e manhã) concentraram maior número de ocorrências (63,2%). Em contrapartida, os eventos de vendavais, de tornados e de granizo estão associados às grandes nuvens Cumulonimbus, as quais têm uma liberação máxima do calor latente no período compreendido entre o meio da tarde (15h) e começo da noite (19h), fato já constatado por Frediani (2003). Geralmente esses eventos ocorrem associados a nuvens Cumulonimbus, algumas que são do tipo supercélula.

Outra informação importante é a direção das nuvens, ou seja, qual a sua origem e qual o seu destino. Essa informação, obtida pela análise de imagens de satélite, indica que geralmente está associada à massa de ar atuante ou seguindo direções predefinidas de jatos de baixa e de alta. Depois de analisadas imagens dos satélites GOES 12 e GOES 13, foi possível verificar a predominância dessas direções representadas nos gráficos da Figura 3.

Nos eventos de chuvas intensas, a direção de noroeste para sudeste é predominante, seguido pelas tempestades na direção de oeste para leste. A principal causa se deve a uma temperatura acima da média no oceano Atlântico Sul, o que favoreceu o deslocamento de Frentes Frias, Sistemas Frontais e Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sobretudo associada à massa Equatorial continental e os SCMs.

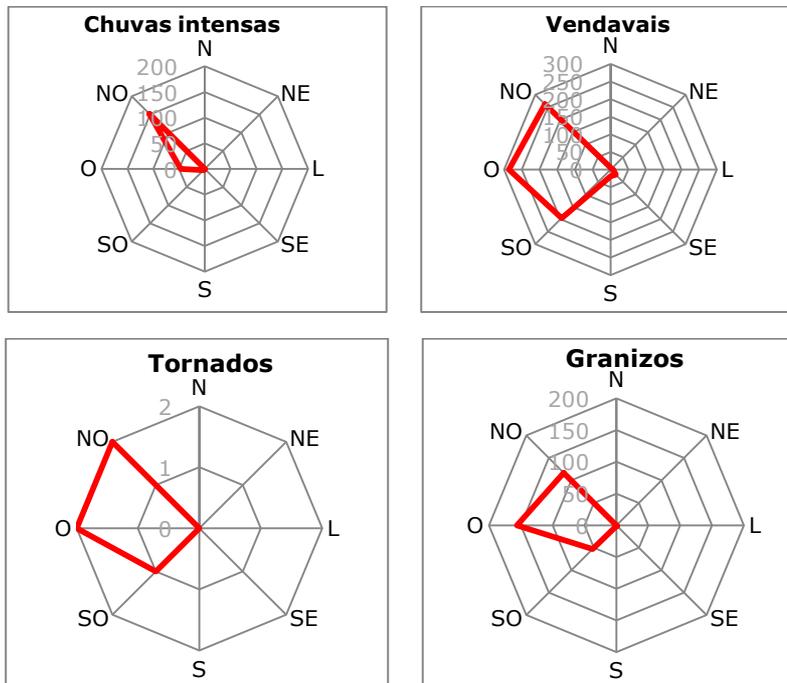


Figura 3 - Gráficos de direções de nuvens dos tipos de eventos. Org.: Balicki, M. (2019).

As nuvens de vendavais destacam-se da direção oeste, noroeste e sudoeste rumo ao quadrante leste, concentrando a maioria dos eventos. Isso se deve ao fato de que as tempestades ocasionadas por FFs geralmente se deslocam de oeste para leste no Paraná, o que promove o deslocamento de ar quente e úmido na vertical, formando Cumulonimbus que geram os vendavais e provocam grande variação na temperatura durante o dia (amplitude) pelas correntes descendentes frias do topo das nuvens, durante e após os eventos.

Os dados disponíveis para tornados apontam que a direção predominante das tempestades é no sentido sudeste e leste, associados aos CCMs e à ação da mTc. Para granizo, percebe-se que a maioria das tempestades segue na direção sudeste, leste e nordeste. Essa relação aproxima-se com o estudo de Vesilind (2004) no que diz respeito ao deslocamento de tempestades severas na região.

A partir das informações das datas, elencaram-se também as estações do ano associadas ao número de eventos, demonstradas na figura 4. Dos gráficos analisados, os vendavais e os granizos têm uma frequência mais bem distribuída ao longo dos anos e das estações, sendo que a maioria dos municípios é atingida no inverno e na primavera. Os tornados foram ocasionais e as chuvas intensas mais concentradas em alguns períodos.

Destacam-se dois período para episódios de chuvas intensas: o inverno do ano de 2013 e principalmente o outono de 2014. Tais eventos estão relacionados principalmente à elevação rápida de cursos d'água, aos movimentos de massa, à inundação, à enchente e aos alagamentos.

