

Andrey Luis Binda

Licenciado e bacharel em Geografia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste-UNICENTRO (Guarapuava/PR). Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE (Francisco Beltrão/PR). Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS (Porto Alegre/RS)
abinda@uffs.edu.br

Guilherme Luiz Girardi

Graduando em Geografia pela Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS - Chapecó/SC.
voluntário de Iniciação Científica
guilherme.lgirardi@gmail.com

Marciele de Aguiar

Graduanda em Geografia pela Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS - Campus Chapecó/SC.
Iniciação científica voluntária
marciele.aguiar@hotmail.com

A história de um desastre natural: foi um ciclone bomba que atingiu a região sul do Brasil em junho/julho de 2020?

Resumo

A presente pesquisa tem como objetivo analisar o evento meteorológico extremo ocorrido no fim do mês de junho e início de julho de 2020. Amplamente divulgado nos meios de comunicação como “ciclone bomba”, a ciclogênese explosiva desencadeadora desse evento causou impactos nos três estados da região sul do Brasil. Porém, uma dúvida emerge: foi de fato a passagem do ciclone bomba sobre a área atingida o causador das intensas rajadas de vento? Para responder a esse questionamento, recorreu-se à cartografia dos municípios atingidos, bem como, da dinâmica atmosférica. Dados horários de pressão atmosférica e rajada máxima de vento de 12 estações meteorológicas automáticas foram usados para avaliar as respostas nas variáveis meteorológicas. Os resultados expressam, de fato, uma ciclogênese explosiva relacionada ao evento, mas cujas rajadas estiveram associadas ao deslocamento das diferentes partes componentes do ciclone extratropical. A área atingida pelas rajadas de vento no dia 30 de junho, por exemplo, não corresponde ao setor de passagem do centro ciclônico, mas antes do sistema frontal frio a ele acoplado.

Palavras-chave: Tempestades, pressão atmosférica, rajadas de vento, evento meteorológico extremo.

Abstract

THE STORY OF A NATURAL DISASTER: WAS A CYCLONE BOMB THAT HIT THE SOUTHERN REGION OF BRAZIL IN JUNE/JULY 2020?

The present research aims to analyze the extreme meteorological event that occurred between June 30 and July 1, 2020. Widely called in the media as “bomb cyclone”, the explosive cyclogenesis that triggered this event caused impacts in the three states from the southern region of Brazil. However, a doubt emerges: was the passage of the bomb cyclone over the affected area the cause of the intense wind gusts? To answer this question, the cartography of the affected municipalities was used, as well as the associated atmospheric dynamics. Hourly atmospheric pressure and maximum wind gust data from 12 automatic stations were used to assess responses to weather variables. The results express, in fact, an explosive cyclogenesis related to the event, but whose gusts were associated with the displacement of the different component parts of the extratropical cyclone. The area affected by the gusts of wind on June 30, for example, does not correspond to the sector of the cyclonic center, but before the cold frontal system coupled to it.

Key-words: Storms, atmospheric pressure, wind gusts, extreme weather event.

1. Introdução

Há uma visão edênica criada historicamente que considera o Brasil um verdadeiro paraíso terrestre, livre de riscos naturais (MELLO; ZANETTI; PAPALI, 2014). Porém, o crescente número de desastres naturais observados nas últimas décadas vem desmistificando essa concepção, ainda mais quando se observa que o próprio Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED/UFSC, 2013) aponta para um potencial crescimento futuro. Diversos autores (TOMINAGA, 2009; DIAS, 2014) atribuem tal crescimento às próprias mudanças que se processaram no Brasil nas últimas décadas, com destaque para o crescimento e a concentração populacional nas áreas urbanas, sobretudo a partir de 1960 (SANTOS, 1993).

Assim, o crescimento desordenado das cidades, a ocupação de áreas de risco, a falta de infraestrutura, as desigualdades socioespaciais urbanas se apresentam como os resultados que, acompanhados pelas mudanças climáticas recentes (MARENGO, 2009; TOMINAGA, 2009; DIAS, 2014), incrementaram a vulnerabilidade a desastres naturais. Entende-se, aqui, como vulnerabilidade “...um estado determinado pelas condições físicas, sociais, econômicas e ambientais, as quais podem aumentar a suscetibilidade de

uma comunidade ao impacto de eventos perigosos" (TOMINAGA, 2009, p. 17). Tavares (2009) destaca que, de todos os desastres naturais brasileiros, aqueles originados de dinâmica externa, ou seja, da atmosfera, são os representantes majoritários frente aos demais.

Para se ter uma ideia, dos 11 desastres naturais apresentados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED/UFSC, 2013), cinco deles (estiagem, vendaval, granizo, tornado e geada) apresentam ligação direta com a dinâmica atmosférica e outros cinco (enxurrada, inundação, alagamento, movimento de massa e erosão) são fator dependente. Dessa forma, embora a dinâmica atmosférica possa influenciar em diferentes grupos, o destaque é dado aos grupos de desastres naturais meteorológicos e climatológicos, adotando-se a duração do evento extremo como critério de diferenciação. Enquanto os desastres naturais meteorológicos ocorrem a partir de fenômenos atmosféricos de curto prazo (tornados, ciclones, frentes frias, tempestades, granizo, para citar alguns), os desastres naturais climatológicos estão associados àqueles de maior duração, ou seja, de médio/longo prazos (estiagens e secas, por exemplo) (MARENGO, 2009; DIAS, 2014).

O sul do Brasil, quando comparado com as demais regiões geográficas, lidera o ranking brasileiro de ocorrência de desastres naturais meteorológicos, sobretudo aqueles associados à ocorrência de tornados (98%), granizo (88%), geada (87%) e vendavais (77%) (CEPED/UFSC, 2013). Isso coloca essa região do país como uma área "... marcada não somente pela ocorrência de grandes desastres, mas também pela frequência e variedade de eventos adversos..." (CEPED/UFSC, 2013, p.117). Mesmo que vistos individualmente, alguns desses desastres naturais podem ocorrer a partir de um mesmo sistema atmosférico, o que eleva a importância de se compreender a dinâmica atmosférica desencadeadora.

Neste íterim, a presente pesquisa objetiva conduzir uma análise acerca do evento meteorológico extremo ocorrido no fim do mês de junho e início de julho de 2020. Amplamente divulgado nos meios de comunicação como "ciclone bomba", a ciclogênese explosiva (INMET, 2020; NASCIMENTO et al., 2022) desencadeadora desse evento causou impactos nos três estados da região sul do Brasil, notadamente, no estado de Santa Catarina. Para se ter uma dimensão, este desastre natural foi considerado por Rodrigues (2020, p. 5) como "...o evento que em curto espaço de tempo apresentou maior abrangência de tempestade severa já registrada em

SC". Dos 295 municípios catarinenses, 257 foram atingidos, com prejuízos registrados tanto nas áreas urbanas como nas rurais (GIEHL et al., 2020), informações estas que relevam a importância de um estudo mais aprofundado sobre o assunto. Porém, uma dúvida emerge: foi de fato a passagem do ciclone bomba sobre a área atingida a causa das intensas rajadas de vento?

