

ANÁLISE DAS CHUVAS INTENSAS EM FEVEREIRO DE 2023 NO LITORAL NORTE PAULISTA E DEBATE SOBRE RESILIÊNCIA

João Pedro de Moraes¹

Prof. Dr. Raul Reis Amorim²

INTRODUÇÃO

Nos dias 18 e 19 de fevereiro de 2023, ocorreu no litoral norte de São Paulo um evento de precipitação intensa que, acumulada, alcançou aproximadamente 700 mm. A estação pluviométrica da Barra do Una em São Sebastião, por exemplo, registrou 612 mm nas 12 primeiras horas do dia 19. Descrever e analisar os fatores que levaram a este evento climático é fundamental para identificar novas formas de construir uma resiliência climática.

O Brasil está entre os países que vão ser mais impactados pelas mudanças climáticas (Carmin, 2002; Tyler, 2012). A tendência para o sul e sudeste do país é o aumento das médias de precipitação e dos eventos de chuvas intensas (IPCC, 2023). Estes fenômenos já vêm se apresentando e sendo observados nos últimos anos; ainda assim, o país está extremamente defasado em políticas climáticas. Segundo o Relatório Luz 2023, que acompanha o progresso do país na agenda ONU 2030, das 169 metas colocadas dentro dos 17 objetivos, o país está em retrocesso em 102 dessas metas, tendo um progresso satisfatório em apenas 3 metas. Enquanto isso, a revisão de modelos climáticos levanta indícios de que os dados de aquecimento do sistema climático teriam sido subestimados, indicando que os impactos futuros tendem a ser piores do que o previamente esperado (Williams, 2020; Hansen, 2023). Assim, é imperativo construir sistemas de alerta e planos efetivos de mitigação de impactos que consolidem uma maior resiliência para a população.

Neste contexto, a Geografia e a Climatologia Geográfica apresentam caminhos teóricos e metodológicos necessários para analisar e compreender a realidade (Lave, 2018; Santos, 1988; 2000), aproximando-nos de propostas efetivas para a construção de resiliência e gestão climática. Os mecanismos climáticos que geram chuvas intensas no litoral norte de São Paulo, como as influências orográficas, dinâmicas frontais e variações

¹Graduando do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, j251937@dac.unicamp.br;

² Professor orientador: Livre Docente, Instituto de Geociências - UNICAMP, raulreis@unicamp.br.

de El Niño e La Niña, são conhecidos. Descrever a formação do evento dos dias 18 e 19 é fundamental para atualizar as leituras sobre a suscetibilidade climática e apontar possíveis indicadores que auxiliem na criação de planos de mitigação de riscos.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir de três etapas principais: aprofundamento epistemológico, organização e análise dos dados, produção dos resultados gráficos e discussão, visando descrever e compreender o evento climático que deflagrou o desastre no litoral norte de São Paulo com o intuito de levantar indicativos de suscetibilidade e formas de construir resiliência a partir do ocorrido neste evento.

Para a primeira etapa da pesquisa, propôs-se fazer uma leitura crítica da realidade socioambiental existente a partir da Climatologia Geográfica, evitando cair em armadilhas ou limitações segmentárias (Lave, 2018; Santos, 1988; 2000). Compreendemos como a literatura recente tem trabalhado com os extremos de precipitação próximo ao litoral norte e quais fatores podem ser relevantes para monitoramento e contribuição à resiliência climática (Ribeiro 2008; Vicente, 2010; Marengo 2010; Caycho, 2010; Martins 2015; Gozzo, 2020). Foi necessário aprofundar a documentação da literatura sobre os diferentes mecanismos existentes no desenvolvimento de um evento climático extremo, como o ocorrido, incluindo o comportamento dos sistemas frontais, influências orográficas e variações com ocorrência de El Niño e La Niña.

Na segunda etapa, levantamos dados secundários de diferentes escalas climáticas e geográficas para descrever e compreender o evento em maior profundidade. Coletamos dados pluviométricos do mês de fevereiro de 2023 das estações do CEMADEN nos municípios de Guarujá, Bertioga, São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba, Ubatuba, Paraty, Cunha, São Luiz do Paraitinga, Natividade da Serra, Paraibuna, Salesópolis e Mogi das Cruzes. Organizamos esses dados no Excel, georreferenciamos e plotamos no QGIS. A partir disso, interpolamos os dados e construímos o mapa de isoietas do evento, permitindo visualizar a distribuição da chuva no litoral e identificar mais precisamente os mecanismos atuantes. Para compreender a consolidação e desenvolvimento da chuva, levantamos dados de anomalia da temperatura de superfície do mar, disponibilizados pelo *Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis*, visando identificar a correlação entre o aquecimento próximo à costa brasileira e a chuva. Dados da CPRM, como as

'Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações', foram utilizados para fornecer uma visão geral da geomorfologia regional.

