

# Padrões atmosféricos de eventos pluviométricos extremos na região Leste do estado do Paraná

## Atmospheric patterns of extreme rainfall events in the eastern region of the state of Paraná

Paulo Miguel de Bodas Terassi \*, Emerson Galvani \*\*, Jakeline Baratto \*\*\*, Antonio Carlos da Silva Oscar-Júnior \*\*\*\*

\* Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, pmbterassi@gmail.com

\*\* Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, egalvani@usp.br

\*\*\* Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, jakelinebarattogeo@gmail.com

\*\*\*\* Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, antonio.junior@uerj.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v58i0.90863>

### Resumo

O conhecimento dos padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos pluviais extremos pode subsidiar a previsão de impactos, minorando a perda de vidas humanas e bens materiais. Sendo assim, esta pesquisa avaliou a atuação dos sistemas atmosféricos responsáveis pela ocorrência de eventos pluviais extremos em Curitiba e Paranaguá, região Leste do estado do Paraná. Foram analisados os dados de diferentes atributos meteorológicos registrados pelas estações meteorológicas convencionais em ambos os municípios para o período de 1976 a 2015. Os eventos pluviais extremos selecionados para a aplicação da Análise Rítmica (AR) se deram a partir da utilização da técnica de agrupamento pelo método Ward para os registros diários superiores a 99% dos percentis dos quantis. As condições sinóticas responsáveis pelos eventos pluviais extremos foram extraídas das cartas sinóticas disponibilizadas pela Marinha do Brasil e pelo “Boletim Técnico” do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. A AR demonstrou que durante o inverno há a predominância das frentes frias e que os totais pluviais são espacialmente mais homogêneos, ao passo que durante o verão foram verificadas maiores diferenças espaciais e condições atmosféricas frequentemente associadas à combinação da interação entre os sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais.

**Palavras-chave:** Chuvas Extremas, Sistemas Atmosféricos, Análise Rítmica.

### Abstract

Knowledge of the atmospheric patterns associated with the occurrence of extreme rainfall events can support the prediction of impacts, minimizing the human and material losses. Thus, this research evaluated the performance of the atmospheric systems responsible for the occurrence of extreme rainfall events in Curitiba and Paranaguá, eastern region of the state of Paraná. Data from different weather attributes recorded by conventional weather stations in both municipalities for the period between 1976 to 2015 were analyzed. The extreme rainfall events selected to apply the Rhythm

Analysis (RA) were based on the use of the Ward's method for the daily rainfall data which are greater than 99% of the percentiles. The Synoptic conditions responsible for extreme rainfall events were extracted from the synoptic letters provided by the Brazilian Navy and the "Technical Bulletin" of the Center for Weather Forecast and Climatic Studies. The RA showed that during winter there is the predominance of cold fronts and rainfall totals are spatially more homogeneous, while during summer there has a greater spatial difference, and the atmospheric conditions are frequently associated with the interactions of combination between tropical and extratropical systems.

**Keywords:** Extreme Rainfall, Atmospheric Systems, Rhythm Analysis.

## I. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre as características do regime pluviométrico contribui para a tomada de decisões em áreas estratégicas para o desenvolvimento econômico e social, como por exemplo, a geração de energia elétrica, a defesa civil, em atividades industriais e no planejamento agrícola (SANTOS *et al.*, 2016; DALAGNOL *et al.*, 2022). Smit *et al.* (2000) descrevem que a variabilidade pluviométrica consiste nas variações em relação ao estado médio, seja mensurada pelos desvios estatísticos e, eventualmente, pelos eventos extremos, que podem ser atribuídos aos processos internos naturais do sistema climático ou às modificações antropogênicas.

Nesta perspectiva, compreender a ocorrência dos eventos pluviométricos extremos e as condições atmosféricas associadas são de suma importância para diversos âmbitos de interesse da Climatologia e para a predição de perdas humanas e materiais (SELUCHI; CHOU, 2009; FRAME *et al.*, 2020). Para além das normais climatológicas, ressalta-se que dentre os aspectos mais relevantes dos estudos sobre a pluviosidade estão as ocorrências de eventos extremos diários de pluviosidade nas regiões tropicais e subtropicais, deflagradoras de enchentes, inundações, escorregamentos de encostas, erosões e perdas de solos agricultáveis e, sobretudo, de inúmeros prejuízos humanos e materiais (SEPÚLVEDA; PETLEY, 2015; OSCAR-JÚNIOR, 2021; GOUDARD; MENDONÇA, 2022).