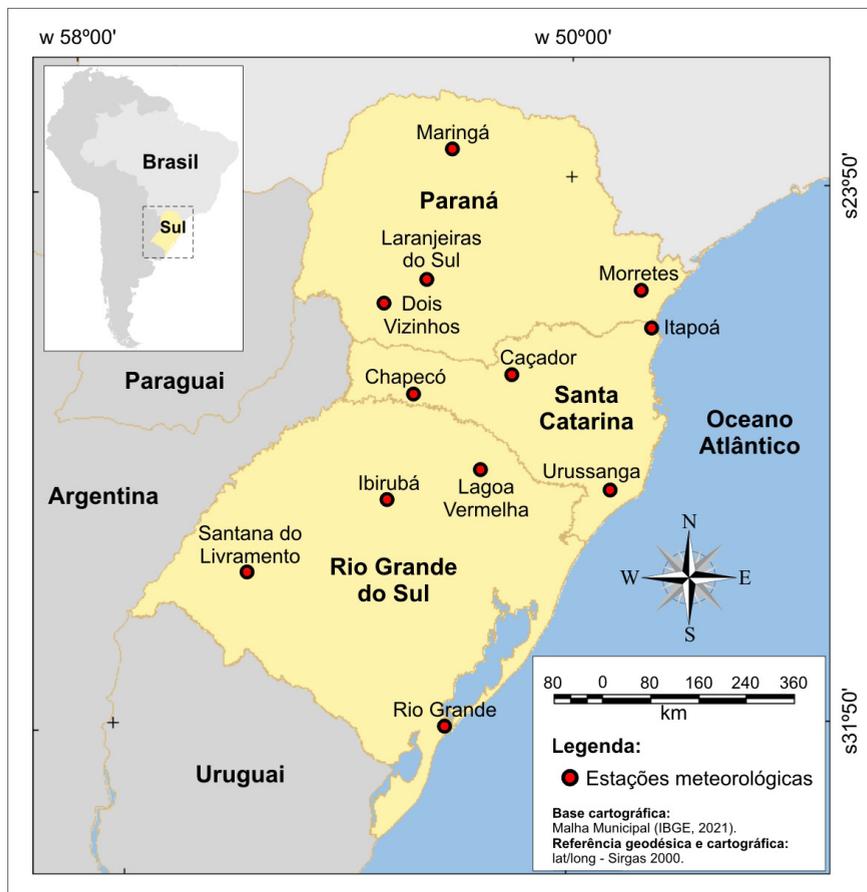
2. Materiais e método

Inicialmente, definiu-se a região sul como recorte espacial desta pesquisa (figura 1). Assim, um dos primeiros passos executados consistiu em cartografar a área afetada pelo evento meteorológico extremo. Para isso, buscou-se fontes que representassem, por estado, os municípios que registraram danos e que notificaram os órgãos estaduais de Defesa Civil (do estado do Paraná e do Rio Grande do Sul) ou que foram incluídos em decretos de calamidade pública emitidos pelo governo do estado (Decreto estadual n. 700, de 2 de julho de 2020 e Decreto estadual n.718, de 10 de julho de 2020 para o estado de Santa Catarina). Para além dessas fontes, foi consultado o relatório gerencial (danos informados) para os três estados do sul do Brasil, por meio de acesso ao Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD.

De posse dessas informações, confeccionou-se o mapa da área afetada identificando, na malha municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os municípios relatados pelas fontes ora consultadas. Todo esse procedimento, bem como a finalização do mapa foram realizados no *software* SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas versão 5.4.3, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para compreender a dinâmica atmosférica associada ao evento meteorológico extremo do dia 30 de junho de 2020 foi necessário observar um lapso temporal mais amplo. Assim, para a análise dos padrões sinóticos, definiu-se o período entre os dias 25 de junho e 5 de julho de 2020, com vistas a compreender os quadros evolutivos anterior e posterior dos sistemas atmosféricos atuantes. Empregou-se, para tanto, as cartas sinóticas de superfície disponibilizadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) relativas aos horários de 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.

Figura 1
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E INDICAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS UTILIZADAS NA PESQUISA



Org.: Autor (2022).

A análise e a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes (massas de ar) seguiram os critérios apresentados por Borsato (2016). A partir dessa análise, constatou-se que as mudanças no tempo atmosférico, associadas à ciclogênese, poderiam ser restritas ao período de 29 de junho a 02 de julho de 2020. Dessa forma, selecionou-se doze estações meteorológicas automáticas (figura 1), cujos dados foram obtidos por meio do acesso ao Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O critério de seleção das localidades referentes a cada estação meteorológica automática foi a distribuição espacial sobre a região sul, com ênfase na área mais atingida, mas que também incluísse localidades externas àquela faixa. Esse recobrimento permitiu avaliar as repercussões do evento meteorológico extremo considerando duas variáveis: a pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (doravante chamada apenas de pressão atmosférica) e o vento – rajada máxima, ambas com dados em escala horária. Para caracterização qualitativa das rajadas de vento, empregou-se a escala de Beaufort (tabela 1). O resgate histórico do evento meteorológico extremo foi conduzido por meio de levantamento de manchetes publicadas em portais de notícias na *web* e que serviram como fonte de relato dos fatos.

Tabela 1
ESCALA DE BEAUFORT APLICADA PARA RAJADA DE VENTO

<i>m/s</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Classe</i>
<0,3	Calmo	0
0,3-1,5	Aragem	1
1,6-3,3	Brisa Leve	2
3,4-5,4	Brisa Fraca	3
5,5-7,9	Brisa Moderada	4
8,0-10,7	Brisa Forte	5
10,8-13,8	Vento fresco	6
13,9-17,1	Vento forte	7
17,2-20,7	Ventania	8
20,8-24,4	Ventania forte	9
24,5-28,4	Tempestade	10
28,5-32,6	Tempestade violenta	11
>32,7	Furacão	12

Fonte: Defesa Civil, Santo André/SP (2022; modificado).