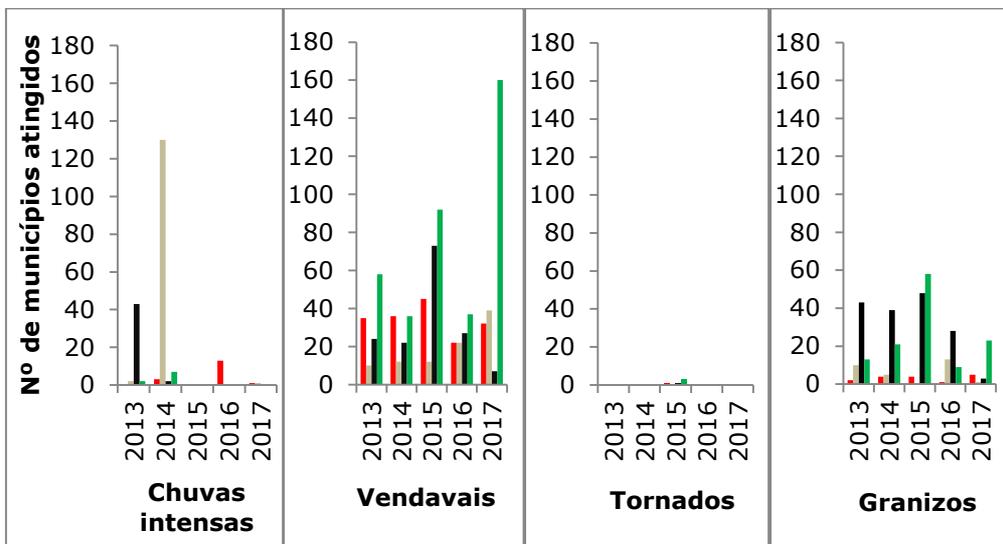


Figura 4 - Gráficos do número de eventos por estações do ano (verão: Vermelho; outono: Cinza; inverno: Preto e primavera: Verde). Fonte: Defesa Civil (2018). Org.: Balicki, M. (2019).

Utilizando os dados da Defesa Civil, as datas e os municípios atingidos por chuvas intensas, esses foram relacionados com a precipitação de 8 dias fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná da seguinte maneira: os 6 dias anteriores, o dia da ocorrência e o dia posterior da estação mais próxima da área afetada. Dos 204 eventos, dividiram-se cinco quartis pelo número de afetados em uma amostra de 45 municípios, demonstrados na figura 5.

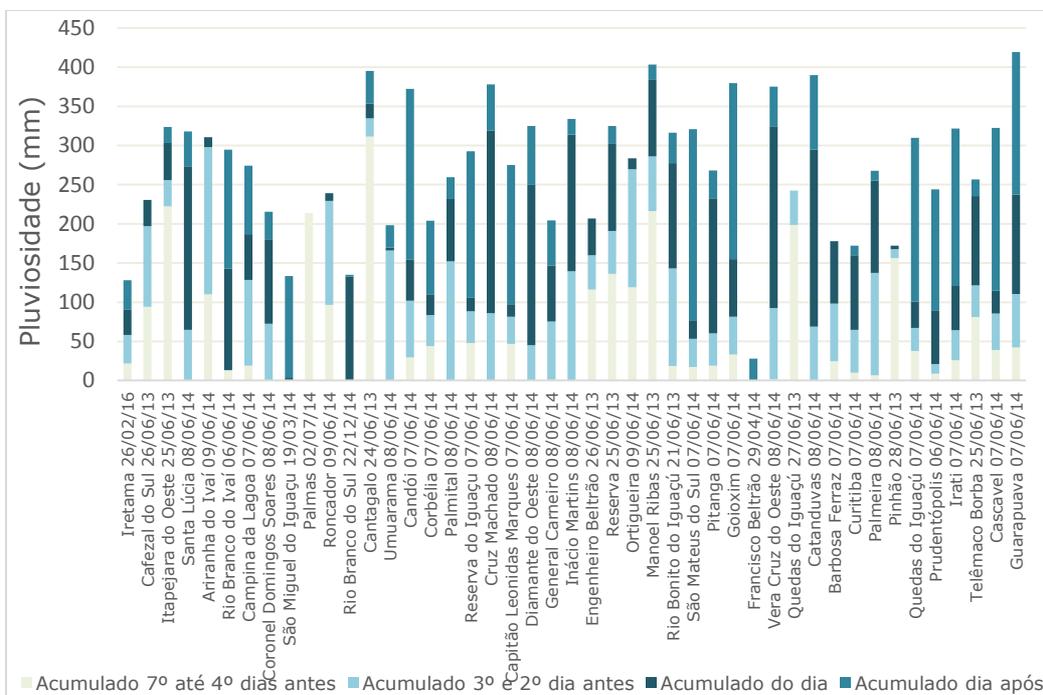


Figura 5 - Amostra da pluviosidade e municípios atingidos por chuvas intensas. Org.: Balicki, M. (2019).

