

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA E DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ASSOCIADAS A EVENTOS DE GRANIZO EM MINAS GERAIS (2018-2022)Jhonatan B. Toledo¹ (IC), Vanessa S. B. Carvalho (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá**Palavras-chave:** Eventos extremos, Tempestade severa, Análise sinótica**Introdução**

O granizo é uma precipitação sólida associada a nuvens Cumulonimbus, cujo forte desenvolvimento vertical e turbulência favorecem a formação de partículas de gelo (AMARANTE, 2009). Esse fenômeno, ligado a tempestades severas e Complexos Convectivos de Mesoescala, causa impactos significativos na agricultura, áreas urbanas e infraestrutura, sendo uma das principais fontes de perdas econômicas por eventos meteorológicos extremos (PREIN; HOLLAND, 2018).

No Brasil, ocorre com maior frequência nas regiões Sul e Sudeste, influenciado por frentes frias, a Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS e pela umidade amazônica, além do efeito de ilhas de calor em centros urbanos como Belo Horizonte e São Paulo (ANABOR et al., 2008). Em Minas Gerais, a topografia e a dinâmica atmosférica favorecem sua ocorrência, com prejuízos marcantes à agricultura e à infraestrutura (CEPED/UFSC, 2019).

Nesse contexto, este estudo analisa registros de granizo em Minas Gerais entre agosto de 2018 e dezembro de 2022, com base em dados do INMET e da Defesa Civil, e inclui um estudo de caso da tempestade de 3 de outubro de 2022, que afetou a Rodovia Fernão Dias e gerou expressivos danos socioeconômicos (DER-MG, 2022).

Metodologia

Neste estudo foram utilizados registros do banco PREVOTS – Previsão e Monitoramento de Ocorrências de Tempestades Severas, de onde foram selecionados exclusivamente os casos de ocorrência de granizo (RIBEIRO et al., 2022).

Também foi realizado um estudo de caso da tempestade de 3 de outubro de 2022, caracterizada por forte intensidade e grandes impactos socioeconômicos no sul do estado. Foram utilizados dados horários da reanálise ERA5, com resolução espacial de 0,25°, a fim de construir campos sinóticos representativos (HERSBACH et al., 2020). A análise considerou variáveis meteorológicas essenciais para a compreensão

de eventos convectivos: jatos em altos níveis (250 hPa), cisalhamento vertical do vento (1000–500 hPa) e energia potencial convectiva disponível (CAPE; MONCRIEFF & MILLER, 1979). Esses dados foram complementados por cartas sinóticas da Marinha do Brasil e registros observacionais do INMET.

Resultados e discussão

A análise espacial dos 1938 eventos de granizo registrados entre 2018 e 2023 (Figura 1) evidencia uma distribuição heterogênea, com maior concentração nas regiões sul, sudeste e central do estado. As regiões norte e noroeste, por sua vez, apresentam baixa frequência. Esse padrão espacial está fortemente relacionado à atuação de sistemas sinóticos como frentes frias e a ZCAS, que intensificam a convecção ao transportar umidade da Amazônia (MARCELINO et al., 2006; SALIO et al., 2007; NOGUEIRA; SILVA DIAS, 2016). Além disso, o relevo acidentado do estado contribui para o levantamento orográfico e a intensificação de tempestades (MIRANDA et al., 2020; VILA et al., 2008), enquanto áreas urbanizadas, como Belo Horizonte, potencializam a convecção pela formação de ilhas de calor (ANABOR et al., 2008; FREITAS et al., 2013).

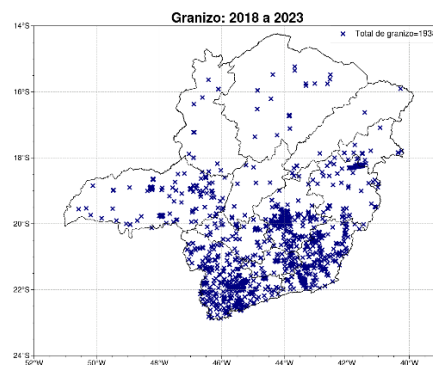


Figura 1 - Distribuição espacial do total de ocorrências de granizo no estado de Minas Gerais no período de 2018 a 2023.