3. Resultados e discussão

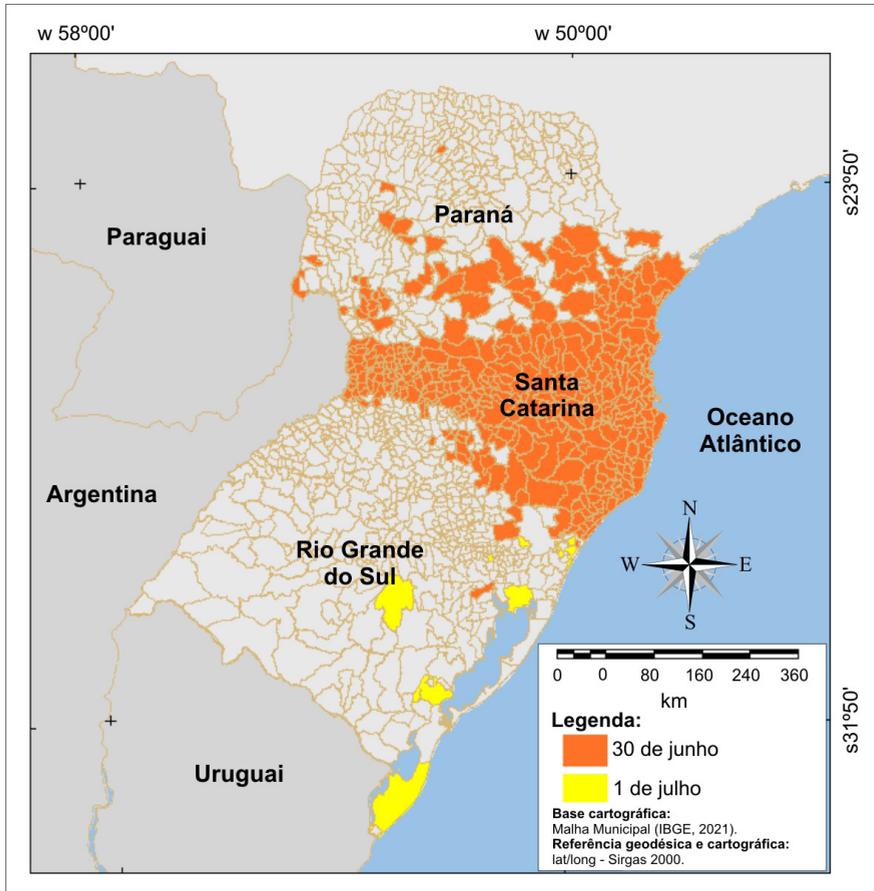
A figura 2 apresenta os municípios afetados pelo evento meteorológico extremo dos dias 30 de junho e 1 de julho de 2020. Assim, uma breve análise exploratória dessa figura permite constatar a ampla abrangência

dos municípios atingidos. Porém, observa-se uma certa descontinuidade quando observados os municípios atingidos no dia 30 de junho em comparação com o dia 01 de julho. No primeiro dia há um recobrimento longitudinal desde aqueles na fronteira oeste até o litoral e entre a porção setentrional do estado do Rio Grande do Sul, nas proximidades com Santa Catarina e a metade sul do estado do Paraná, com destaque para toda a costa litorânea dos dois últimos estados. No segundo dia em pauta, os municípios atingidos estão todos no estado do Rio Grande do Sul, em uma posição geográfica próxima ao litoral. É importante salientar, ainda, que não se excluem outras localidades atingidas para ambas as datas, mas cujas repercussões não foram significativas ao ponto de serem notificadas pelos órgãos estaduais.

Vista especificamente a área atingida no dia 30 de junho e frente ao formato cônico que se abre de oeste ao litoral, aventa-se, inicialmente, que poderia representar, grosseiramente, a área diretamente afetada pela passagem do “ciclone bomba”? Relatos na imprensa destacando os danos materiais, sociais e econômicos decorrentes das intensas rajadas de ventos ganharam destaque nas manchetes daquele período e permitem a clara constatação daquele desastre natural de origem meteorológica. O quadro 1 sintetiza algumas manchetes publicadas em portais de notícias da *web*.

Atenta-se que os próprios títulos das matérias remetem muitas vezes ao papel do ciclone bomba atingindo, passando e/ou gerando danos nos três estados do sul (vide trechos grifados). Para além disso, no próprio corpo do texto foram observadas menções que se associam a esse fato e que são destacadas no quadro. Assim, observando a figura 2 e baseados nas constatações apresentadas pelas manchetes ora citadas, emerge uma plausível associação entre a área de abrangência destacada pelos municípios atingidos no dia 30 de junho como *locus* representativo da passagem do “ciclone bomba”. No entanto, essa afirmativa merece uma análise mais detalhada, a partir de informações que permitam apurar os sistemas atmosféricos atuantes naquele momento, bem como as repercussões a eles relacionados. Nas próximas seções, busca-se investigar esses aspectos, a fim de comprovar ou refutar essa relação previamente reconhecida.

Figura 2
MUNICÍPIOS ATINGIDOS E QUE COMUNICARAM DANOS AOS ÓRGÃOS DE DEFESA CIVIL E/OU INCLUÍDOS EM DECRETOS EMITIDOS PELO GOVERNO ESTADUAL



Fonte: Defesa Civil do Paraná; Defesa Civil do Rio Grande do Sul; Decreto estadual/Diário oficial do estado de Santa Catarina (2020). Org.: Autores (2022).

Quadro 1
MANCHETES RELACIONANDO O EVENTO METEOROLÓGICO EXTREMO COMO DECORRENTE DE UM “CICLONE BOMBA”

Título	Transcrição representativa
<p>Ciclone bomba deixa estragos em todo Paraná: 1,2 milhão de casas ficaram sem luz - Por: Mirian Villa (nosso grifo)</p>	<p>“A passagem do ciclone bomba pelo Paraná nesta terça-feira (30) deixou estragos em diversas cidades” (VILLA, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Fúria do clima: “Ciclone bomba” deixa estragos do oeste ao leste do Paraná - Por: Fábio Donegá (nosso grifo)</p>	<p>“O alerta de um ‘ciclone bomba’ que se formou no oceano, perto do Paraná, foi se cumprindo ao longo da terça-feira (...) Estragos foram registrados do oeste ao leste do Paraná” (DONEGA, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Tempestade e ventania causada por “ciclone bomba” causam estragos em Curitiba - Por: Marcos Xavier Vicente (nosso grifo)</p>	<p>“Curitiba foi atingida por um ‘ciclone bomba’ na tarde desta terça-feira (30) (...) Toda a região de Curitiba foi atingida” (VICENTE, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Ciclone bomba: como choque de massas formou fenômeno que devasta Sul do país - Por: Felipe Souza (nosso grifo)</p>	<p>“Nos últimos dois dias, moradores da região Sul do Brasil, principalmente de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, contabilizam prejuízos após a passagem de um ciclone extratropical pela região, o ‘ciclone bomba’, como foi batizado” (SOUZA, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Ventos durante o ciclone bomba em Santa Catarina chegaram a 168 km/h, aponta Epagri - Por: Redação ND+ (nosso grifo)</p>	<p>“A velocidade dos ventos em Santa Catarina, durante a passagem do ciclone extratropical (...) foram descargas elétricas que acompanharam o ciclone que passou por Santa Catarina” (ND+, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Entenda o que é ciclone bomba, fenômeno que atingiu Santa Catarina. - Por: Guilherme Simon e Lariane Cagnini (nosso grifo)</p>	<p>“Com rajadas de vento que ultrapassaram 130 km/h, estragos em mais de 135 municípios e pelo menos nove mortos, o fenômeno que atingiu Santa Catarina nesta terça-feira (30) é chamado de ciclone bomba” (SIMON; CAGNINI, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Ciclone-bomba: entenda o fenômeno que atinge o RS - Por: GZH (nosso grifo)</p>	<p>“Os temporais associados às fortes rajadas de vento que atingem o Rio Grande do Sul nesta terça-feira (30) são causados, segundo meteorologistas, por um fenômeno chamado de ciclone-bomba” (GZH, 2020, nosso grifo).</p>
<p>Temporal deixa mais de mil pessoas fora de casa no Rio Grande do Sul - Por: Correio do Povo: Rádio Guaíba.</p>	<p>“...ao menos 1.035 pessoas, em 16 cidades gaúchas, estão fora de casa em função do ciclone-bomba que atingiu o Rio Grande do Sul, provocando chuva e fortes ventos em diferentes regiões” (CORREIO DO POVO, 2020, nosso grifo).</p>

Org.: Autor (2022).