Observa-se que, em geral, a precipitação no dia do evento nem sempre é a mais representativa para caracterizar os episódios de chuvas intensas. O que chama a atenção são os altos valores no acumulado em 8 dias sequenciais, pois muitos deles excedem facilmente os 200 mm de precipitação (84,4%). As altas pluviosidades de dias anteriores são fundamentais para ampliar os efeitos de chuvas intensas, e a sua continuação após a data de ocorrência é fator determinante no maior número de afetados.

Em média chove 72,26 mm no dia após as ocorrências, 78,52 mm no dia do evento (principal), 64,25 mm nos dois dias anteriores aos eventos e 57,34 mm no acumulado do 7.º até 4.º dia anterior. As ocorrências de Guarapuava e Cascavel (recordes de afetados no período) tiveram a concentração maior de precipitação no dia seguinte ao evento, ou seja, o solo, que já estava saturado, ao receber mais precipitação (chuva) sem a capacidade de infiltração e de promover o rápido escoamento superficial, provoca movimentos de massas, inundação, alagamentos e enchentes, nesses ou em municípios vizinhos.

Em alguns eventos, o dia da ocorrência é o menos representativo em pluviosidade ou até mesmo ausente; por isso, a aplicação da equação de chuvas intensas, nessa perspectiva da Defesa Civil (para afetados e óbitos), não se mostrou eficaz.

Outro aspecto relevante é o fato de que o período entre os dias 06 e 09 de junho de 2014 (apenas 4 dias) concentrou sozinho 125 eventos de todo o recorte temporal estudado (2013 a 2017), ou seja, 61,27% do total, ocasionado pela atuação de uma FF. O segundo período mais representativo foi entre o dia 20 de junho de 2013 a 01 de julho de 2013 (12 dias), com a ocorrência de 45 eventos, ou seja, 22,05% do total, também associados a passagens de FFs.

Um fator relevante, em se tratando de eventos de origem meteorológica, se dá pelo seu fator de recorrência (retorno ou repetição). Portanto, pode-se inferir que se ocorreram várias vezes o mesmo evento, a probabilidade de uma nova ocorrência é proporcionalmente maior. Para isso, nesta análise é interessante visualizar o número de vezes que o evento de chuva intensa ocorreu nos mesmos municípios no período 2013 a 2017 (Figura 6).

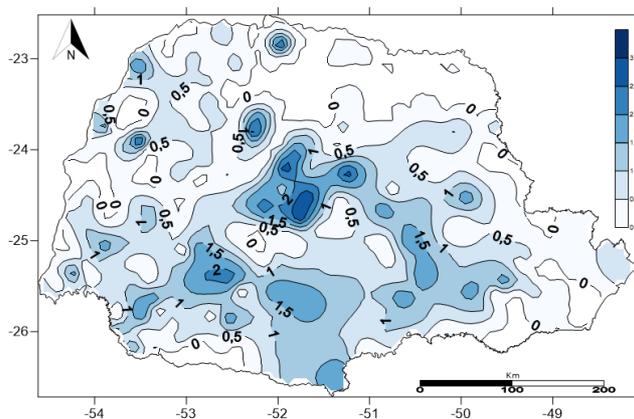


Figura 6 - Mapa de recorrência de chuvas intensas de 2013 a 2017. Org.: Os autores (2020).

Os cinco municípios de maiores recorrências foram Cafezal do Sul, Colorado, Engenheiro Beltrão, Godoy Moreira e Manoel Ribas, todos com 3

repetições no período. Nota-se pelo mapa e pelos dados uma ligeira recorrência sobre os municípios localizados no centro, no oeste e no sul do estado, como Guarapuava e Cascavel, os quais já têm grande número de pessoas afetadas e de elevadas recorrências.

Associando essas ocorrências ao ENOS-El Niño Oscilação Sul, não foi possível encontrar uma relação positiva com os eventos de chuva intensa no estado do Paraná no período estudado. Entretanto, uma melhor análise com a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Sul se torna relevante. Com picos nos anos 2013 e 2014, percebe-se uma possível relação com as anomalias positivas da temperatura superficial desse oceano, formando zonas de baixa pressão e propiciando o deslocamento de Frentes Fria, da massa Equatorial continental da região da Amazônia ou a formação de SCMs e CCMs.

