

## **ANÁLISE DA ENERGÉTICA DO TORNADO OCORRIDO EM SÃO MARTINHO DA SERRA**

**HENRIQUE NORNBERG DA SILVA<sup>1</sup>; SAMUEL HOSSER<sup>2</sup>; GRACIELA REDIES FISCHER<sup>3</sup>; ENZO FERNADES GADDO<sup>4</sup>; LEONARDO JOSÉ GONÇALVES AGUIAR<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – hiquens8@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – samuelhosser@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – graciela.fischer@ufpel.edu.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – enzofg249@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – veraneiro@gmail.com

### **1. INTRODUÇÃO**

Estudos sobre eventos extremos vêm crescendo, juntamente sobre sistemas convectivos de mesoescala, por estes sistemas caracterizarem baixa previsibilidade. Por isso, são necessários estudos abordando as influências encarregadas destes eventos (JACINTO *et al.*, 2022).

Embora o Brasil apresente baixa frequência de eventos severos (NASCIMENTO, 2005), principalmente tornados, estes eventos têm potencial significativo para causar danos à sociedade. Em função disso, se faz necessário uma contribuição da classe meteorológica para o aperfeiçoamento de ferramentas e técnicas para detectar tempestades convectivas (FERREIRA *et al.*, 2022).

O tornado aqui analisado, embora não tenha deixado feridos, teve ventos elevados atingindo a região rural da cidade de São Martinho da Serra, conforme informações do corpo de bombeiros do Rio Grande do Sul (UOL, 2024).

A energética de área limitada surge como um método para análise dos movimentos da atmosfera, que está fundamentada nos armazenamentos e conversões de energia da atmosfera. A sua utilização como ferramenta para compreender as conversões dinâmicas em eventos extremos torna-se vital para um melhor entendimento do seu comportamento dinâmico.

Tendo em visto os elementos apontados acima, o presente estudo tem como objetivo analisar a energética de área limitada em uma região de ocorrência de tornado.

### **2. METODOLOGIA**

O caso escolhido foi o Tornado ocorrido em São Martinho da Serra, no dia 27 de abril de 2024, às 20 UTC, com margem de erro de 5 minutos, segundo a plataforma de Registros de Tempo Severo (PRETS), que utiliza a metodologia de Ribeiro *et al.* (2022).

Foram utilizados os dados da quinta geração de reanálise fornecidos pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF-ERA5), com resolução espacial de 0,25 graus de latitude e longitude e periodicidade horária (HERSBACH *et al.*, 2020).

Para o cálculo da energética de área limitada foi empregada a metodologia de Michaelides (1987), utilizando as componentes zonal, meridional e ômega do vento e temperatura, para todos os níveis de pressão entre 1000 e 100hPa. A região de recorte para o cálculo da energética foi de 28 a 30S e de 52,5 a 54,5W.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Tornado de São Martinho da Serra ocorreu por volta das 20 UTC. Ao observar o gráfico de armazenamentos (Figura 1), a energia cinética zonal (KZ) apresentou um aumento devido à intensificação dos jatos de altos níveis, sendo o principal influenciador de KZ.

A energia potencial zonal (AZ) apresentou um aumento poucas horas antes do evento. Esse comportamento de aumento AZ garante uma atmosfera mais instável, em função desse crescimento indicar um aumento do gradiente meridional de temperatura. Os comportamentos de intensificação de AZ e KZ foram encontrados em estudo de Black e Pezza (2013), mas para a formação de ciclones explosivos.

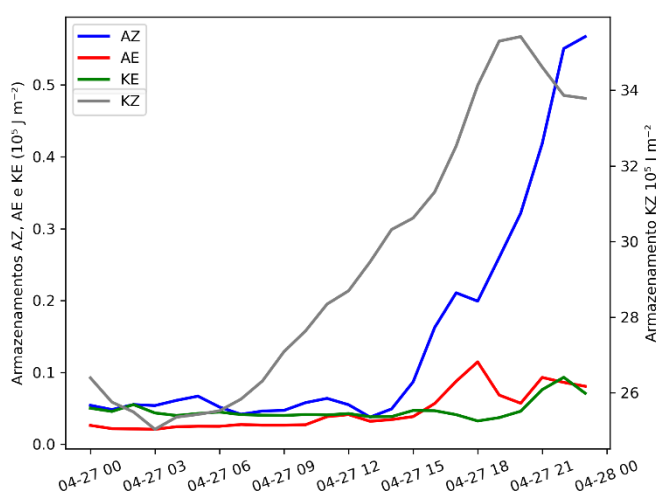


Figura 1- Armazenamentos de AZ, AE, KE e KZ ( $10^5 \text{ J m}^{-2}$ ).