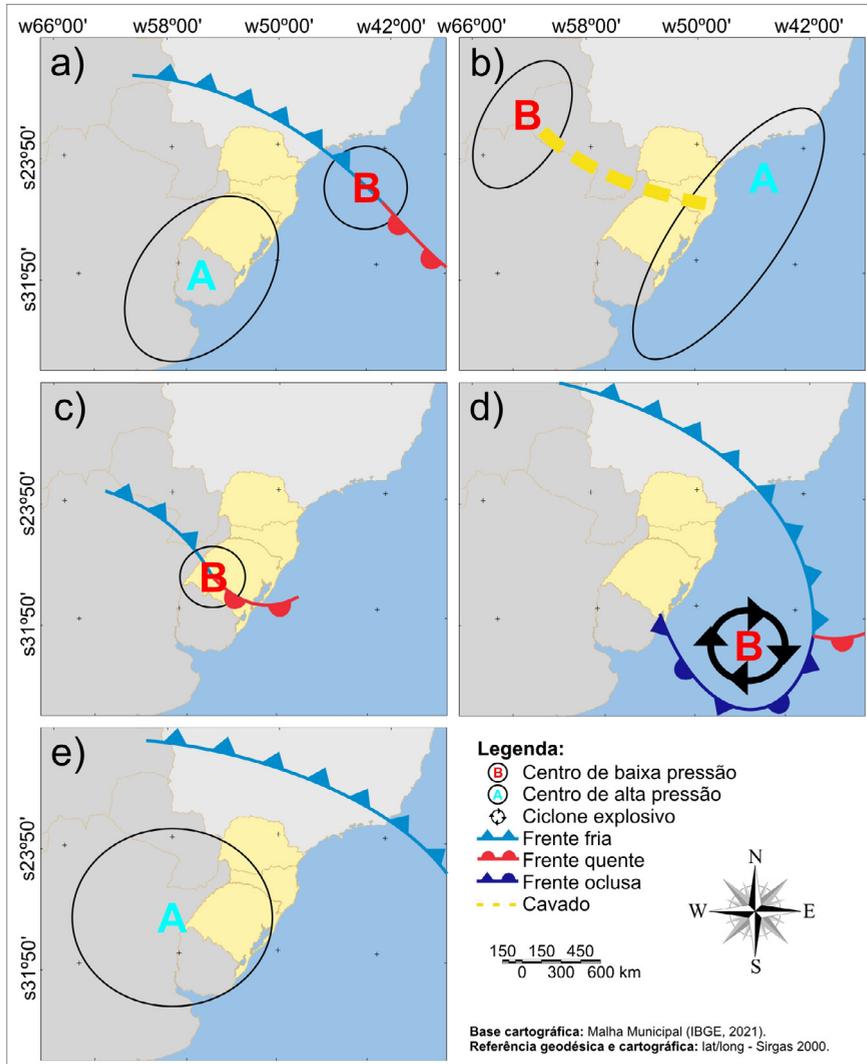
3.1 *As cartas sinóticas*

Inicia-se a análise das cartas sinóticas observando-se a presença de um ramo frontal frio que transitou pelo continente percorrendo toda a região sul do Brasil entre os dias 25 e 26 de junho. Na retaguarda daquele sistema frontal, a Massa Polar Atlântica (mPa) invadiu a região, se mantendo sobre a área até o dia 27 de junho (figura 3a). No dia seguinte (28/06), o centro anticiclônico associado à mPa se deslocou para o oceano, balizando uma ampla crista que se estendia desde o litoral do sudeste brasileiro até a costa meridional da Argentina.

À medida que este sistema de alta pressão se deslocava para o oceano, uma depressão se caracterizava sobre o continente, mais especificamente sobre o norte/noroeste da Argentina, ainda no dia 29 de junho. A partir dessa depressão, um amplo cavado foi então formado em direção à borda da crista anticiclônica (figura 3b), cujo centro agora já se apresentava bem definido, ocupando a posição e se estabelecendo como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), um indicativo para a tropicalização do sistema – Massa Tropical Atlântica (mTa).

A intensificação daquele sistema cavado sobre o Rio Grande do Sul foi o mecanismo indutor da ciclogênese sobre o continente, cujo centro de baixa já podia ser observado ocupando, aproximadamente, o sudoeste daquele estado no início do dia 30 de junho. Ao longo daquele dia e do próximo (01 de julho), a depressão ciclônica formada cruzou todo o estado gaúcho, enquanto que a frontogênese associada estabeleceu dois ramos frontais que se deslocavam em sentidos opostos (Figura 3c). O ramo frontal frio percorreu a região sul a partir da faixa oeste em direção ao litoral, atuando inicialmente no noroeste gaúcho, oeste catarinense e sudoeste do Paraná. Adicionalmente, nesse percurso, a porção distal do ramo frio invadiu o norte do Paraná, o sul do Mato Grosso do Sul e o oeste de São Paulo. O ramo frontal quente teve, por sua vez, atuação continental limitada ao extremo sul do litoral sul-rio-grandense, se deslocando para o oceano juntamente com o centro do ciclone.

Figura 3
SÍNTESE DOS PADRÕES SINÓTICOS RELACIONADOS À GÊNESE DO EVENTO METEOROLÓGICO EXTREMO



Fonte: Baseada na interpretação das cartas sinóticas (CPTEC/INPE, 2020). Org.: Autores (2022).

Ao se posicionar sobre o oceano, houve um intenso aprofundamento da baixa ciclônica, que, conforme Bitencourt, Fuentes e Cardoso (2013), acontece pelo deslocamento do ciclone para áreas com menor pressão atmosférica. Para se ter uma ideia, mesmo sem a indicação da pressão no centro do sistema, as cartas sinóticas apresentam valores abaixo de 1.004 hPa na depressão, quando ainda sobre o continente, passando no dia posterior para valores inferiores a 970 hPa. Sobre o oceano, o sistema, neste momento, se apresentava como um amplo ciclone extratropical que entra em oclusão ainda no dia 01 de julho (figura 3d).

A injeção continental do ar polar (mPa) intensificou, por sua vez, o ramo frontal frio que se deslocou para outros estados do centro-oeste (Mato Grosso e Goiás) e do sudeste (Minas Gerais e Rio de Janeiro) brasileiro, à medida que o ciclone extratropical se afastava para o alto mar (figura 3e). No sul, a mPa invadiu a região nos dias 01 e 02 de julho, cujo centro do anticiclone migratório pode ser observado próximo do oeste catarinense no dia 03 de junho, se deslocando para o oceano nos dias seguintes (04 e 05 de julho), quando todos os sistemas atmosféricos associados deixam de atuar sobre o continente e passam a se tropicalizar.