A distribuição anual das ocorrências (Figura 2) mostra um aumento consistente entre 2018 e 2023. Tal padrão é explicado tanto pela melhoria na coleta de

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

dados, especialmente com o uso da plataforma PREVOTS e maior integração com redes de monitoramento (RIBEIRO et al., 2022; SILVA et al., 2021), quanto por tendências associadas às mudanças climáticas, que elevam a energia potencial convectiva disponível (PREIN; HOLLAND, 2018; PUNGE; KUNZ, 2016; TRAPP et al., 2007). Após o pico de 2021, observa-se uma estabilização em 2022 e uma redução em 2023, possivelmente atribuída à incompletude dos registros e às limitações na captação de dados observacionais (INMET, 2022).

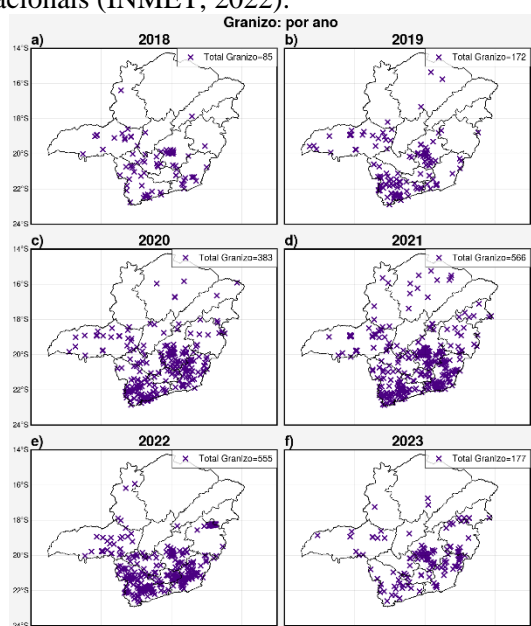


Figura 2 - Ocorrências de granizo em Minas Gerais por ano (2018-2023).

O ciclo sazonal das tempestades (Figura 3) reforça a concentração de granizo entre outubro e janeiro, coincidindo com a estação chuvosa da região Sudeste. Nesse período, há maior disponibilidade de calor e umidade para a formação de tempestades severas (REBOITA et al., 2010; CARVALHO et al., 2004). Outubro se destaca como o mês mais crítico, associado ao início do regime convectivo, à intensificação de frentes frias, à instabilidade atmosférica e à atuação da ZCAS. Em contrapartida, os meses de inverno apresentam quase ausência de eventos, resultado do ar mais seco e estável (GRIMM, 2009; INMET, 2022).

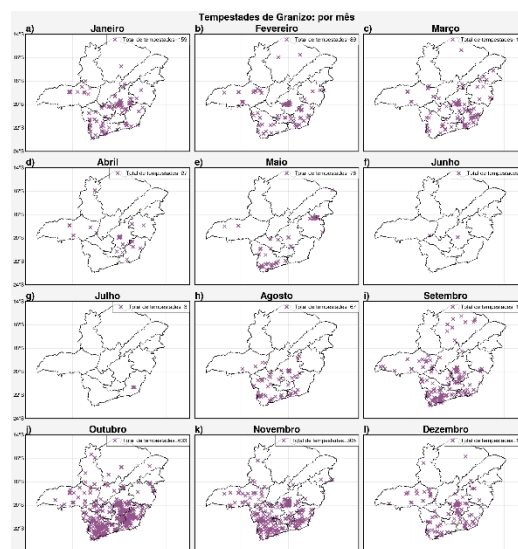


Figura 3 - Distribuição espacial e total de tempestades de granizo por mês no estado de Minas Gerais, para o período de 2018 a 2023.

Quanto à duração dos eventos (Figura 4), a maioria dos episódios não ultrapassa 240 minutos, refletindo a estrutura típica de células convectivas isoladas ou aglomerados multicelulares (COTTON; YANG, 2011; DOSWELL, 2001). Eventos mais duradouros, embora menos frequentes, são característicos de sistemas altamente organizados, como supercélulas e complexos convectivos de mesoescala, que podem persistir por várias horas (MARTINS et al., 2017; SALIO et al., 2007; VILA et al., 2008).

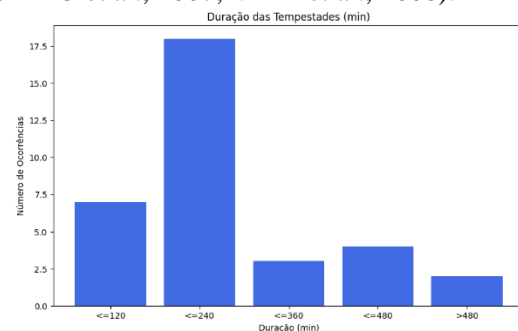


Figura 4 - Duração das tempestades de granizo em minutos.