De acordo com os dados de vendavais, nota-se que o período da primavera, principalmente do ano de 2017 (Figura 4), se destaca com 160 eventos em 107 municípios atingidos. A principal causa se deve ao deslocamento de FFs sobre o Sul do Brasil, após períodos mais secos e quentes.

Os vendavais foram os eventos que mais ocorreram em praticamente todas as regiões do estado. Do ano de 2013 até o ano de 2017, foram contabilizados 801 eventos pela Defesa Civil. A partir do número e da localização dos eventos, elaborou-se o mapa de recorrência (Figura 7) sobre os municípios paranaenses.

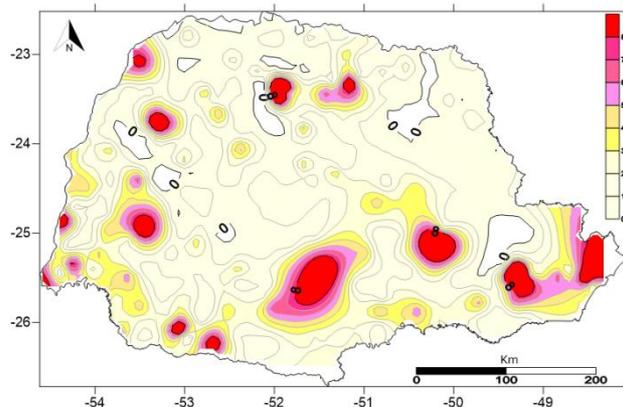


Figura 7 - Mapa de recorrência de vendavais de 2013 a 2017. Org.: Os autores (2020).

De acordo com o mapa da figura 7, os locais de maiores concentrações foram em áreas urbanas mais densas. Curitiba e região metropolitana, Maringá, Ponta Grossa, Guarapuava e Cascavel tiveram mais ocorrências e afetados, e isso pode ser explicado pelo tipo e pelo adensamento de construções dos imóveis nessas cidades. Isso tanto tem um efeito no processo de convecção como também no aumento de possíveis afetados, quando comparado a municípios de menor porte, tanto em relação aos efeitos de ilhas de calor.

Apesar desses dados serem oficiais, não existe certeza de que os eventos registrados em áreas rurais tenham sido inseridos no banco de dados. A metodologia da Defesa Civil não esclarece como esses dados são coletados. Portanto, o mapa de recorrência serve mais para uma comparação entre as cidades do que entre os municípios como um todo.

Os tornados foram ocasionais no estado do Paraná. No período de 2013 a 2017, quatro tornados tocaram a superfície de 5 municípios paranaenses: Pérola, em 20/01, com 18 afetados e 2 óbitos; Francisco Beltrão, em 14/07, com 341 afetados; Cafelândia, em 09/10, com 2 afetados; Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes, em 19/11, com 6.239 e 65 afetados, respectivamente (DEFESA CIVIL, 2018). Esses eventos ocorreram no oeste e centro-sul do estado. Todos os referidos tornados aconteceram em 2015, em um ano de um dos El Niño mais fortes já registrados pela série histórica. Foram dois tornados na primavera (Cafelândia e Marechal Cândido Rondon/Quatro Pontes), um no verão (Pérola) e um no inverno (Francisco Beltrão).

O radar meteorológico do Simepar, em Cascavel, capturou imagens das nuvens supercélulas que promoveram tornados no estado do Paraná em 2015, como o evento de Marechal Cândido Rondon (Figura 8).

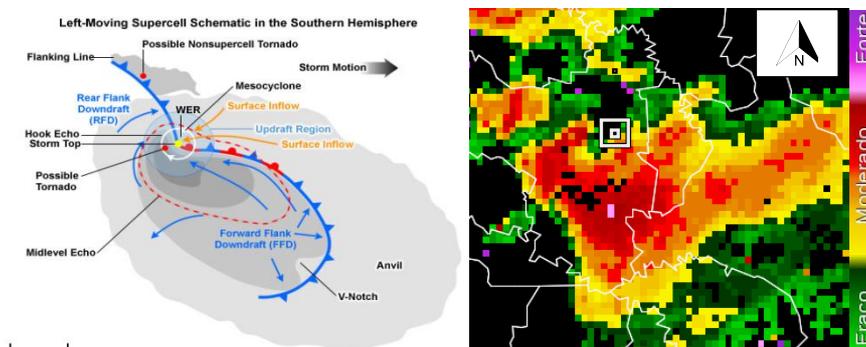


Figura 8 - Esquema de nuvem supercélula com mesociclone e imagem de radar. Fonte: The Comet Program (2010, a esquerda) e Cortesia do Simepar (2015, a direita; adaptado por BALICKI, 2020).