O que pode ser observado, portanto, corresponde exatamente a uma ciclogênese representativa de um ciclone extratropical – também chamado de ciclone frontal ou ciclone de latitudes médias, uma vez que também está associada a processos frontogênicos (AHRENS, 2001; REBOITA et al., 2017). O cavado ora observado representava a zona de descontinuidade, que limitava massas de ar de características distintas (temperatura, umidade e pressão). É comum a adjetivação de um ciclone extratropical dentro da categoria de explosivo ou ciclone bomba, quando há queda na pressão atmosférica de no mínimo 24 hPa em um período de 24 horas para latitudes de 60° (ROGERS; BOSART, 1986; GAN; SELUCHI, 2009; BITENCOURT; FUENTES; CARDOSO, 2013).

Para Gan e Seluchi (2009, p. 113), “um ciclone passa à categoria de ‘bomba’ quando a pressão no seu centro cai mais de um Bergeron (B), com $B = 24 \text{ hPa} \times \sin \phi / \sin 60^\circ$, sendo ϕ a latitude do ciclone”. Considerando a premissa apresentada pelos autores, para a latitude do ciclone estudado (entre 30 a 32°S), uma queda de cerca de 14-15 hPa/24 horas já seria suficiente para a caracterização do evento como explosivo. Pelas cartas

sinóticas, percebe-se que, embora a ciclogênese tenha se iniciado sobre o continente, mais especificamente sobre o estado do Rio Grande do Sul, o ciclone se tornou explosivo já na transição para o oceano.

Rogers e Bosart (1986) relatam que é bastante comum que os ciclones bombas adquiram essa característica quando estão sobre o oceano. No entanto, Bittencourt, Fuentes e Cardoso (2013), analisando uma série de ciclones explosivos na costa Atlântica da América do Sul, identificaram que aproximadamente a metade (49,4%) dos ciclones explosivos apresentam desenvolvimento e evolução sobre o oceano. A outra metade inclui: aqueles que iniciaram a ciclogênese sobre o continente e tornaram-se explosivos sobre o oceano (23,5%) (como no caso aqui relatado); aqueles que se caracterizam como explosivos logo no desenvolvimento continental (22,4%); e aqueles que se tornam explosivos sobre o continente (4,7%).

3.2 *As pressões atmosféricas*

A pressão atmosférica em todas as estações meteorológicas automáticas selecionadas demonstra claramente um reflexo do padrão sinótico e dos sistemas atmosféricos descritos no item anterior. Em linhas gerais, nota-se a redução das pressões atmosféricas a partir do dia 29 de junho com os valores atingindo os mínimos na tarde do dia 30 (exceto em Rio Grande/RS) passando a aumentar novamente até alcançar um pico secundário no final do dia 02 de julho (figura 4). Os maiores valores de pressão atmosférica em todas as estações ocorreram entre as 00 e 06 horas do dia 29 de junho de 2020, variando entre 1.019 hPa em Dois Vizinhos/PR até 1.027 hPa em Caçador/SC e Urussanga/SC. A redução da pressão atmosférica, a partir de então, é indicativo do deslocamento da mPa para o oceano e da expansão da baixa continental e seu cavado, com os menores valores sendo registrados entre as 12 e 17 horas do dia 30 de junho (exceto em Rio Grande/RS), variando de 997 hPa (Lagoa Vermelha/RS e Urussanga/SC) a 1.005 hPa (Laranjeiras do Sul/SC e Maringá/PR).

Aqui é importante fazer menção que os valores mínimos de pressão atmosférica para cada localidade seguiram um padrão sequencial, iniciando por Chapecó/SC, no oeste catarinense às 12 horas, e seguindo nas horas subsequentes para Dois Vizinhos, Laranjeiras do Sul (sudoeste e centro-sul

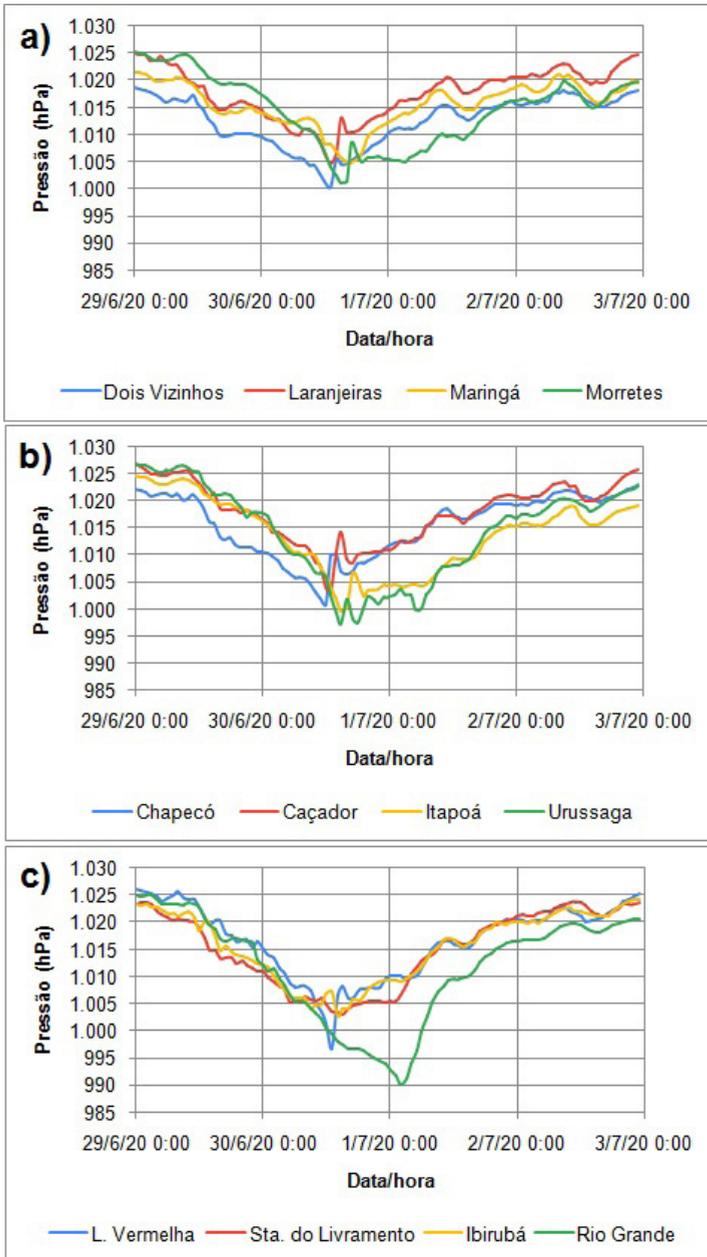
do Paraná), Caçador (meio oeste de Santa Catarina), Lagoa Vermelha, Ibirubá (nordeste e noroeste do Rio Grande do Sul, respectivamente) e, posteriormente, para Santana do Livramento (sudoeste gaúcho), para, então, chegar nas localidades do litoral catarinense (Urussanga e Itapoá) e paranaense (Morretes) e, por fim, às 17 horas em Maringá, no norte central do Paraná. Destoando dessa sequência, aparece a estação de Rio Grande, no litoral sul-rio-grandense, onde as pressões atmosféricas continuam em queda até o valor mínimo de 990 hPa às 2 horas do dia 01 de julho.