Levantamos cartas sinóticas da semana do evento, proporcionadas pela Marinha e REDEMET (Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica), para identificar o sistema climático atuante na região e seu deslocamento. Imagens do satélite meteorológico geoestacionário GOES-16, disponibilizadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), também foram utilizadas. Por fim, foi necessário trazer uma visualização dos impactos desta chuva e sua concentração. Utilizamos imagens de satélite do *Planet Labs* para identificar cicatrizes de deslizamento que marcam os compartimentos da paisagem e o evento climático.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desastre deflagrado pela precipitação nos dias 18 e 19 de fevereiro de 2023 no litoral norte de São Paulo resultou de uma confluência de fatores e processos que consolidaram o evento extremo. Analisar e descrever este evento exigiu explorar diferentes escalas para entendimento de como processos climáticos diversos influenciaram sua formação, considerando as características de oscilação do El Niño, o aquecimento da atmosfera e o contexto sinótico.

Os anos de 2020 a 2022 foram marcados por um fenômeno de La Niña moderado (NOAA). No início de 2023, observou-se uma transição para um El Niño intenso (NOAA), com a anomalia de temperatura passando de 1°C abaixo da média no final de 2022 para 2°C acima da média no final de 2023. Esta mudança tendeu a aumentar as precipitações na região sul e sudeste do Brasil (Kayano, 1986; Coelho, 2002; Andreoli e Kayano, 2005).

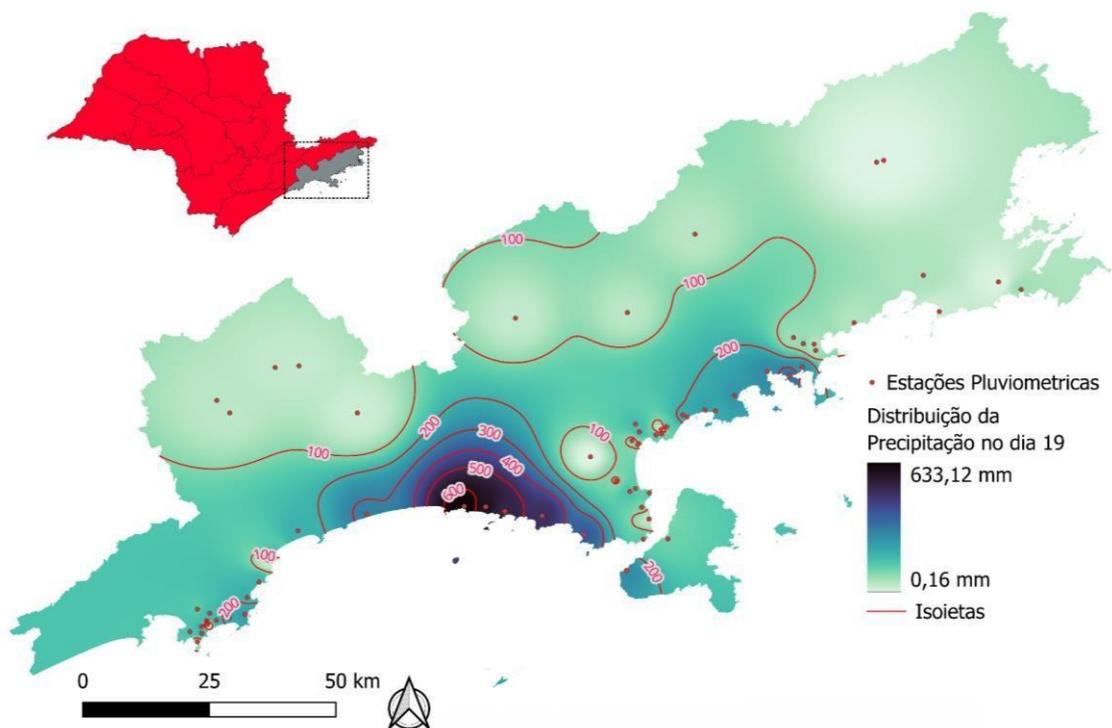
A variação da anomalia de temperatura de superfície do mar diária próximo à costa brasileira nos dias prévios à chuva foi crucial. De 8 a 16 de fevereiro, houve um aquecimento que se deslocou do sul do Rio Grande do Sul até o sul do Espírito Santo, intensificando-se no litoral paulista a partir do dia 13, com anomalias de 1°C a 3°C acima da média. A dinâmica térmica revelou que as temperaturas máximas próximas a Bertioga oscilaram de 28°C a 29°C (8 a 13 de fevereiro) para 32°C a 34°C (14 a 17 de fevereiro), o que trouxe mais energia ao sistema e contribuiu para o aumento da umidade, potencializando o evento.