Em 3 de outubro de 2022, ocorreu um significativo evento de granizo no sul de Minas Gerais, caracterizado por sua intensidade e impactos socioeconômicos relevantes. Conforme registros da plataforma PREVOTS, a tempestade afetou múltiplos municípios, resultando em danos à infraestrutura urbana e interrupções no sistema viário, incluindo a paralisação da BR-381, conforme documentado pelo DER-MG (2022). A Figura 5 ilustra as pedras de granizo com diâmetros entre 3-5 cm, enquanto a Figura 8 demonstra o

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

acúmulo de gelo superior a 10 cm de espessura na BR-381, evidenciando a severidade do fenômeno.

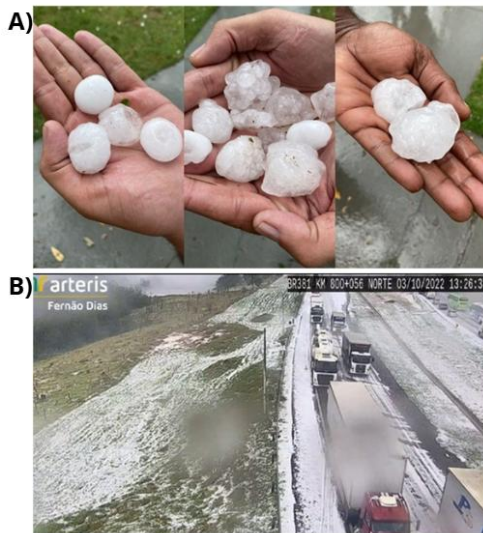


Figura 5 - Aspectos de uma ocorrência de granizo em Minas Gerais. (A) Tamanho e forma das pedras de gelo. (B) Acumulação de granizo na BR 381 (Rodovia Fernão Dias). Fonte: G1 Sul de Minas (2022).

As cartas da Marinha do Brasil (Figura 6) revelam a atuação de uma frente fria no Oceano Atlântico que avançou em direção à região entre 00Z e 12Z. Este sistema atuou como a principal forçante de grande escala, promovendo convergência de umidade na baixa troposfera e intensificando a instabilidade atmosférica.

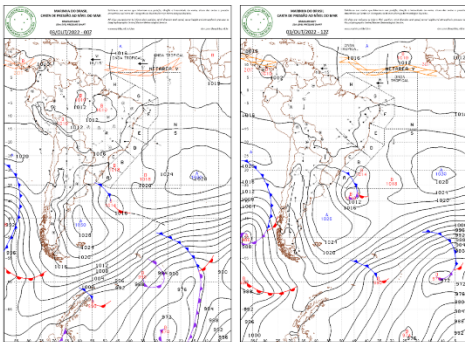


Figura 6 - Cartas sinóticas de pressão ao nível do mar da Marinha do Brasil para o dia 03 de outubro de 2022 às 00Z e 12Z. Fonte: Marinha do Brasil (2022).

As condições meteorológicas mostraram-se particularmente favoráveis ao desenvolvimento de tempestades severas. A análise de altos níveis revelou a presença de um jato com núcleo de velocidade superior a 34 m/s (Figura 7). A análise termodinâmica do evento, por sua vez, revelou a presença de CAPE com valores superiores a 2500 J/kg, conforme ilustrado na Figura 8. Esse dado indica uma ampla disponibilidade de energia para o

desenvolvimento convectivo. Além disso, o cisalhamento vertical do vento entre 500 e 1000 hPa, com magnitudes maiores ou iguais a 15 m/s, permitiu a organização e a persistência da célula convectiva ao promover a separação entre as correntes ascendentes e descendentes.

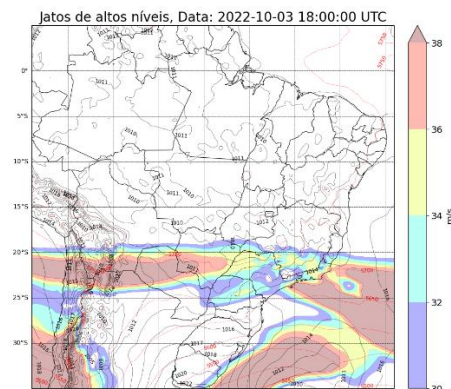


Figura 7 - Jatos de altos níveis sobre a América do Sul no dia 03 de outubro de 2022 às 18:00 UTC.