Compara-se pelas imagens da figura 8 o eco-gancho (hook echo), a região do giro do mesociclone para o tornado que se aproxima da área urbana (região quadriculada) de Marechal Cândido Rondon em 19/11/15 às 15h:45min e a nuvem na linha de flanco. A direção da nuvem foi de oeste para leste, mas, de acordo com dados obtidos em campo por Hornes e Balicki (2018), a direção da trilha de estragos do tornado (17 km) foi de noroeste para sudeste.

O ano de 2015 também foi o ano com maior número de eventos de granizo (110), mas nenhum evento no outono, diferente do que se esperava por se tratar de uma estação de transição e quando são normais as FFs e o desenvolvimento de Cumulonimbus, pois quanto maior o cisalhamento vertical, os granizos ganham destaque. Na sequência, depara-se com uma quantidade expressiva no inverno e principalmente na primavera. Na Região Sul do Brasil, são dois os tipos predominantes de formação que promovem granizos: os CCMs e o avanço de FF, principalmente em períodos de El Niño.

Ao todo foram 330 eventos de granizo no período em 194 municípios (DEFESA CIVIL, 2018). Relacionaram-se esses eventos aos dados de pluviosidade da estação mais próxima, registrados no Instituto das Águas do Paraná, possibilitando verificar se os dias anteriores mais secos interferiram ou não na precipitação com granizo logo nas primeiras tempestades (Figura 9).

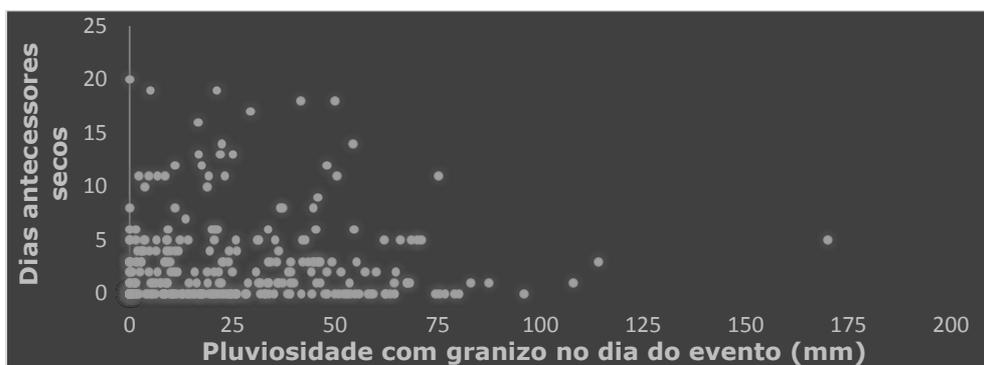


Figura 9 - Pluviosidade com granizo em relação aos dias antecessores secos. Org.: Balicki, M. (2019).

Do total de eventos, 225 (68,3%) ocorreram após vários dias sem chuva (0 mm) e 105 (31,7%) foram em dias que se sucederam a alguma pluviosidade anterior a ocorrência. Na média, precipitou-se 25,63 mm no dia do evento, após uma média de tempo de aproximadamente 49 horas sem chuva.

As tempestades de granizo normalmente ocorreram após períodos secos e com alta concentração de calor no solo, isso porque a poeira, os pólenes, a fuligem de queimadas e outros microrganismos, como cita Tsay (2017), são mais leves. Essas se concentram em camadas mais altas e frias da atmosfera, nas quais congelam junto às nuvens Cirrus. Quando as nuvens aumentam em tamanho vertical pelas correntes ascendentes, formam convecções muito profundas a ponto de se unir a elas (melhor colactância), originando rapidamente Cumulonimbus com torre e bigorna. Esse fluxo de energia é rápido, concentrado e descarregado em períodos curtos, principalmente à tarde.

Ao elencar o número de vezes que os municípios foram atingidos no período 2013 a 2017, o centro-sul do estado se destaca (Figura 10). Nota-se que os municípios com maior número de afetados também são os que apresentaram as maiores recorrências no período. O destaque é a região próxima à capital, no noroeste, e principalmente o centro-sul, que é uma das regiões mais úmidas do estado, logo, com muito calor e umidade, têm-se os combustíveis fundamentais para o desenvolvimento de nuvens de grande e rápido desenvolvimento vertical (Cumulonimbus).