Passando para as conversões (Figura 2), CZ apresenta uma diminuição. Ao ser positivo, indicava um transporte no sentido de AZ para KZ. Com essa alteração, que ocorre horas antes do evento, a energia cinética zonal passa a fornecer energia potencial zonal. Esses valores negativos de CZ demonstram ascensão de ar frio, contribuindo para o aumento do gradiente de temperatura.

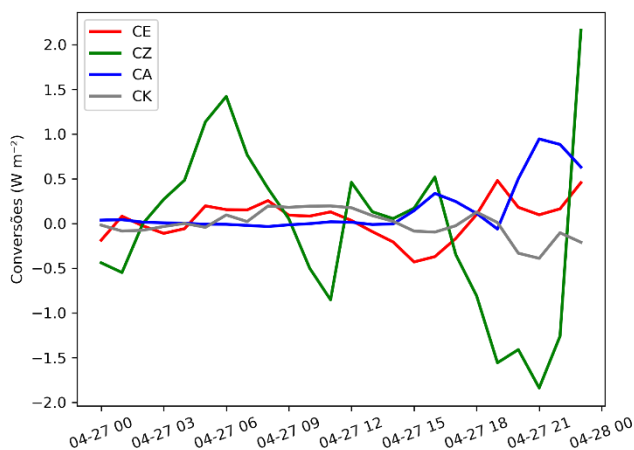


Figura 2 - Conversões em  $\text{W m}^{-2}$  de CA (AZ-AE), CZ (AZ-KZ), CE(AE-KE) e CK (KE-KZ).

O ciclo de energia de Lorenz, registrado aqui de hora em hora, mostrou que, uma hora antes do evento, a transformação de AZ em AE (energia potencial da perturbação) estava no sentido AE-AZ; porém, durante o evento, ela passa a ocorrer no sentido contrário, aliado à conversão de AE em KE, por meio CE, indicando que uma contribuição baroclínica passa a aparecer durante o evento. A conversão de KE em KZ por meio de CK também apresenta alteração, indicando uma condição barotrópica para o horário do Tornado.