A análise sinótica mostra o avanço de um sistema de baixa pressão ao norte, trazendo uma frente fria do sul do Rio Grande do Sul em 17 de fevereiro, alcançando a

área *charlie* em 18 de fevereiro e tornando-se uma frente semi-estacionária na noite do dia 18. A passagem da frente gerou uma alteração no sentido dos ventos em superfície, que passaram a fluir de sudoeste, intensificando a velocidade dos ventos e a atividade convectiva na região, em combinação com a orografia local e um centro de baixa pressão.

A chuva teve início no dia 18 após as 18 horas, com as maiores precipitações acumuladas nas estações Praia de Guaratuba (390 mm) e Perequê (204 mm). A chuva continuou no dia 19, com maior intensidade nas primeiras 12 horas. As cinco maiores precipitações acumuladas foram 634 mm (Barra do Una), 586 mm (Juquehy2), 528 mm (Juquehy), 492 mm (Boiçucanga) e 382 mm (Toque Toque Pequeno). Estações acima da Serra, como Mogi das Cruzes e São Luiz do Paraitinga, não receberam mais que 60 mm. A construção das isoietas (Figura 1) evidencia a concentração da chuva no dia 19, reforçando a relevância orográfica e o sentido dos ventos para o processo convectivo local.

Figura 1 – Mapa de isoietas da chuva de 19/02/2023



Fonte: Dados de precipitação do CEMADEN

Deste modo, é possível visualizar uma maior concentração de chuva e cicatrizes de deslizamento a partir da comparação de imagens de satélite (Figura 2). Observa-se que as marcas de deslizamento estão nos pontos onde a precipitação ultrapassa 500 mm nos

dois dias e 400 mm no dia 19. Segundo dados da mídia, o evento deixou 65 mortos, dos quais 64 em São Sebastião, e mais de 2 mil desalojados e 1,8 mil desabrigados.

Figura 2 – Identificação de cicatrizes de deslizamento



Fonte: Imagens de satélite do mosaico mensal do *Planet Labs*

O relevo do litoral paulista consiste de planícies amplas ao sul do estado que ficam menores ao norte, com o avanço dos compartimentos serranos em direção ao oceano, formando praias embaixadas com planícies menos extensas e maior concentração de morrotes, morros e escarpas próximos ao mar. O padrão de ocupação nessa região implica no esgotamento das planícies e avanço sobre as encostas. Tempestades geradas pelo avanço de frentes sobre o litoral, que alteram a direção dos ventos e levam à concentração de processos convectivos, tendem a se tornar mais comuns (IPCC, 2023). A persistência na ausência de sistemas de monitoramento e planos de mitigação de impacto implica na continuidade de óbitos evitáveis.

Diversos alertas de chuva intensa no litoral norte foram emitidos em janeiro de 2023. Em fevereiro, ocorreram pelo menos outros três temporais no estado com elevado número de mortos. A partir do dia 13, a mídia noticiava o avanço de uma frente, sistema conhecido por causar chuvas intensas. A 'Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de São Sebastião - SP' de 2017 e o 'Plano Municipal de Redução de Riscos de São Sebastião' de 2019 já demarcavam as áreas propensas a sofrer impactos de chuvas intensas. Ainda assim, a tragédia aconteceu.

A ocorrência de um evento desta magnitude impõe a necessidade de criar políticas de ação para mitigação de impacto e aumento da resiliência. É essencial integrar o monitoramento de dados climáticos às leituras de suscetibilidade, permitindo antecipar a ação frente à possibilidade de desastre. Desta forma, é possível criar indicadores que identifiquem previamente a potencialidade de deflagração de uma chuva intensa e estejam associados a planos de ação para retirar pessoas de áreas de risco e fortalecer áreas suscetíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O evento climático extremo que ocorreu na região do litoral norte de São Paulo nos dias 18 e 19 de fevereiro de 2023 levou a 65 mortos. A análise dos mecanismos envolvidos demonstrou o desenvolvimento de sistemas conhecidos que, ocorrendo em conjunto, resultaram na formação deste evento extremo. Apesar da existência de diversos documentos que identificam áreas de suscetibilidade, o desastre ocorreu, indicando uma falha do Estado. Portanto, é essencial atualizar e ampliar a capacidade analítica e de ação do poder público. Isso inclui capacitar servidores e produzir novas leituras de suscetibilidade que orientem políticas públicas para a construção de maior resiliência a estes eventos. Além disso, a criação de sistemas de monitoramento que possam identificar a convergência de fatores, como ocorreu no evento, é crucial. Dessa forma, podemos dar início a planos de mitigação de impacto estruturados, visando reduzir o número de mortes.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos nº. 2022/03080-4; 2024/03654-6 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), processo nº. 88887.705094/2022-00.