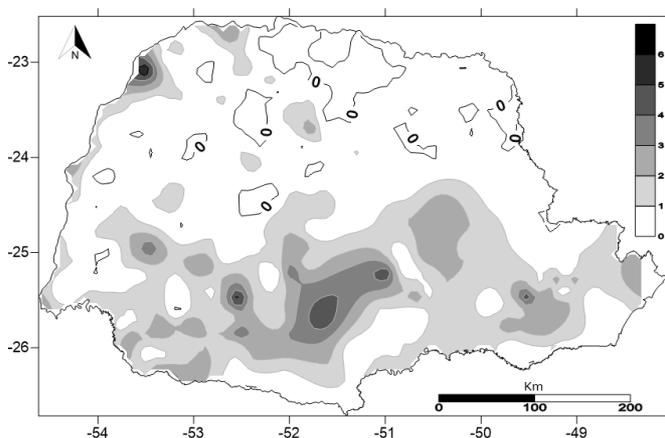


Figura 10 - Mapa de recorrência de granizo de 2013 a 2017. Org.: Os autores (2020).

O município de Campo Largo teve o maior número de pessoas afetadas por um único evento (110.000) em 17/10/2014 (DEFESA CIVIL, 2018). Os três municípios com maiores recorrências de granizo no período foram Campo Largo (5), Querência do Norte (6) e Rio Bonito do Iguazu (6), que é cidade vizinha a oeste de Laranjeiras do Sul, destaque no estudo de Caldana et al. (2019) sobre esses tipos de eventos na mesorregião centro-sul do estado do Paraná.

Por fim, para verificar o impacto de tais tempestades na população do estado do Paraná, elencaram-se os dados de pessoas afetadas e de óbitos, descritos pela Defesa Civil (Quadro 1):

Quadro 1 - Relação de afetados e de (óbitos) para os "tipos" de evento de tempestades no estado do Paraná de 2013 a 2017

EVENTO:	2013	2014	2015	2016	2017
CHUVAS INT.	166.145 (2)	740.982 (8)	0	22.620	37
VENDAVAIS	750.956 (2)	149.805 (2)	97.982 (1)	23.041 (1)	35.270
TORNADOS	0	0	6.665 (2)	0	0
GRANIZOS	84.915	180.047	155.235 (1)	44.942	12.122
TOTAL:	1.002.016 (4)	1.070.834 (10)	259.882 (4)	90.603 (1)	47.429

Fonte: Defesa Civil (2018).Org.: Balicki, M. (2020).

No período 2013 a 2017, os eventos decorrentes de tempestades afetaram 2.464.854 pessoas no estado, provocando 19 mortes. O ano de 2014 foi o mais representativo da série, e 2017 foi o menor. Dos eventos analisados, os vendavais foram os mais representativos em relação aos números de afetados (1.057.054 ou 42,8% do total) e as chuvas intensas foram responsáveis pelo maior número de óbitos (10). Individualmente, os tornados se mostraram mais agressivos na relação de óbitos e afetados, com 1:3.333 pessoas. Os granizos destacaram-se nos anos de 2014 e 2015.

CONCLUSÕES

A maioria das tempestades severas no estado do Paraná ocorreu nas estações de transição, com destaque para a primavera, preferencialmente entre o período das 15h às 18h. A direção predominante das tempestades foi de noroeste para sudeste. O oeste do estado apresentou as tempestades mais agressivas, enquanto o centro-sul e o litoral apresentaram os maiores índices pluviométricos, associados principalmente à massa Tropical atlântica e aos avanços de FFs; isso significa que uma grande concentração de nuvens não é tão favorável a uma probabilidade maior de eventos meteorológicos severos, exceto para chuvas intensas.

Os eventos de chuva intensa tiveram principalmente relação com as FFs, com a atuação da massa Equatorial Continental (ZCAS) e com a Tropical Atlântica (litoral), associadas à anomalia da temperatura do Oceano Atlântico Sul e dos SCMs. Essas ocorreram principalmente no outono do ano de 2014, nos municípios de Guarapuava, na região central, e de Cascavel, os quais tiveram como consequências outros episódios associados, como inundações, enchentes e movimentos de massa.

Os vendavais foram mais representativos na primavera, com destaque para os municípios de Guarapuava, Foz do Iguaçu, no oeste, Maringá, no norte e Curitiba, no leste. O horário preferencial de ocorrência desses foi entre o meio da tarde (15h) e início da noite (19h). Tais eventos ocorreram principalmente no avanço da massa Polar atlântica, pelos vales do Rio Iguaçu e Rio Paraná, preferencialmente associados às nuvens que promoveram granizo (Cumulonimbus).