O setor escolhido para esta pesquisa corresponde ao leste do estado Paraná, em uma região coincidente com as bacias hidrográficas do Alto Iguaçu, Litorânea e do Ribeira. Na costa leste da região Sul, principalmente no litoral do Paraná, há significativa contribuição do efeito orográfico para a ocorrência de maiores totais pluviométricos, uma vez que os ventos em superfície divergem da Alta Subtropical do Atlântico Sul paralelamente à costa, e são forçados a ascender pela presença da Serra do Mar, próxima ao Litoral, favorecendo as condições de formação e geração das chuvas. Contudo, é importante destacar que o Sul do Brasil apresenta a predominância da atuação frequente da Frente Polar Atlântica, principal mecanismo de geração das chuvas nesta região (REBOITA *et al.*, 2010; BORSATO; MENDONÇA, 2015; SELUCHI *et al.*, 2016).

Umas das estratégias utilizadas para identificar a gênese das chuvas é a Análise Rítmica Climatológica difundida por Monteiro (1971). A Análise Rítmica permite a identificação dos tipos de tempo e da singularidade dialética entre os atributos climáticos e a dinâmica atmosférica, posto que esta relação se dá de modo não necessariamente linear. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a atuação dos sistemas atmosféricos responsáveis pela ocorrência de eventos pluviais extremos em Curitiba e Paranaguá, região Leste do estado do Paraná.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foram obtidos os dados de pluviosidade de 54 postos pluviométricos pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA), à Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e ao Instituto Água e Terra (IAT), e os dados de precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), nebulosidade, direção e intensidade do vento e pressão atmosférica de 8 estações meteorológicas controladas pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), que compreendem a série histórica de 1976 a 2015.