Palavras-chave: chuvas intensas; riscos climáticos, mudanças climáticas, resiliência climática.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. **Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 2017–2030, 2005.

BANZON, V.; REYNOLDS, R.; NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). The Climate Data Guide: SST data: NOAA High-resolution (0.25x0.25) Blended Analysis of Daily SST and Ice, OISSTv2. Last modified 2022-0909.

Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-highresolution-025x025-blended-analysis-daily-sst-and-ice-oisstv2>>. Acesso em: 20 maio 2024.

BARBOSA, J. P. M. Mudanças climáticas e evolução das chuvas no setor paulista da Serra do Mar: análise a partir de séries históricas de precipitação. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, UNICAMP, v. 1, n. 17, p. 1, nov. 2007.

BLANCO, C. M. R. Processos de Intensificação Orográfica da Precipitação na Serra do Mar em São Paulo. 2007. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. doi:10.11606/D.14.1999.tde-10042007-102412. Acesso em: 15 fev. 2024.

CARMIN, J.; ANGUELOVSKI, I.; ROBERTS, D. Urban Climate Adaptation in the Global South: Planning in an Emerging Policy Domain. **Journal of Planning Education and Research**, v. 32, n. 1, p. 18, jan. 2002.

CAYCHO, T. G. Impactos da chuva na ocorrência de deslizamento de terra e inundações no estado de São Paulo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, v. 1, n. 1, p. 1, jul. 2010. Disponível em: <<http://mtcm16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19@80/2010/08.20.17.56/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

COELHO, C.; UVO, C.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 71, p. 185–197, 2002. doi:10.1007/s007040200004.

DIAZ, A. F. Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **American Meteorological Society**, Montivideo, v. 11, n. 1, p. 251, maio 2024.

GOZZO, L. F.; VERDELHO, F. F.; CUSTÓDIO, M. de S. Análise sinótica e climatológica do extremo de precipitação ocorrido em maio de 2017 no Centro-Oeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 883–899, 2020. doi:10.5380/rbclima.v27i0.72560.

GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL PARA A AGENDA 2030. VI **Relatório Luz da Sociedade Civil: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável Brasil**. 6. ed. [S.l.: s.n.], 2022.

HAYLOCK, M. R. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **American Meteorological Society**, UK, v. 19, n. 1, p. 1490, ago. 2005.

HUANG, B. et al. Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations and intercomparisons. **Journal of Climate**, v. 30, p. 8179–8205, 2017.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35115, 2023. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

JOHNSON, G. C.; LUMPKIN, R. (Eds.). State of the Climate in 2022: Global Oceans. 104. ed. [S.l.: s.n.], 2023.

KAYANO, M. T. El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. Brazilian Journal of Geophysics, SP, v. 4, n. 2, p. 201, ago. 1986. Disponível em: <<https://sbgf.org.br/revista/index.php/rbgf/article/view/1055>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

LAVE, R. *et al.* (Orgs.). The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography. Londres: Palgrave, 2018.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. Estudos Avançados [Internet], v. 22, n. 63, p. 83-96, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S010340142008000200006>>.

MARTINS ANDRADE, K.; PINHEIRO, H. R.; DOLIF NETO, G. Evento extremo de chuva no Rio de Janeiro: análise sinótica, previsão numérica e comparação com eventos anteriores. **Ciência e Natura [online]**, v. 37, n. 1, p. 175-180, 2015. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547641028>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

MARTINS, K. A. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. INPE, 2005.

MILANESI, M. A. Avaliação do efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP). 2007. 150 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). USP/FFLCH/DG, São Paulo, 2007.

RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. Parcerias Estratégicas, n. 27, p. 297-321, 2008. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/parcerias/p27.php>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

SANTOS, M. O trabalho do geógrafo no terceiro mundo. 5. ed. [S.l.]: Edusp, 2009.

TYLER, S.; MOENCH, M. A framework for urban climate resilience. **Climate and Development**, v. 4, n. 4, p. 311, dez. 2012.

VICENTE, A. K.. Incertezas na espacialização da precipitação, impactos associados e previsão de risco no litoral paulista. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial, Unicamp, v. 1, n. 1, p. 1, ago. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/783673>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

XIE, Shang-ping. Global Warming Pattern Formation: Sea Surface Temperature and Rainfall. American Meteorological Society, Hawaii, v. 23, n. 1, p. 966, set. 2009.