Os eventos de tornados aparentemente mostraram uma relação com períodos fortes de El Niño e ao avanço da massa Tropical continental. No estado do Paraná, os tornados em geral tendem a ocorrerem em baixa intensidade, conforme as categorias na Escala Fujita Melhorada (EF), como o EF-0 em Cafelândia, os EF-1 em Marechal Cândido Rondon/Quatro Pontes e Pérola e o EF-2 em Francisco Beltrão. Contudo, devido às condições geográficas e climáticas, foram identificadas categorias mais altas, como o EF-3 em Nova Laranjeiras na tarde de 13/06/1997 (BALICKI; HORNES, 2018), o que deve preocupar principalmente cidades com maiores concentrações populacionais do oeste, como Foz do Iguaçu, Cascavel, Toledo, Santa Helena, Guaíra, Pato Branco e Francisco Beltrão, pois eventuais tornados em categorias ainda mais altas (principalmente os violentos EF-4 e EF-5) poderiam causar aumento considerável de fatalidades.

Os eventos de granizo tiveram maior influência da ocorrência de dias anteriores secos, associados com o avanço de FFs, CVs e CCMs. Esses se concentraram no inverno e na primavera, com maior representatividade em anos de El Niño. Os destaques foram as cidades de Campo Largo, Maringá e Foz do Iguaçu, em eventos associados a tempestades isoladas durante a tarde.

A massa de Ar Polar Atlântica foi determinante para a formação de tempestades de rápido desenvolvimento vertical. O ano de 2014 foi destaque de chuvas intensas, 2015 para tornados e granizos e 2017 para vendavais. Os vendavais e os granizos foram os eventos mais comuns no estado.

Existem duas hipóteses prováveis para a maior intensidade e maior concentração dos eventos extremos no estado do Paraná. Ambas estão associadas ao relevo, pois as figuras 6, 7 e 10 demonstram uma relação da ocorrência dos eventos com locais mais elevados (maior altitude). Entretanto, principalmente com relação a chuvas intensas e granizo, o aumento da quantidade de calor dentro das nuvens é que intensifica esse processo, podendo estar associado a maior ou a menor proximidade da nuvem com a superfície, o que impulsiona para o alto esse calor dentro das nuvens e provoca ao mesmo tempo o cisalhamento e a coalisão das moléculas de água. Em contrapartida, essa dinâmica está totalmente associada à convecção local e nem sempre há a necessidade dessa proximidade das nuvens com a superfície (altitude), mas simplesmente ao fato do ponto de orvalho de uma determinada região ser menor em relação à outra.

A partir dos dados demonstrados e analisados, recomenda-se, portanto, uma melhoria no sistema de monitoramento desses tipos de fenômenos para servir de alerta à população. A construção de residências com laje, com telhados e janelas mais resistentes já faz parte da resiliência local. A Defesa Civil deveria ampliar a divulgação de pesquisas acadêmicas, buscando orientar estudantes de escolas e de colégios, além de construir um sistema de alerta mais preciso e

pontual, na escala diária e local, para que a população possua mais ferramentas para se antecipar de catástrofes.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e suporte à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. M. P. Fenômenos meteorológicos extremos e a segurança das instalações nucleares. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear). Sec. de Ciência e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro-RJ, 2006. 128 p.

ANDRADE, A. R.; NERY, J. T. Análise da precipitação pluviométrica diária, mensal e interanual da bacia hidrográfica do Rio Ivaí, Brasil. *Investigaciones Geográficas*. Cidade do México, v.52, n.1, p, 7-30, 2003.

ARAÚJO, L. E. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. 94 p.

BARRY, R. G; CHORLEY, R. J. *Atmosfera Tempo e Clima*. 8.ed. Londres: Routledge, 2013. 512 p.

BALICKI, M; HORNES, K. L. Diferenciação de eventos atmosféricos extremos: caso de Nova Laranjeiras em 13/06/1997. *Anais... XVIII Simpósio de Climatologia Geográfica*. Juiz de Fora/MG, 2018. Disponível em: <<http://www.abclima.ggf.br/sbcg2018/site/anais/arquivos/109/4137ba902ef2725c83e92d320eef2749.pdf>>. Acesso em: jan/2020.

CALDANA, N. F. DA S; RUDKE, A. P; SILVA, I. DA; NITSCHKE, P. R; CARAMORI, P. H. Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesoregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. *Caderno de Geografia*, v.29, n.56, p, 61-80, 2019.

CAMPOS, C. R. J. D; EICHHOLZ, C. W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 29, n. 2, p, 331-345, 2011.