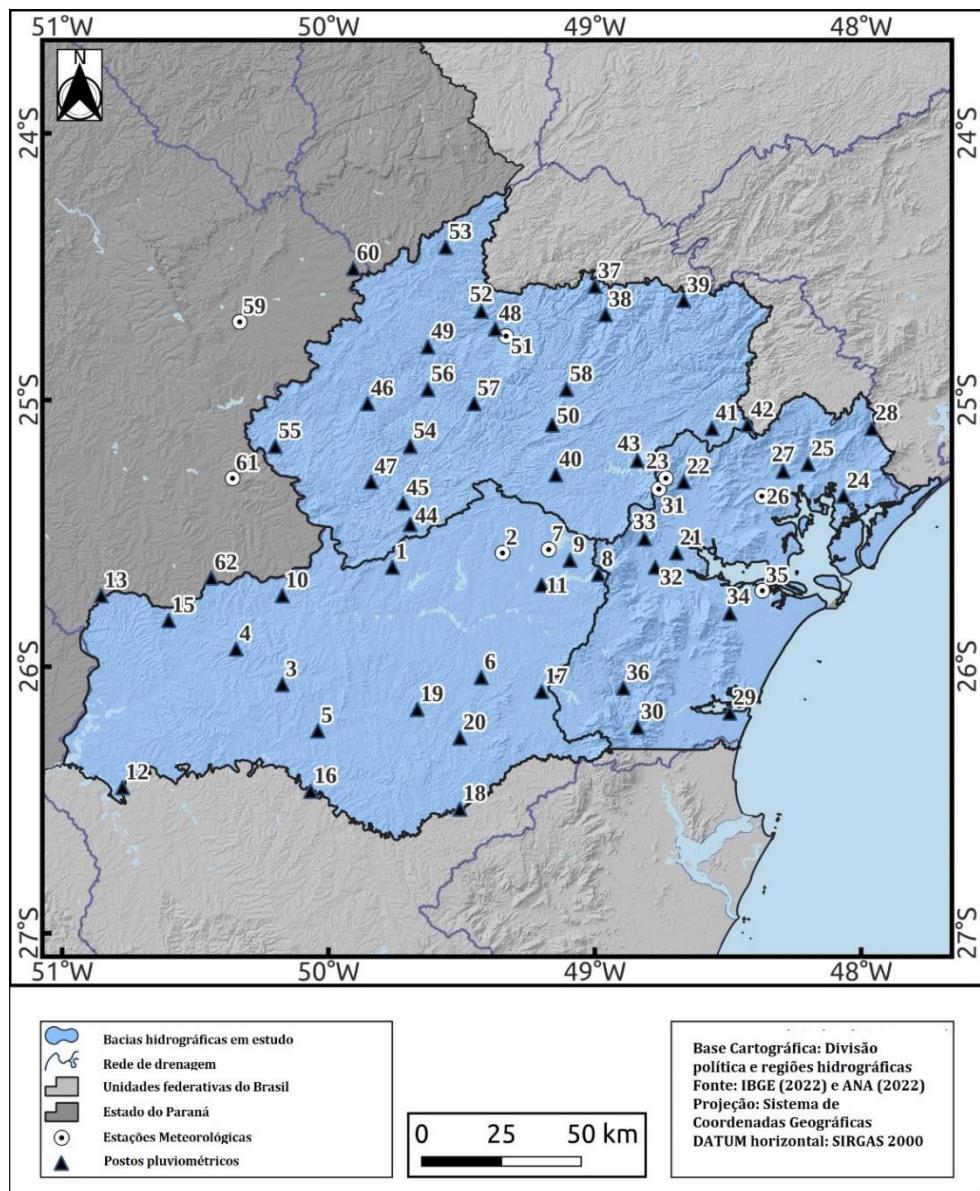


Figura 1 - Localização das estações meteorológicas e dos postos pluviométricos. Fonte: Os autores.

Foram amplamente utilizados os dados referentes às seguintes estações meteorológicas situadas nas seguintes localidades: ID 2 (Curitiba); ID 7 (Pinhais); ID 23 (Antonina); ID 26 (Guaraqueçaba); ID 31 (Morretes); ID 35 (Paranaguá); Cerro Azul (ID 51); Castro (ID 59); e Ponta Grossa (ID 61) - (Figura 1). Contudo, em função da abrangência e do volume de dados, nesta pesquisa foram utilizados os dados referentes às estações meteorológicas convencionais administradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nas localidades de Curitiba (ID 2) e Paranaguá (ID 35), conforme demonstra a Figura 2, foram registradas falhas inferiores a 5% em relação aos dados dos atributos destacados. Maiores detalhes estão descritos com maiores detalhes em Terassi (2019).

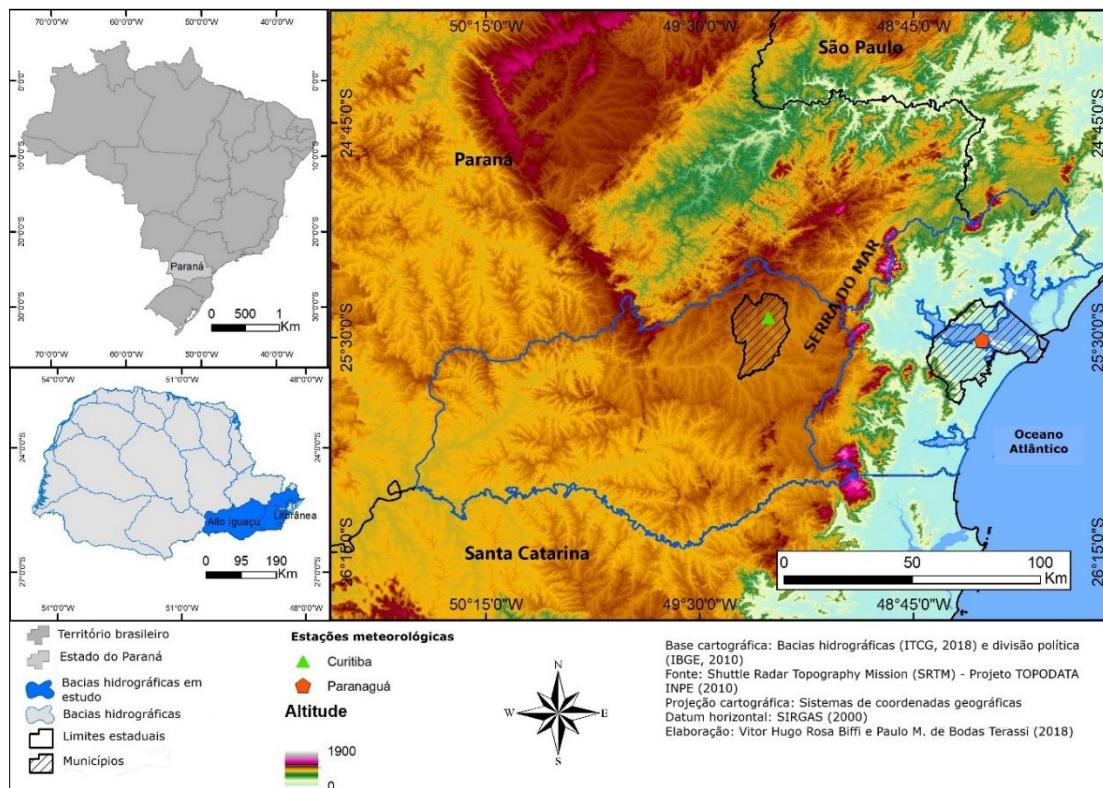


Figura 2 - Localização geográfica das estações meteorológicas convencionais de Curitiba e Paranaguá, Paraná.