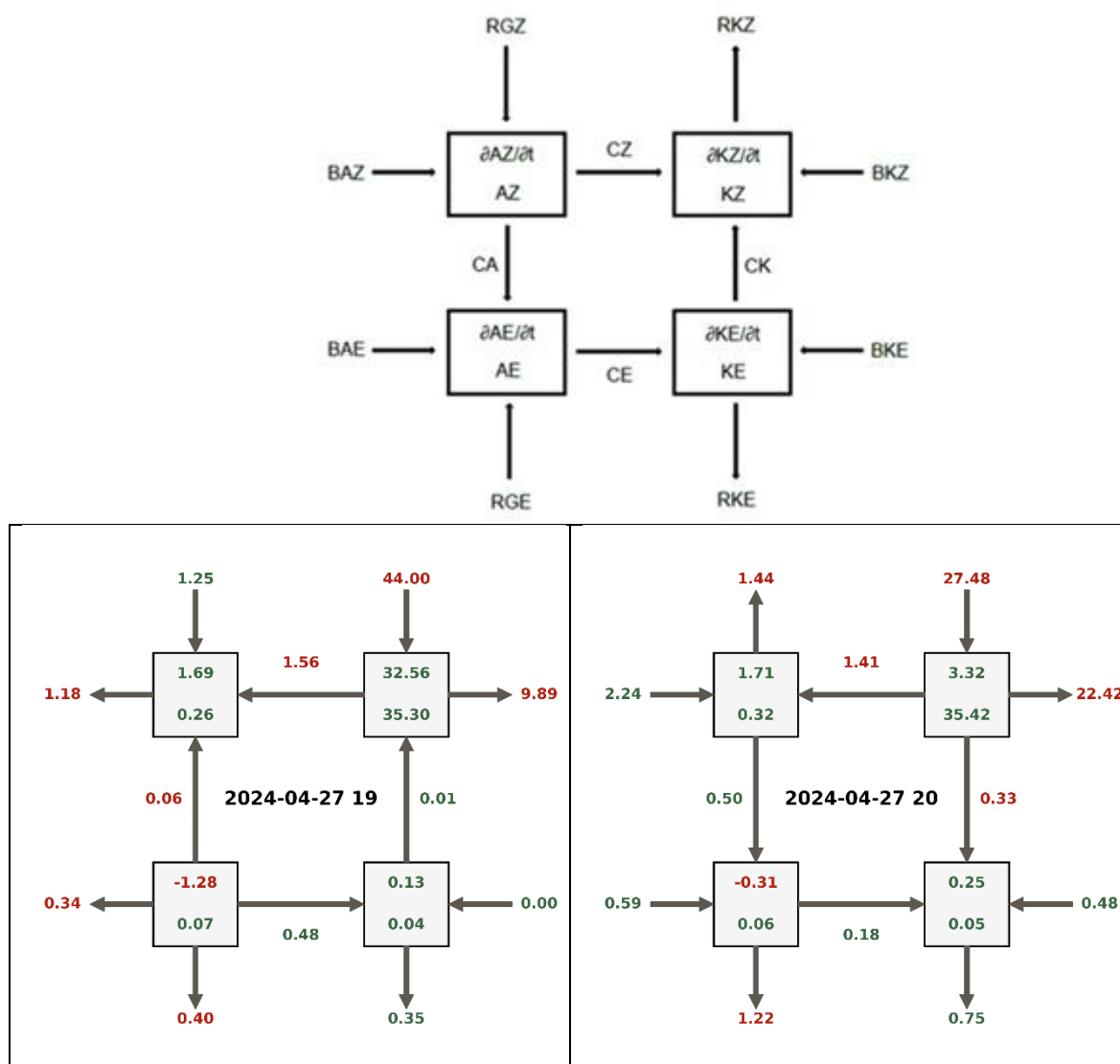


Figura 3 – Ciclo de energia de Lorenz integrado ao volume para o dia 27/04/24 às 19 e 20 UTC. As unidades estão em  $W m^{-2}$ , exceto pelos armazenamentos ( $10^5 J m^{-2}$ ).

#### 4. CONCLUSÕES

A energética de área limitada da região de Tornado de São Martinho da Serra conseguiu identificar quais forçantes energéticas apresentaram maior intensidade durante o período que antecede o evento, possibilitando uma maior compreensão da dinâmica da atmosfera em uma região de Tornado.

A atmosfera apresentou condição baroclínica e barotrópica para o horário do Tornado, indicando que a região apresentava muita instabilidade, promovendo um ambiente favorável para esse tipo de evento.

Para fins de diagnóstico em trabalhos futuros, as conversões e os armazenamentos possibilitam a assinatura de um local com características de condições de Tornado. No entanto, uma análise da energética de mais casos, relacionando os resultados encontradas para diferentes tipos de casos, torna-se vital para um melhor entendimento da dinâmica deste sistema.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLACK, M. T.; PEZZA, A. B.: A universal, broad-environment energy conversion signature of explosive cyclones. **Geophysical Research Letters**, v. 40, p. 452–457, 2013.

FERREIRA, V.; GOEDE, V.; NASCIMENTO, E. L. An environmental and polarimetric study of the 19 November 2015 supercell and multiple-vortex tornado in Marechal Cândido Rondon, southern Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 134, n. 82, p. 1-25, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00922-5>.

HERSBACH, H. *et al.*. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.

JACINTO, L. V.; ELOI, W. M.; SAKAMOTO, M. S. Características climatológicas dos sistemas convectivos de mesoescala no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 69–80, 2022. DOI: 10.1590/0102-77863710062.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, p. 121-140, 2005.

RIBEIRO, B.; SCHILD, G.; SANTOS, L.; NASCIMENTO, E. L.; LOPES, M.; GOEDE, V.; DOS SANTOS, L. D. O.; COSTA, I.; FERREIRA, V.; OLIVEIRA, M. The Brazilian Severe Storm Reports Database: Methodology and a Preliminary Climatology. In: Proceedings of the Climatologies of Severe Storms and Their Environments, **30. Conference on Severe Local Storms**, Santa Fe, New Mexico, 24-28 de outubro de 2022. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/30SLS/meetingapp.cgi/Paper/407158>. Acesso em: 09 fev. 2025.

UOL. **Tornado passa por cidade do interior do Rio Grande do Sul; veja vídeo**. UOL, São Paulo, 28 abr. 2024. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2024/04/28/video-tornado-sao-martinho-da-serra.htm>. Acesso em: 11 ago. 2025.