CEPED – Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisas sobre Desastres/Universidade Federal de Santa Catarina. *Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2010*. Volume Brasil. Florianópolis: CEPED/UFSC. 2012. 127 p.

DEFESA CIVIL. Defesa Civil o que é. Disponível em: <<http://www.defesacivil.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=>>. Acesso em: jul/2018.

DIAS, M. A. F. da S. Complejos Convectivos de Mesoescala sobre região Sul do Brasil, *Climanálise especial/conmemoración de 10 años* (CPTEC/INPE: www.cptec.inpe.br), P. 22, 2008.

DOSWELL, C. A; BRUGESS, D. W. Tornadoes and Tornadic Storms: A Review of Conceptual Models. In: CHURCH, C. et al. (E.d.) The Tornado: its structure, dynamics, prediction, and hazards. Geo. Monograf; n.79, p. 161-172, 1993.

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

FENDRICH, R. Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba: Champagnat, 1998. 99 p.

FERREIRA, N. J; SANCHES, M; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.1, p. 89-98, 2004.

FERREIRA, V. Um estudo observacional de rajadas de vento geradas por tempestades severas no sul do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2017, 122 p.

FREDIANI, M. E. B. Tempestades Severas. São Paulo: USP, 2003.

GOBATO, A; GOBATO, R; FEDRIGO, D. F. G. Study of tornadoes that have reached the state of Parana. J. Sci. Educ, p, 1-27, 2016.

GONÇALVES, R. C. Análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná. Dissertação (\ em Engenharia de recursos hídricos e ambiental). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba - PR, 2007. 206 p.

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

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. Atlas Climático do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acesso em: jul/2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estado do Paraná. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: dez/2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Glossário. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#tab-2>>. Acesso em: jan/2020.

LANDIM, P. M. B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, 2000. 18 p.

LIMA, E. G. de. Análise da ocorrência de downburst no Brasil e estudo da simulação do fenômeno. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2014. 137 p.

LONGO, A. J; SAMPAIO, S.C; SUSZEK, M. Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel-PR. Varia Scientia, v.6, n.12, p, 16-30, 2006.

MAACK, R. Geografia física do estado do Paraná. Rio de Janeiro; José Olímpio. 1981.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. Bull. Am. Meteorol. Soc. 61, p, 1374-1387, 1980.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004.

MCNULTY, R. P. Severe and convective weather: A central region forecasting challenge. *Weather and Forecasting*; vol. 10, p, 187-202, 1995.

PALHARES, J. M. Paraná aspectos da geografia: características do relevo paranaense. 3.ed. Foz do Iguaçu: Cip-Brasil, Rj, 2007. 138 p.

QUADRO, M. F. L. DIAS, M. A. F. DA S; HERDIE, D. L. GONÇALVES, L. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.2, p, 152-162, 2012.

QUADROS C. J. L; MARONE E; ÂNGULO R. J; MARITINS G. J; NETTO JR J. P. B. Dinâmica morfosedimentar associada à incidência de sistemas frontais em duas praias do litoral paranaense. *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR, p, 65-74, 2007.

REBOITA, M. S; GAN, M. A; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, p, 185-204, 2010.

RIGHETTO, A. M. Hidrologia e recursos hídricos. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 840p.

SANTOS, L. W. S. Regionalização das Velocidades Extremas e Temperaturas do Vento no Centro-Sul do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1989. 110 p.

SCORTEGAGNA, A; REBOLHO, B. C. S. Principais áreas de risco para desastres naturais na cidade de Curitiba-PR, no ano de 2009. *Anais... 6º Sem. sobre Sustentabilidade*. Org. por Neves, L.S. Ed. CRV, Curitiba, p. 192-208, 2012.

THE Comet Program. Supercell Structure on Radar. Developed in partnership with The COMET® Program. 2010. Disponível em: <http://www.faculty.luther.edu/~bernatzr/Courses/Sci123/comet/radar/severe_signatures/navmenu.php_printname_print_supercell.htm_page_2.0.0.htm>. Acesso: jan/2020.

THOMAZ, E. L; VESTENA, L. R. Aspectos climáticos de Guarapuava-PR. Guarapuava: UNICENTRO. 2003. 106 p.

TSAY, G. S. Composição microbiológica cultivável do granizo de uma tempestade no sudoeste do Paraná. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Londrina, 2017. 72 f.

VELASCO, I; FRITSCH, J. M. Meso-scale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, v. 92, D8, p. 959-961, 1987.

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

VESTENA, L. R. Desnaturalização dos desastres: em busca de comunidades resilientes. Curitiba: CRV, 2017. 116 p.