Fonte: Terassi et al. (2022).

As condições sinóticas para os eventos extremos pluviométricos foram definidas pela Análise Rítmica Climatológica de Monteiro (1971), utilizando-se dos seguintes atributos climáticos: pressão atmosférica (mb) ao nível do mar; umidade relativa do ar (%); temperatura média, máxima e mínima do ar (°C); precipitação pluvial diária (mm), velocidade (m/s) e direção (º) dos ventos; nebulosidade (décimos de cobertura do céu). Entretanto, devido ao volume de informações, optou-se pelo conjunto de gráficos sem os dados referentes à velocidade dos ventos e a nebulosidade, sendo que estas informações estão integralmente disponíveis em Terassi (2019). Já a definição dos sistemas atmosféricos atuantes seguiu os critérios estabelecidos e descritos por Zandonadi (2013), Fontão e Zavattini (2017) e Fontão *et al.* (2018): massa Tropical Atlântica (mTa), massa Tropical Continental (mTc), massa Equatorial Continental (mEc), massa Polar atlântica (mPa), massa Polar Atlântica tropicalizada (mPat), Frente Polar Atlântica (FPA), Frente Polar Atlântica Estacionária (FPAE), Frente Polar Atlântica em Dissipação (FPAD), Repercussão da Frente Polar Atlântica (RFPA), Recuo da Frente Polar Atlântica (Rec.FPA) e a Linha de Instabilidade Tropical (IT).

É importante destacar que os mecanismos atmosféricos Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) não estavam descritos na obra de Monteiro (1971) e foram acrescidos nesta pesquisa. Para a definição dos sistemas atmosféricos, foram utilizadas as informações

provenientes do “Boletim de Monitoramento e Análise Climática” (CLIMANÁLISE) e do “Boletim Técnico” (INPE, 2019), emitidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

Para a caracterização dos tipos de tempo responsáveis pelos eventos extremos de pluviosidade, utilizaram-se as cartas sinóticas disponibilizadas pela Departamento de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil e para os eventos pluviais mais recentes, posteriores a 2008, as cartas sinóticas disponibilizadas pelo “Boletim Técnico” do CPTEC (INPE, 2019) também se somaram à análise. Segundo Armani e Galvani (2011), a análise da sequência das cartas sinóticas, avaliando a gênese e a trajetória dos sistemas atmosféricos permite a concepção de ritmo dos sistemas atmosféricos, sendo que as expressões quantitativas dos elementos climáticos estão diretamente ligadas ao mecanismo de circulação atmosférica regional. Devido ao volume de informações, estas cartas sinóticas estão disponibilizadas no item material suplementar (Figuras S1 a S5).

Os eventos pluviais extremos selecionados para a aplicação da Análise Rítmica Climatológica (ARC) de Monteiro (1971) se deram a partir da utilização da técnica de agrupamento pelo método Ward para os registros diários superiores a 99% dos percentis dos quantis, conforme disposto pela Figura 3. Maiores detalhes sobre a análise de agrupamento estão disponíveis em Terassi e Galvani (2017) e Zerouali *et al.* (2022). A técnica dos quantis baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade (fdp) que descreve o fenômeno é melhor quanto maior é o número de observações disponíveis. Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer na sequência da série temporal de uma variável  $x$  (OLIVEIRA; GALVANI, 2017).

Foram utilizados os dados do Oceanic Niño Index (ONI) com a finalidade de verificar prováveis relações entre o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e os eventos extremos pluviais, posto que as distintas fases deste indicador climático oceânico influenciam a variabilidade interanual da precipitação pluvial neste setor do território brasileiro (PEDRON *et al.*, 2017; REBOITA *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2021). Para tanto, foram obtidas informações na base de dados da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2023), definidos como neutro (NE), El Niño (EN) e La Niña (LN), em consonância aos critérios estabelecidos e descritos com maiores detalhes em Terassi *et al.* (2018).