Esse padrão sequencial também se relaciona com os sistemas atmosféricos e o padrão sinótico atuantes naquele momento. Se a redução da pressão estava associada ao centro de baixa e ao cavado, os mínimos em sequência representam o deslocamento do sistema frontal acoplado, que atuou, primeiramente, no oeste catarinense (e em municípios gaúchos limítrofes) e sudoeste do Paraná, para então cruzar ambos os estados no sentido nordeste até o litoral e norte paranaenses. Segundo Ahrens (2001), dado ao fato de uma frente fria corresponder a um sistema alongado de baixa pressão, há uma tendência para que sua passagem seja marcada por esse aspecto. Desse modo, a menor pressão registrada ocorre assim que a frente fria passa sobre uma estação meteorológica, tornando-se crescente a partir de então (AHRENS, 2001), aspecto verificado nos dados aqui avaliados.

No Rio Grande do Sul, o ramo frontal teve menor atuação uma vez que a depressão ciclônica se posicionava sobre o estado. Assim, a queda da pressão atmosférica observada neste estado se refere, antes, ao deslocamento do centro do ciclone que se organizava sobre a área. Outro aspecto relevante é aquele inerente à estação de Rio Grande/RS, que reflete o aprofundamento do centro do ciclone que adquire, como relatado acima, a característica de explosivo na transição entre o continente e o oceano, mas cujo aprofundamento oceânico afetou as pressões no litoral sul do estado.

Figura 4

PRESSÃO ATMOSFÉRICA NAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS LOCALIZADAS NOS ESTADOS: A) PARANÁ, B) SANTA CATARINA E C) RIO GRANDE DO SUL



Fonte: INMET (2020). Org.: Autor (2022).

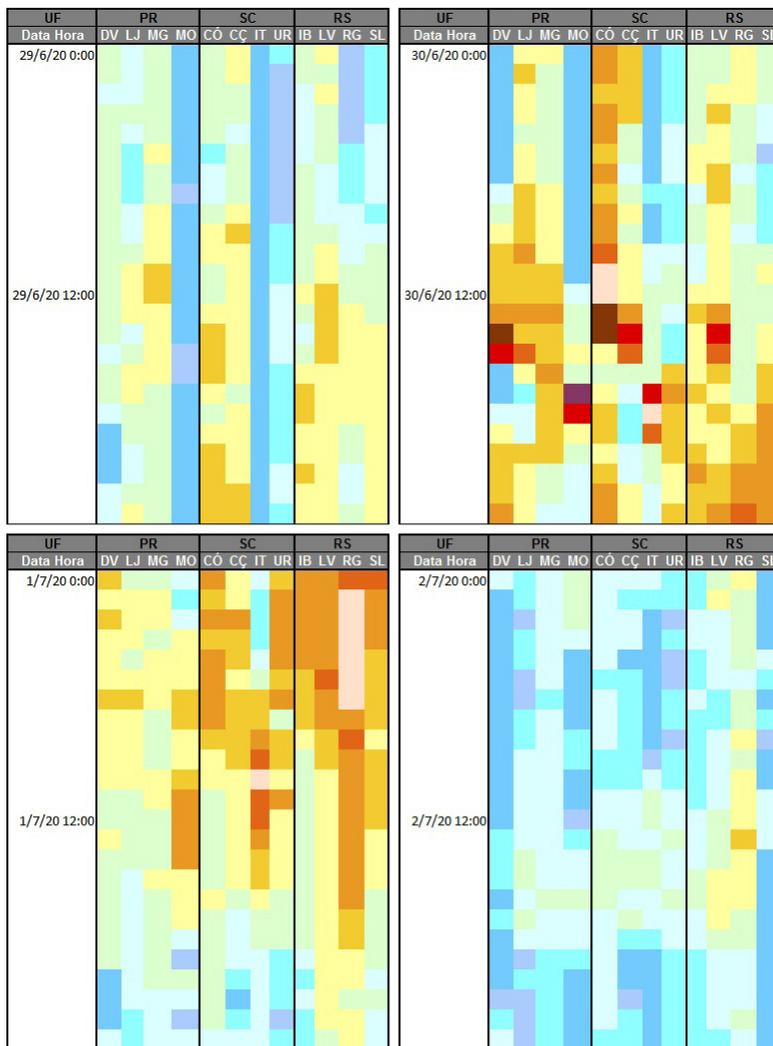
3.3 As rajadas de vento

No período restrito a 29 de junho a 02 de julho, as rajadas máximas horárias ocorreram num lapso que se estende por todas as classes da escala de Beaufort. Os valores mínimos estiveram inseridos entre as classes 0 a 2 – calmaria (Caçador/SC, Dois Vizinhos/PR, Morretes/PR, Itapoá/SC e Santana do Livramento/RS), aragem (Laranjeiras do Sul/PR, Urussanga/SC e Rio Grande/RS) e brisa leve (Maringá/PR, Chapecó/SC, Lagoa Vermelha/RS e Ibirubá/RS). Na figura 5 é apresentado um quadro espaço-temporal com as classes referentes às rajadas máximas horárias classificadas conforme a referida escala para cada uma das localidades. Nela é possível inferir que as rajadas máximas horárias foram menores, tanto no dia 29 de junho, como no dia 02 de julho. Inclusive, se considerado o valor mínimo absoluto para as rajadas máximas horárias, constata-se que ocorreram predominantemente no dia 02 de julho, exceto para Rio Grande/RS, onde ocorreu no primeiro dia (29/06) e para Dois Vizinhos/PR, Itapoá/SC e Morretes/PR, cujos valores ocorreram em ambos os dias mencionados (29/06 e 02/07).

Todavia, para os máximos absolutos de rajada horária há uma diferença ampla entre as localidades que vão da escala 7 até 12 – vento forte (Maringá/PR, Urussanga/SC e Ibirubá/RS), ventania (Laranjeiras do Sul/PR e Santana do Livramento/RS), ventania forte (Rio Grande/RS), tempestade (Caçador/SC, Itapoá/SC e Lagoa Vermelha/RS), tempestade violenta (Dois Vizinhos/PR e Chapecó/SC) e furacão (Morretes/PR). Ocorreram em dois momentos bem específicos: o primeiro, entre as 13 e 17 horas da tarde do dia 30 de junho (Chapecó/SC, Caçador/SC, Dois Vizinhos/PR, Laranjeiras do Sul/PR, Lagoa Vermelha/RS, Maringá/PR, Itapoá/SC e Morretes/PR), e, o segundo, entre as 0 e 4 horas da madrugada do dia 01 de julho (Santana do Livramento/RS, Ibirubá/RS, Rio Grande/RS e Urussanga/SC). Merece menção o uso cauteloso da classificação como “furacão” na escala de Beaufort, que é mais qualitativa do que relacionada à gênese do fenômeno. Para Tavares (2009), ventos a partir da classe ventania forte ($> 20,8$ m/s ou > 75 km/h) podem gerar destelhamentos e danos em construções e árvores.