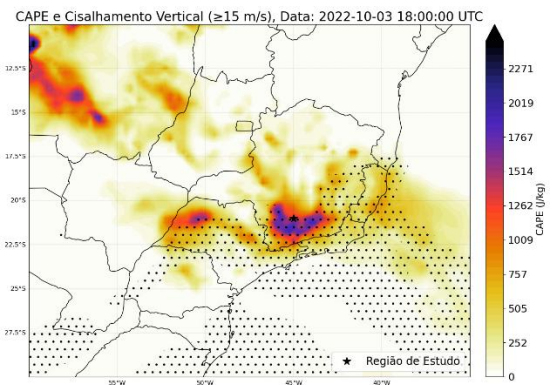


Figura 8 - Distribuição espacial do CAPE (Energia Potencial Convectiva Disponível) e das áreas com cisalhamento vertical do vento maior ou igual a 15 m/s na América do Sul no dia 3 de outubro de 2022.

Conclusões

A ocorrência de granizo em Minas Gerais apresenta padrões espaciais heterogêneos, concentrando-se, principalmente, nas regiões sul, sudeste e central do estado. O aumento de ocorrências anuais entre 2018 e 2023 é atribuído à melhoria na captação de dados. O fenômeno é mais frequente na estação chuvosa, de outubro a janeiro, quando há maior disponibilidade de calor e umidade para tempestades severas. A maioria dos episódios tem curta duração, refletindo a estrutura de células convectivas isoladas ou multicelulares.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

O estudo de caso da tempestade de 3 de outubro de 2022 demonstra a interação entre fatores de grande e mesoescala na formação de eventos severos. A atuação de uma frente fria e de um forte jato de altos níveis intensificou a instabilidade atmosférica. Condições termodinâmicas com altos valores de CAPE e cisalhamento vertical do vento foram cruciais para a organização e persistência da tempestade.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte institucional e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e pela bolsa concedida para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- ALVARES, J. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. J. L. de; CONTI, J. L. de. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMARANTE, F. B. M. **Climatologia de tempestades de granizo no estado de São Paulo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ANABOR, V.; BASTOS, L. E. G.; MACHADO, L. A. T. Análise de chuvas intensas e granizo ocorridos em 2008 na Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo.
- Anais eletrônicos...** São Paulo: SBMET, 2008.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, and relationship with intraseasonal activity and ENSO. **Journal of Climate**, Boston, v. 17, n. 1, p. 88–101, 2004.
- CEPED/UFSC. **Relatório de Desastres e Situações de Emergência – Minas Gerais**. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2019.
- CHANGNON, S. A.; CHANGNON, J. M.; HILBERG, S. D. Hailstorm climatology of the United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, v. 48, n. 9, p. 1913–1928, 2009.
- COTTON, W. R.; YANG, S. P. Convective cells. In: **Encyclopedia of Earth**. Washington, DC: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, 2011.
- DEFESA CIVIL-MG. **Relatório anual de ocorrências**. Belo Horizonte: Defesa Civil-MG, 2021.
- DER-MG. **Relatório de danos na Rodovia Fernão Dias (BR-381)**. Belo Horizonte: DER-MG, 2022.
- DOSWELL, C. A. III. Severe convective storms. In: **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Washington, DC: American Meteorological Society, 2001.
- FREITAS, S. R. et al. O impacto de ilhas de calor urbanas sobre a ocorrência de tempestades de granizo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 4, p. 433–444, 2013.
- GRIMM, A. M. Interações oceano-atmosfera no Atlântico Sul e seus efeitos no clima da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 283–296, 2009.
- G1 SUL DE MINAS. Forte chuva de granizo deixa parte da Fernão Dias 'encoberta com neve' em MG; FOTOS e VÍDEO. **G1**, 2022.
- HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Londres, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.
- INMET. **Banco de dados de tempestades severas**. Brasília: INMET, 2022.
- MARCELINO, I. P. V. O. et al. Climatologia de ocorrência de granizo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 177–187, 2006.
- MARINHA DO BRASIL. **Cartas sinóticas de pressão ao nível do mar**. Rio de Janeiro, 2022.
- MARTINS, L. D. et al. Hail events in Brazil: a review. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 197, p. 146–161, 2017.
- MIRANDA, F. V. C. et al. Influência da topografia na ocorrência de tempestades de granizo em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Campinas, v. 26, p. 302–315, 2020.
- MONCRIEFF, M. W.; MILLER, M. J. The dynamics and thermodynamics of organized convection. **Journal of the**