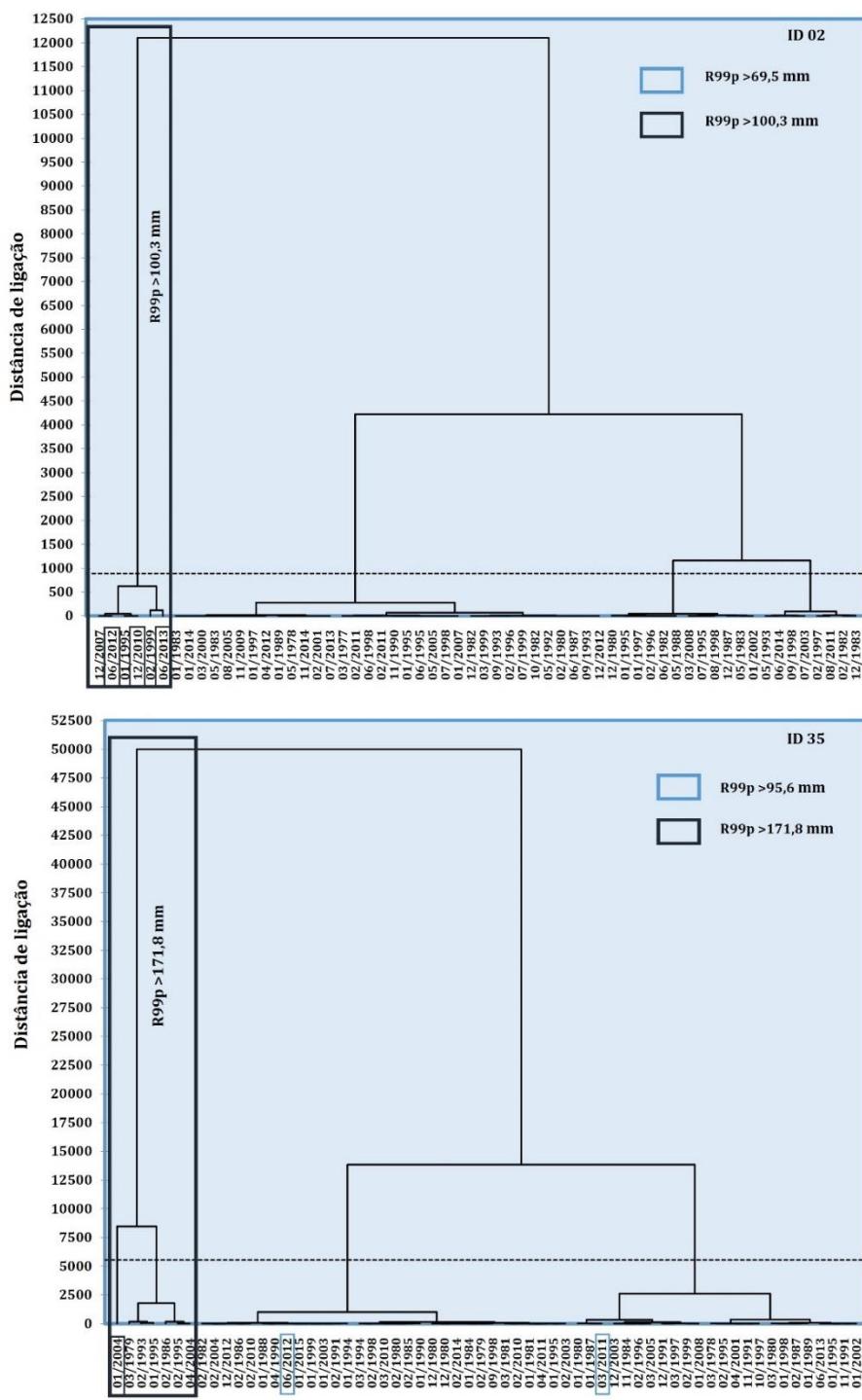


Figura 3 - Dendograma utilizado para a seleção dos eventos pluviais extremos dentre os registros diários de chuva superior a 99% dos percentis (R99p) em Curitiba (ID 2) e Paranaguá (ID 35). Fonte: Os autores.

Para selecionar os eventos pluviais para a análise das condições atmosféricas que os ocasionaram, empregou-se a técnica de agrupamento para todos os registros de chuvas intensas nas localidades de Curitiba e Paranaguá. Em Curitiba, o dendograma separou os 6 mais intensos registros ( $>100,3\text{ mm}$ ) dentre os 60 eventos pluviais extremos superiores a 99% dos quantis. O critério de seleção para avaliar as condições

atmosféricas associadas às maiores alturas pluviais foi escolher os dois registros mais recentes em condições de inverno e de verão. Os referidos eventos, para Curitiba, configuram-se como sendo a segunda mais elevada chuva diária da série histórica da localidade, em junho de 2013 (130,8 mm), e a mais recente precipitação pluvial intensa em condições de verão, em dezembro de 2010. Estas suposições seguiram a premissa de que avaliar as condições sazonais mais distintas pode associar estes extremos pluviais à diferentes mecanismos atmosféricos, enfatizando o inverno, no qual as chuvas diárias foram mais elevadas na capital paranaense em relação à Paranaguá, na costa litorânea (Figura 3 - Tabela 1).

