Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA
DOI: 10.17765/2176-9168.2026v19.e14639
e-ISSN 2176-9168

Editorial

A CIÊNCIA DIANTE DA VULNERABILIDADE E RESILIÊNCIA URBANA DOS NOVOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS

Science in the face of urban vulnerability and resilience in new climate scenarios

A madrugada de 2 de novembro de 2026 escreveu um capítulo marcante na história recente de Maringá (PR). A passagem de um tornado, que conforme a avaliação técnica do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) teve a categoria F2, deixou um expressivo rastro de destruição na paisagem urbana, com ventos giratórios que atingiram entre 180 km/h e 253 km/h, afetando cerca de 40% do município (SIMEPAR, 2026). Centenas de árvores de grande porte foram derrubadas, além de haver causado danos à rede de distribuição de energia elétrica, destelhamentos e prejuízos a edificações e estruturas industriais. A interrupção de serviços essenciais e a decretação de estado de emergência pública, Decreto 2.003/2026 (Maringá, 2026), evidenciam que eventos meteorológicos extremos podem comprometer, em poucas horas, estruturas fundamentais para o funcionamento das cidades. A Defesa Civil do Estado apontou que a instabilidade climática daquela data prejudicou 16 municípios adicionais, que registraram outras ocorrências graves associadas à mesma frente de tempestades, como granizo, vendavais e enxurradas. Mais do que dimensionar os prejuízos imediatos, esse episódio convoca a comunidade científica, os gestores públicos e a sociedade a uma reflexão sobre vulnerabilidade, prevenção e capacidade de adaptação dos territórios.

A ocorrência em Maringá integra um cenário regional mais amplo de atividade meteorológica severa. Entre 2 e 7 de novembro de 2026, sete tornados foram registrados nos estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, em uma sequência de episódios que resultou em mortes, feridos e danos expressivos a residências, edificações e estruturas de infraestrutura. A abrangência territorial e a proximidade temporal dessas ocorrências evidenciam a dimensão dos impactos que tempestades severas podem produzir sobre diferentes municípios de uma mesma região, reforçando a necessidade de considerar os riscos meteorológicos também em uma perspectiva regional.

[1] Universidade Cesumar (UniCesumar).

Autor correspondente Aline Lopes: aline.llopes@unicesumar.edu.br

Recebido em: 06/11/2026. Aceito em: 09/11/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Sob a perspectiva da ciência climática, é necessário estabelecer uma distinção fundamental: não se pode atribuir a ocorrência de um tornado específico, de forma direta e isolada, às mudanças climáticas globais. A formação de tempestades convectivas severas envolve interações atmosféricas complexas, condicionadas pela disponibilidade de umidade, instabilidade termodinâmica, mecanismos de iniciação convectiva e cisalhamento vertical do vento (Stott *et al*., 2016; IPCC, 2021). A própria literatura científica reconhece que a resposta dos tornados ao aquecimento global permanece mais incerta do que aquela observada para outros extremos climáticos (Brooks, 2013; Allen, 2018; IPCC, 2021). Entretanto, essa incerteza metodológica não significa ausência de riscos ou justificativa para a inércia.

O aquecimento global pode modificar componentes termodinâmicos dos ambientes convectivos, como a disponibilidade de umidade e a energia potencial convectiva, enquanto alterações no cisalhamento vertical do vento e na inibição convectiva também podem influenciar a organização e a iniciação das tempestades. A resposta desses ambientes, contudo, apresenta diferenças regionais e sazonais. Sob a égide da ética ambiental, evoca-se aqui o Princípio da Precaução (ONU, 1992): a ausência de evidência causal imediata em escala local não anula o dever imperativo de agir. Postergar políticas públicas de resiliência e adaptação urbana à espera de certezas absolutas viola o compromisso ético de salvaguarda das populações em geral, e em particular, daquelas mais vulneráveis.

Essa discussão ganha especial relevância na América do Sul subtropical, onde se encontram algumas das condições atmosféricas mais favoráveis à ocorrência de tempestades convectivas intensas. Um estudo recente de Santos, Allen e Nascimento (2025), baseado em dados de reanálise ERA5, um conjunto de dados climáticos produzido pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), no âmbito do Copernicus Climate Change Service (C3S), para o período de 1980 a 2021, identificou áreas de elevada frequência de ambientes favoráveis a tempestades severas, incluindo a região de confluência entre Argentina, Brasil e Paraguai. Os autores também identificaram tendências sazonais positivas desses ambientes na primavera, associadas principalmente ao aumento do cisalhamento vertical do vento nessa região. Complementarmente, Chakraborty et al. (2026), utilizando um conjunto de 50 simulações climáticas, projetaram alterações nos ambientes convectivos da América do Sul subtropical, incluindo aumentos de energia potencial convectiva disponível (CAPE), inibição convectiva (CIN) e cisalhamento vertical do vento. Os resultados apontam para a possibilidade de condições que favoreçam tempestades menos frequentes, mas potencialmente mais intensas, ressaltando a influência conjunta da variabilidade natural do clima e das mudanças climáticas. A variabilidade climática natural também precisa ser considerada nesse contexto.