Figura 5

QUADRO ESPAÇO-TEMPORAL DAS RAJADAS MÁXIMAS HORÁRIAS CONFORME ESCALA DE BEAUFORT PARA O PERÍODO DE 29 DE JUNHO A 2 DE JULHO DE 2020



LEGENDA:

m/s	Classe	Nomenclatura	m/s	Classe	Nomenclatura	m/s	Classe	Nomenclatura
<0,3	0	Calmo	8,0-10,7	5	Brisa Forte	20,8-24,4	9	Ventania forte
0,3-1,5	1	Aragem	10,8-13,8	6	Vento fresco	24,5-28,4	10	Tempestade
1,6-3,3	2	Brisa Leve	13,9-17,1	7	Vento forte	28,5-32,6	11	Tempestade violenta
3,4-5,4	3	Brisa Fraca	17,2-20,7	8	Ventania	>32,7	12	Furacão
5,5-7,9	4	Brisa Moderada						

Paraná (PR): DV - Dois Vizinhos; LJ - Laranjeiras do Sul; MG - Maringá; e MO - Morretes.
 Santa Catarina (SC): CÔ - Chapecó; CÇ - Caçador; IT - Itapoá; e UR - Urussanga.
 Rio Grande do Sul (RS): IB - Ibirubá; LV - Lagoa Vermelha; RG - Rio Grande; e SL - Santana do Livramento.

Fonte: INMET (2020). Org.: Autor (2022).

As rajadas máximas absolutas foram reportadas para uma hora específica, muito embora, em algumas localidades, houve registros em duas horas seguidas (muito possivelmente associados a rajadas durante a transição entre as horas e aos dados empregados que atestam o valor máximo registrado na hora). Outra informação útil que pode ser observada é o fato de que as rajadas máximas absolutas ocorreram abruptamente em Dois Vizinhos/PR, Morretes/PR e Itapoá/SC, diferente de Laranjeiras do Sul/PR, Chapecó/SC e Maringá/PR, onde se observa uma certa intensificação das rajadas. Outro aspecto que merece destaque é a ocorrência de picos secundários de rajada, separados da rajada máxima absoluta por períodos de ventos brandos (classes 0 a 3 de Beaufort), caso de Dois Vizinhos/PR, Laranjeiras do Sul/PR, Morretes/PR e Itapoá/SC.

Assim, a intensidade das rajadas máximas absolutas em Chapecó/SC, Dois Vizinhos/PR, Lagoa Vermelha/RS, Caçador/SC, Morretes/PR e Itapoá/SC sugerem ser uma resposta às tempestades geradas pelo avanço do sistema frontal frio que atuou de modo mais intenso sobre a área e perdeu força ao se deslocar, ocasionando rajadas de menor intensidade em outras localidades, como em Laranjeiras do Sul/PR, Maringá/PR e Urussanga/SC (neste último, um pico primário). Já em Santana do Livramento/RS, Ibirubá/RS, Rio Grande/RS e Urussanga/SC, o pico máximo de rajada decorre, portanto, de outro sistema propulsor, o ciclone extratropical, quando já posicionado na costa gaúcha.

Ciclones extratropicais mesmo quando posicionados sobre o oceano são capazes de gerar ventos intensos sobre a costa (MACHADO, 2014). Inclusive, esse sistema atmosférico influenciou nas demais localidades costeiras com picos secundários de rajada máximas, a exemplo de Itapoá/SC e Morretes/PR, bem como no continente, caso de Lagoa Vermelha/RS. Em Rio Grande/RS, para se ter uma ideia, rajadas de ventos na classe ventania forte foram observadas por seis horas seguidas. Gautério, Maier e Oliveira (2018), por exemplo, já descreveram como um ciclone extratropical na costa gaúcha desencadeou intensas rajadas de vento sobre o litoral sul-rio-grandense, com destaque para a última localidade relatada.

4. Considerações finais

O evento meteorológico extremo de junho/julho de 2020 ganhou notoriedade como um dos desastres naturais mais intensos que atingiu a região sul do Brasil. Com uma área de abrangência que inclui os três estados, afetou, sobremaneira, Santa Catarina, local onde o governo estadual decretou estado de emergência em todos os municípios. As rajadas de vento associadas acometeram tanto áreas rurais, como urbanas, com danos humanos e materiais, além de prejuízos sociais e econômicos (RODRIGUES, 2020; GIEHL et al., 2020). O sistema atmosférico responsável por tais tempestades foi de logo atrelado à passagem de um “ciclone bomba” pela área afetada, um aspecto enfatizado pela mídia em manchetes.

Nesta pesquisa, foi possível cartografar a área afetada, por meio de informações oriundas de diversas fontes consultadas. Com abrangência desigual quando comparados os municípios afetados no dia 30 de junho e 1 de julho recorreu-se à interpretação prévia de que a área delimitada pela porção meridional do estado do Paraná até o norte gaúcho, e recobrimdo desde a fronteira oeste ao litoral, seria correlata à passagem do ciclone bomba, sobretudo, a partir das associações apresentadas pelas manchetes. No entanto, ao se observar os padrões sinóticos e os sistemas atmosféricos envolvidos na gênese do evento meteorológico extremo, constatou-se a não validação por distintos motivos.

Embora haja, de fato, uma ciclogênese explosiva relacionada ao evento, o centro da baixa pressão transitou pelo estado do Rio Grande do Sul e não pela área afetada ora descrita. Uma vez que ciclogênese e frontogênese são processos conjugados em ciclones extratropicais (AHRENS, 2001; REBOITA et al., 2017), o sistema frontal frio associado foi o responsável pela formação de tempestades que ocasionaram as intensas rajadas de vento e cujas repercussões acometeram os municípios atingidos, sobretudo no dia 30 de junho. Além disso, a caracterização do evento adjetivando-o como “explosivo” parece ser satisfeita quando a depressão ciclônica já transitava para o oceano.

Contudo, vale ressaltar que as rajadas de vento máximas observadas nas estações meteorológicas automáticas estudadas demonstram dois momentos bem distintos: o primeiro, na tarde do dia 30 de junho, a partir do setor oeste catarinense, do sudoeste paranaense e do norte gaúcho,

dirigindo-se ao litoral e ao norte do Paraná denotando a passagem do referido sistema frontal frio e com rajadas máximas até a última categoria na escala de Beaufort; e, o segundo, na madrugada do dia 01 de julho, com rajadas máximas na classificação ventania forte acometendo as estações no estado do Rio Grande do Sul e aquelas do litoral da região sul, estas sim desencadeadas pelo ciclone em aprofundamento sobre o oceano, e cujos reflexos são claramente observados em Rio Grande/RS. Algumas localidades registraram rajadas de vento em ambos momentos, com as rajadas secundárias de menor intensidade.