Tabela 1 - Totais pluviométricos acumulados (mm) durante os eventos extremos selecionados em Curitiba e Paranaguá, Paraná.

| Curitiba |     |     |                           | Paranaguá |     |     |                      |
|----------|-----|-----|---------------------------|-----------|-----|-----|----------------------|
| Ano      | Mês | Dia | Precipitação pluvial (mm) | Ano       | Mês | Dia | Precipitação pluvial |
| 2010     | 12  | 14  | 100,3                     | 2004      | 1   | 25  | 295,8                |
| 2012     | 6   | 5   | 106,8                     | 2011      | 3   | 12  | 159,0                |
| 2013     | 6   | 21  | 128,2                     | 2012      | 6   | 5   | 115,6                |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Fonte: Os autores.

Em Paranaguá, observou-se que das 7 mais elevadas chuvas diárias, 5 se deram em janeiro ou fevereiro, e todas entre janeiro e abril, destacadamente o período de maior intensidade pluvial. Embora as chuvas no estado do Paraná relativamente bem distribuídas ao longo do ano, os totais acumulados são mais expressivos durante o verão. Na BH Litorânea, setor em que se localidade Paranaguá, os totais pluviais neste período são mais expressivos durante esta sazonalidade (JORGE; MENDONÇA, 2009; FRITZSONS *et al.*, 2011). Portanto, selecionou-se o evento pluvial extremo mais recente para a condição de inverno, em junho de 2012, em situação pouco comum de chuva intensa nesta sazonalidade, e dois eventos no período de verão, observados em janeiro de 2004, sendo este o maior total pluvial diário de toda série histórica em Paranaguá, e em março de 2011, com o intuito de investigar condições típicas de chuvas intensas no litoral paranaense (Figura 3 - Tabela 1). Em Paranaguá, não se seguiu à risca a definição dos mais elevados totais de chuva conforme definido pelo dendograma, pois alguns destes casos apresentaram ausência de registros dos dados, o que dificultou uma análise rítmica apropriada.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ocorrência do evento extremo de junho de 2012 foi identificada em Curitiba e Paranaguá. No dia 3, ocorreu a entrada de um sistema frontal (SF) pelo Sul do Brasil, o que repercutiu na diminuição da temperatura do ar, na diminuição expressiva da pressão atmosférica e em ventos das direções N e NW, que são condições tipicamente pré-frontal. No dia 4, a entrada da FPA ocasionou chuvas entre 15 e 17 mm, com a diminuição das

temperaturas e o aumento da UR e, no dia seguinte, com o eixo principal da FPA entre o oeste do Mato Grosso e o Sul de São Paulo, registrou-se o maior total pluviométrico diário em Curitiba (106,8 mm) e Paranaguá (115,6 mm). No dia 6, o sistema atmosférico tornou-se uma FPAE e manteve o seu posicionamento do dia anterior e com o registro de chuvas entre 2 e 6 mm. Mesmo com o recuo da FPAE no dia 7, as condições atmosféricas locais geraram apenas chuvas fracas (<8 mm) em ambas as localidades e, destacadamente, com o aumento da pressão atmosférica e a diminuição das temperaturas havia indicativos da entrada da MPA, que nos dias seguintes repercutiu em temperaturas mínimas de até 7°C e 12°C em Curitiba e Paranaguá, nesta ordem (Figura 4 e 5 - Figura S1).

Ao longo de junho de 2012, período de NE em relação ao ENOS, a passagem de oito sistemas frontais pelo Sul do Brasil repercutiu em pluviosidade acima da Normal Climatológica no Paraná, gerando eventos extremos pluviais em diversas regiões do estado. Em Curitiba e Paranaguá choveu 225,5 e 239,8 mm, enquanto a série histórica indica médias um pouco superiores a 100 mm para o mês de junho. Em relação ao evento extremo registrado no dia 5, é possível que esteja relacionado à forte magnitude da mPa que estava na retaguarda, sistema atmosférico destacado como o mais intenso dentre aqueles identificado neste período, e o choque de ar de diferentes condições de temperatura e umidade tenha causado as chuvas expressivas registradas. A intensidade desta mPa é sugerida pelo rápido deslocamento da FPA entre os dias 3 e 4 e pelo significativo aumento da abrangência das isóbaras do Anticiclone Migratório Polar, conforme demonstrado pela Figuras 4 e 5 e em Figura S1.