O episódio de El Niño em desenvolvimento em 2026, cuja intensificação foi apontada pelos boletins da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e do Painel El Niño 2026–2027, constitui um importante modulador da circulação atmosférica e dos padrões de precipitação na América do Sul. Estudos demonstram que o fenômeno ENSO influencia a frequência e a duração dos jatos de baixos níveis na América do Sul, sistemas importantes para o transporte de umidade e a organização de sistemas precipitantes no continente subtropical (Mu *et al*., 2024). Essa influência pode modificar

as condições meteorológicas regionais, embora não permita estabelecer uma relação causal direta entre o El Niño e a ocorrência do tornado em 2 de novembro em Maringá. Assim, compreender a interação entre variabilidade natural e mudanças climáticas antropogênicas constitui uma das prioridades da pesquisa meteorológica regional.

Entretanto, a dimensão de um desastre não depende exclusivamente da intensidade do fenômeno natural. Ela resulta também da combinação entre ameaça, exposição e vulnerabilidade. A destruição observada em Maringá evidencia a necessidade de avaliar criticamente a capacidade de nossas cidades de resistir, adaptar-se e se recuperar diante de eventos de ventos extremos. A arborização urbana, essencial para a regulação microclimática, o conforto térmico, a biodiversidade e a qualidade ambiental, também demanda planejamento e manejo orientados pela avaliação de riscos. A estabilidade das árvores depende de fatores como as características da espécie, a arquitetura da copa e da estrutura do sistema radicular, a integridade estrutural, as condições fitossanitárias, a idade, as propriedades do solo e a exposição aos ventos. Estudos sobre avaliação de risco de árvores urbanas demonstram que a análise integrada da ameaça, da vulnerabilidade, da exposição e dos danos potenciais é fundamental para orientar estratégias preventivas (Giachetti, Ferrini, Bartoli, 2021; Li *et al*., 2022). Portanto, a recuperação da vegetação urbana não deve se limitar à reposição numérica das árvores perdidas, mas considerar diversidade de espécies, adequação ao espaço urbano, qualidade das mudas, condições de implantação e monitoramento contínuo.

A infraestrutura urbana também precisa ser repensada sob a perspectiva da resiliência. A interrupção do fornecimento de energia e os danos às redes de distribuição demonstram como eventos extremos podem desencadear falhas interdependentes nos serviços essenciais. A substituição ou modernização de estruturas vulneráveis, o planejamento de rotas alternativas de distribuição e a avaliação de trechos estratégicos para implantação de redes subterrâneas podem integrar estratégias de adaptação. Entretanto, essas alternativas exigem análises de viabilidade técnica, econômica e ambiental, considerando os custos de implantação, manutenção e os benefícios esperados para a continuidade dos serviços (Larsen, 2016). Da mesma forma, a revisão dos padrões construtivos e das exigências de segurança das edificações deve incorporar avaliações atualizadas dos riscos associados a ventos extremos.

Diante desse cenário, a resposta das ciências ambientais e do poder público precisa ultrapassar o caráter emergencial e estruturar uma agenda permanente de prevenção e adaptação. Isso implica ampliar o desenvolvimento de pesquisas em modelagem climática regional, aprimorar o monitoramento meteorológico, mapear áreas e estruturas vulneráveis, fortalecer sistemas de alerta precoce e integrar o conhecimento científico aos planos diretores e às políticas municipais de gestão de riscos. A literatura sobre sistemas de alerta multirriscos reforça que a efetividade desses instrumentos depende não apenas da capacidade de previsão, mas também da comunicação acessível, da preparação comunitária e da articulação entre instituições responsáveis pela resposta aos desastres (Haque *et al.,* 2024; Rokhideh, Fearnley; Budimir, 2025). O Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015–2030 (UNDRR, 2015) também destaca a importância de compreender os riscos, fortalecer a governança e investir em prevenção e reconstrução resiliente.

Nesse processo, as universidades e os centros de pesquisa desempenham papel estratégico no fortalecimento da capacidade adaptativa das cidades brasileiras diante dos riscos associados aos eventos climáticos extremos e às mudanças climáticas. Como a ciência nacional é financiada majoritariamente por recursos públicos, esses investimentos representam um compromisso social que deve se traduzir em soluções estruturadas para subsidiar políticas públicas locais. Para tanto, o poder público precisa expandir o fomento por meio de editais federais e estaduais que estimulem propostas multidisciplinares e transdisciplinares, conectando a academia diretamente aos setores de inovação tecnológica.

Desse esforço conjunto deve emergir um diálogo permanente capaz de transformar evidências científicas em soluções aplicáveis à realidade regional. A integração entre climatologia, engenharias, planejamento territorial e gestão da biodiversidade é urgente para mitigar vulnerabilidades estruturais. Essa articulação ganha relevância ainda maior em regiões onde a dinâmica ambiental, o crescimento urbano e as atividades do agronegócio estabelecem vínculos diretos entre a integridade dos sistemas naturais e o desenvolvimento socioeconômico.

A Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA) reafirma, nesse contexto, seu compromisso com a divulgação de conhecimento científico capaz de contribuir para os desafios contemporâneos da sustentabilidade. O tornado que atingiu Maringá não deve ser compreendido apenas como um episódio de destruição a ser superado pela reconstrução material do que foi perdido. Ele deve representar uma oportunidade de ampliar o debate sobre planejamento, prevenção, adaptação e responsabilidade socioambiental. Reconstruir é necessário, mas reconstruir melhor, incorporando o conhecimento científico e reduzindo vulnerabilidades preexistentes, é uma decisão estratégica para o futuro das cidades.

A sustentabilidade não se limita à conservação dos recursos naturais ou à eficiência dos processos produtivos. Ela também envolve a capacidade de proteger vidas, preservar serviços essenciais, reduzir desigualdades na exposição aos riscos e garantir condições dignas de existência diante de um ambiente em transformação. A ciência não pode atuar somente depois da destruição: precisa estar presente, sobretudo, nas decisões que antecedem os desastres.

Aline Lopes
Editora-chefe Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA)
Universidade Cesumar (UniCesumar)
Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas (PPGTL)
Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI)

Jochen Schöngart
Coordenador da Rede de Paisagens Úmidas Brasileiras (INCT WETSCAPE)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Maria Teresa Fernandez Piedade
Coordenadora Grupo Ecologia, Monitoramento e Uso Sustentável de Áreas Úmidas (MAUA)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

REFERÊNCIAS

ALLEN, J. T. (2018). Climate Change and Severe Thunderstorms. **Oxford Research Encyclopedia of Climate Science**, Oxford, 2018. DOI: https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.62

BROOKS, H. E. Severe thunderstorms and climate change. **Atmospheric Research**, v. 123, p. 129–138, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.002

CHAKRABORTY, A.; HURRELL, J. W.; RASMUSSEN, K. L.; SUN, L. (2026). Evaluating changes in convective environments over subtropical South America under forced and natural climate variability. **Geophysical Research Letters,** 53, e2026GL125330. https://doi.org/10.1029/2026GL125330

GIACHETTI, A.; FERRINI, F.; BARTOLI, G. A risk analysis procedure for urban trees subjected to wind- or rainstorm. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 58, p. 126941, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126941.

HAQUE, A., AKTER, M., HUSSAIN, M. M., RAHMAN, M. R., SALEHIN, M., & RAHMAN, M. An integrated risk-based early warning system to increase community resilience against disaster. **Progress in Disaster Science**, v. 21, p. 100310, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100310.

IPCC. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. *In*: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 1513–1766. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009157896.013.

LARSEN, P. H. A method to estimate the costs and benefits of undergrounding electricity transmission and distribution lines. **Energy Economics**, v. 60, p. 47–61, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.09.011.

LI, H., ZHANG, X., LI, Z., WEN, J., & TAN, X. A Review of Research on Tree Risk Assessment Methods. **Forests**, v. 13, n. 10, 1556, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/f13101556.

MARINGÁ (Município). **Decreto nº 2003, de 4 de novembro de 2026**. Declara Situação de Emergência no Município de Maringá causada por tornado, chuvas intensas e vendaval. Diário Oficial do Município de Maringá, Maringá, ano 36, n. 4958, p. 1-2, 5 nov. 2026. Disponível em: maringa.pr.gov.br. Acesso em: 5 nov. 2026.

MU, Y., JONES, C., CARVALHO, L. M., XUE, L., LIU, C., & DING, Q. Pacific decadal oscillation and ENSO forcings of northerly low-level jets in South America. **npj Climate**

and Atmospheric Science, v. 7, n. 1, p. 297, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41612-024-00852-6.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Princípio 15**. *In*: Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: ONU, 1992. Disponível em: https://digitallibrary.un.org/record/141565. Acesso em: 5 nov. 2026.

ROKHIDEH, M.; FEARNLEY, C.; BUDIMIR, M. Multi-Hazard Early Warning Systems in the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Achievements, Gaps, And Future Directions. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 16, p. 103–116, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s13753-025-00622-9.

SANTOS, L.; ALLEN, J. T.; NASCIMENTO, E. L. Climatology and trends of severe storm environments in subtropical South America. **Weather and Climate Extremes**, v. 50, 100820, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wace.2025.100820.

SISTEMA DE TECNOLOGIA E MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARANÁ (SIMEPAR). **Nota oficial: avaliação técnica do evento meteorológico em Maringá**. Curitiba: SIMEPAR, 3 nov. 2026. Disponível em: https://www.simepar.br/simepar/post/79990. Acesso em: 5 nov. 2026.

STOTT, P.; CHRISTIDIS, N.; OTTO, F.; SUN, Y.; VANDERLINDEN, J. P.; VAN OLDENBORGH, G. J.; ... & ZWIERS, F. Attribution of extreme weather events in the context of climate change. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 7, n. 1, p. 23-41, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/wcc.380.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030**. Geneva: United Nations, 2015. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030. Acesso em: 5 nov. 2026.