É importante salientar, no entanto, que algumas lacunas ainda permanecem postas. Um estudo detalhado das rajadas englobando outras localidades da região sul é fundamental. A avaliação de outras variáveis meteorológicas, bem como a compreensão dos fluxos de calor e umidade na baixa troposfera – enquanto ingredientes para compreensão dos mecanismos associados à gênese das tempestades observadas – podem trazer novas contribuições. Dadas as dimensões do ciclone extratropical, merece destaque, ainda, a compreensão das respostas de suas diferentes partes componentes no tempo atmosférico e aqui se inclui um olhar para os padrões de mesoescala. Tais lacunas aqui apresentadas podem ser elucidadas oportunamente por outros trabalhos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica (PRO-ICT) da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS.

Referências

AHRENS, C. D. **Essentials of meteorology**: an invitation to the atmosphere. 3. ed. Pacific Grove/CA: Brooks/Cole/Thompson Learning, 2001. 464 p.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M.V.; CARDOSO, C. S. Climatologia de ciclones explosivos para a área ciclogênica da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1 p. 43-56, 2013.

BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: CRV, 2016. 184 p.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISA SOBRE DESASTRES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**: 1991 a 2012. 2. ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. 126 p.

DEPARTAMENTO DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL, Prefeitura de Santo André/ SP. **Escala de Beaufort**. Disponível em: <<https://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/escala-de-beaufort/>>. Acesso em: 13 mar. 2022.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 33-40, 2014.

GAN, M. A.; SELUCHI, M. E. Ciclones e ciclogênese. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 111-125.

GAUTÉRIO, B. C.; MAIER, É. L. B.; OLIVEIRA, U. R. Ciclone extratropical de outubro de 2016: processos atmosféricos de formação e impactos no extremo sul do Brasil. **CaderNAU**, Cadernos do Núcleo de Análises urbanas, v. 10, n. 1, p. 22-28, 2018.

GIEHL, A. L.; LUCA, F. V.; PADRÃO, G. A.; ELIAS, H. T.; ALVES, J. R.; GUGEL, J. T.; MONDARDO, M.; GOULART JÚNIOR, R.; MARCONDES, T. **Efeitos socioeconômicos causados pelo ciclone extratropical no estado de Santa Catarina em 2020**. Florianópolis: Epagri, 2020, 57 p.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Resumo dos fortes ventos e tempestades associados à formação do ciclone extratropical e ao desenvolvimento de uma “ciclogênese explosiva” ou “ciclone bomba”**. Nota técnica. 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas>> Acesso em: 10 nov. 2020.

MACHADO, A.A. **Estudo dos padrões atmosféricos sinóticos geradores de eventos extremos de altura de onda, intensidade de vento, marés meteorológicas e erosão na costa do Rio Grande do Sul**. 2014. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande-FURG, Rio Grande, 2014.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas eventos climáticos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2009. p. 4-19. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf>. Acesso em: 08 out. 2019.

MELLO, L. F.; ZANETTI, V.; PAPALI, M. A. Brasil, éden desmoroado: desastres naturais no Brasil contemporâneo. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 95-116, out./dez. 2014.

NASCIMENTO, A. L. S.; LAUREANTI, N. C.; MANDÚ, T. B.; GALETTI, G. D.; SILVA, D. R. R.; SELUCHI, M. E. Descrição das condições atmosféricas associadas a um ciclone explosivo observado no Sudeste da América do Sul em junho/julho de 2020. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 01, p. 282-296, 2022.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; CUSTÓDIO, I. S. Ciclones em superfície nas latitudes austrais: parte I – revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 171-186, 2017.

RODRIGUES, M. L. G. O monitoramento e avisos de eventos meteorológicos extremos de Santa Catarina em 2020. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 3, p. 5-6, 2020.

ROGERS, E.; BOSART, L. F. An investigation of explosively deepening oceanic cyclones. **Monthly Weather Review**, v. 114, p. 702-718, abr. 1986.

SANTA CATARINA. **Decreto estadual n. 700, de 2 de julho de 2020**. Declara situação anormal, caracterizada como estado de calamidade pública, nas áreas dos municípios do Estado de Santa Catarina afetados por evento adverso natural, grupo meteorológico, causando vendaval, conforme o COBRADE 1.3.2.1.5, e estabelece outras providências. Florianópolis, SC, Ano LXXXVI, n. 21.301, p.1-2. Disponível em: <<https://portal.doe.sea.sc.gov.br/>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SANTA CATARINA. **Decreto estadual n. 718, de 10 de julho de 2020**. Altera o Anexo Único do Decreto n. 700, de 2020, que declara situação anormal, caracterizada como estado de calamidade pública, nas áreas dos municípios do Estado de Santa Catarina afetados por evento adverso natural, grupo meteorológico, causando vendaval, conforme o COBRADE 1.3.2.1.5, e estabelece outras providências. Florianópolis, SC, Ano LXXXVI, n. 21.307, p.2-3. Disponível em: <<https://portal.doe.sea.sc.gov.br/>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993. 157 p.

TAVARES, R. Clima, tempo e desastres. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 111-146.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: por que ocorrem? In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 11-23.

Reportagens:

CORREIO DO POVO; RÁDIO GUAÍBA. Temporal deixa mais de mil pessoas fora de casa no Rio Grande do Sul. **Correio do Povo**, [S.l.], 01 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/cidades/temporal-deixa-mais-de-mil-pessoas-fora-de-casa-no-rio-grande-do-sul-1.443722>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

DONEGÁ, F. Fúria do clima: “Ciclone bomba” deixa estragos do oeste ao leste do Paraná. **O Paraná**, Cascavel, 01 jul. 2020. Disponível em: <<https://oparana.com.br/noticia/furia-do-clima-ciclone-bomba-deixa-estragos-do-oeste-ao-leste-do-parana/>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

GZH. Ciclone-bomba: entenda o fenômeno que atinge o RS. **GZH**, [S.l.], 01 jul. 2020. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2020/06/ciclone-bomba-entenda-o-fenomeno-que-atinge-o-rs-ckc2aa2ux00ev0162hiko1552.html>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

REDAÇÃO ND. Ventos durante o ciclone bomba em Santa Catarina chegaram a 168 km/h, aponta Epagri. **ND+**, Florianópolis, 10 jul. 2020. Disponível em: <<https://ndmais.com.br/tempo/velocidade-durante-o-ciclone-bomba-em-santa-catarina-chegou-a-168-km-h-aponta-epagri/>>. Acesso em 10 mai. 2022.

SIMON, G.; CAGNINI, L. Entenda o que é ciclone bomba, fenômeno que atingiu Santa Catarina. **Diário Catarinense**, [S.l.], 02 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/o-que-e-ciclone-bomba>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

SOUZA, F. Ciclone bomba: como choque de massas formou fenômeno que devastou Sul do país. **BBC News Brasil**, São Paulo, 02 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-53261309>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

VICENTE, M.X. Tempestade e ventania causada por “ciclone bomba” causam estragos em Curitiba. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 01 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/curitiba/tempestade-ciclone-bomba-estragos/>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

VILLA, M. Ciclone bomba deixa estragos em todo Paraná: 1,2 milhão de casas ficaram sem luz. **Paraná Portal**, [S.l.], 01 jul. 2020. Disponível em: <<https://paranaportal.uol.com.br/cidades/ciclone-bomba-estragos-parana>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

Recebido em 23/08/2022

Aceito em 30/09/2022