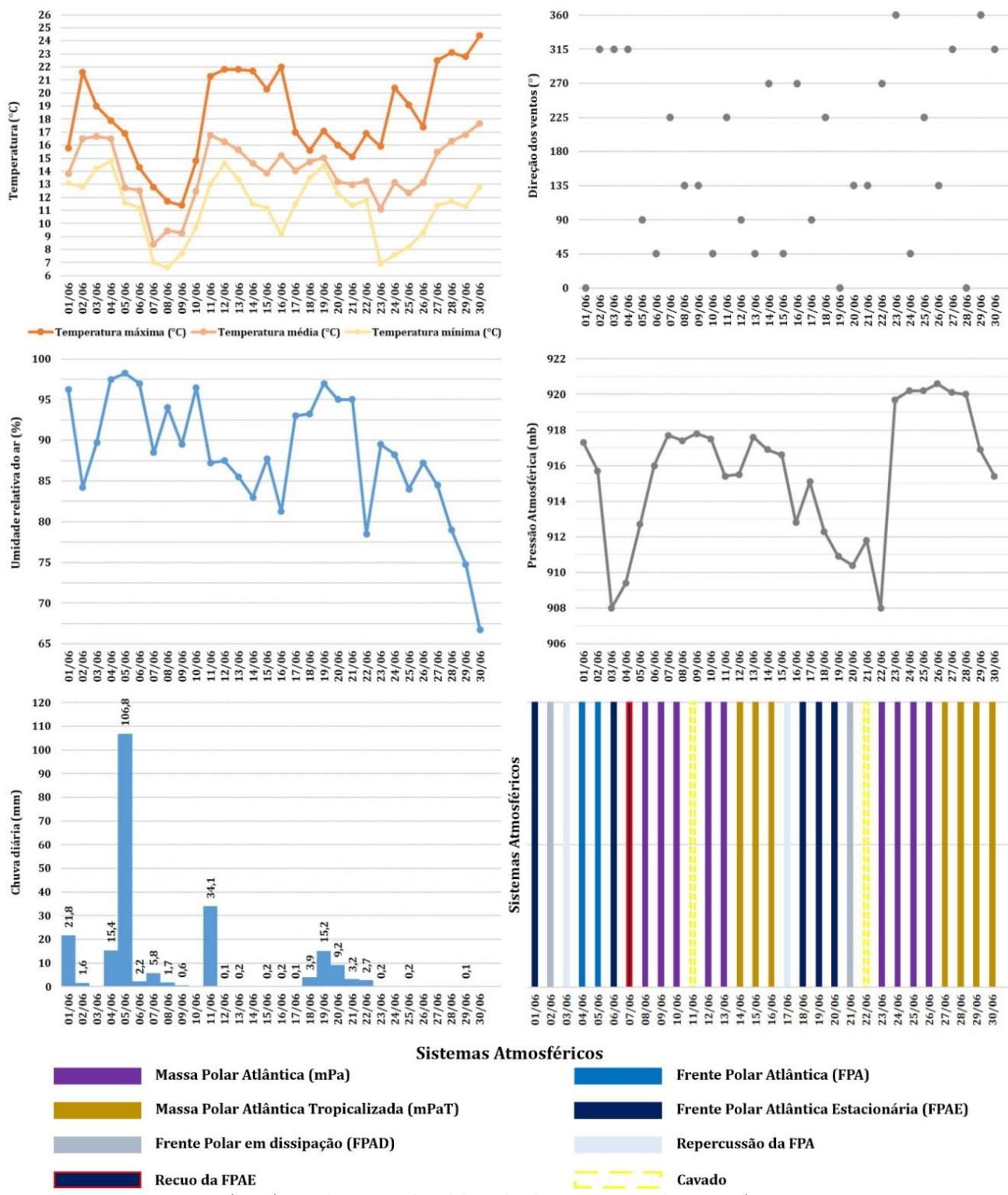


Figura 4 - Análise rítmica do evento pluvial de junho de 2012 em Curitiba - Paraná. Fonte: Os autores.

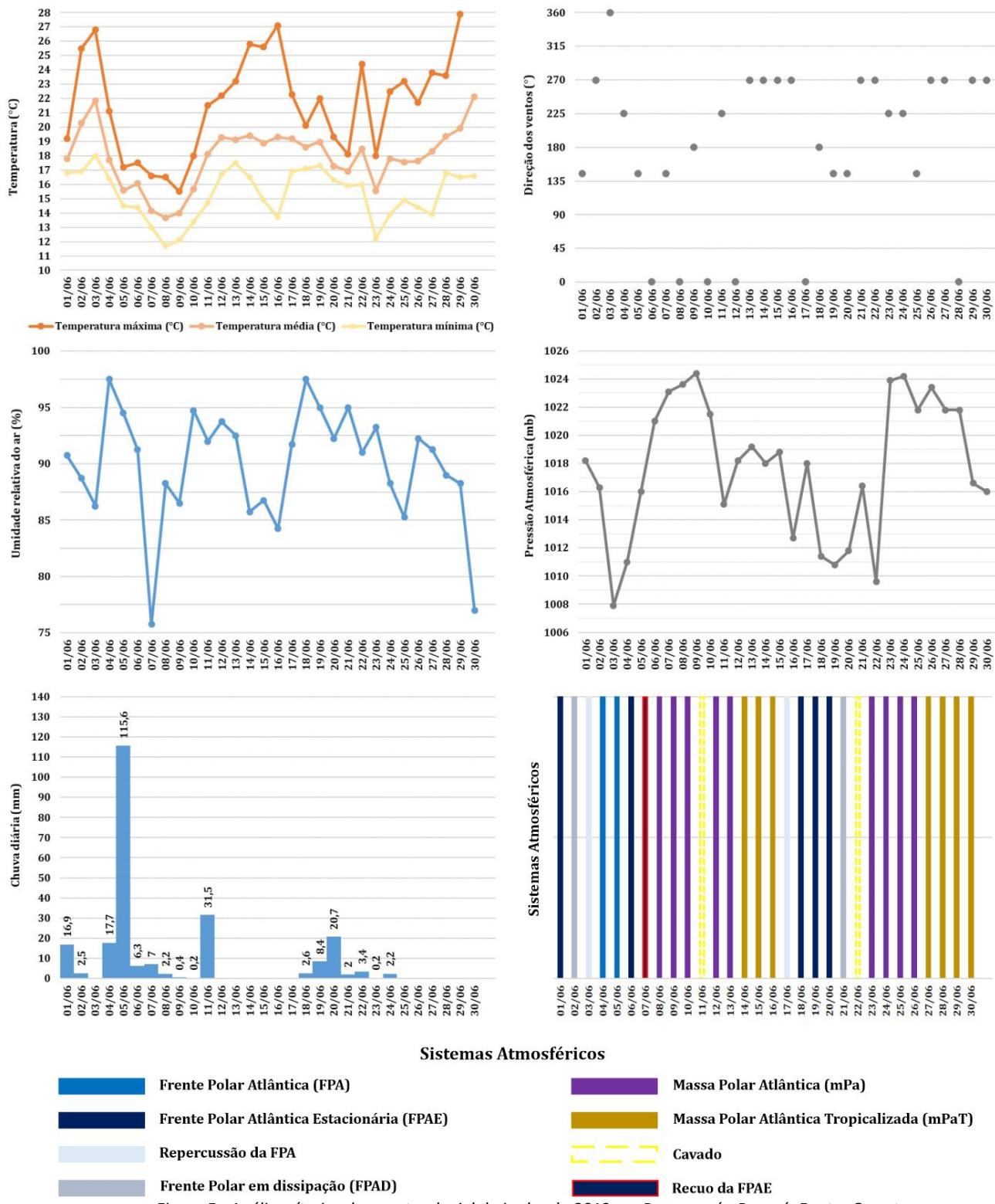


Figura 5 - Análise rítmica do evento pluvial de junho de 2012 em Paranaguá - Paraná. Fonte: Os autores.

Um dos maiores eventos pluviais extremos diários foi registrado em Curitiba ocorreu em 20 de junho de 2013, período de NE em relação ao ENOS, com um total diário de 128,2 mm. Observa-se que até o dia 19 do

referido mês, o ritmo climático se deu dominado pelas condições de alternância entre os sistemas atmosféricos extratropicais que geraram condições sucessivas de chuva até aproximadamente 30 mm, redução das temperaturas e, posteriormente, o aumento da temperatura máxima diária, mostrando a incursão e/ou formação da FPA ou FPAE, mPa e mPaT. A formação de um cavado sob a região Sul do Brasil no dia 19 gerou 9,7 mm de chuva em Curitiba e, no dia seguinte, o rápido avanço da FPA e evolução para FPAE foi o mecanismo responsável pelos elevados totais de chuva na capital paranaense. O recuo da FPAE no dia 21 continuou a gerar instabilidade atmosférica e repercutiu em uma chuva de 39,6 mm, acompanhada pela queda acentuada da pressão atmosférica (906 mb). No dia seguinte, houve a acentuada queda de temperatura, com mínima de 6°C, o aumento da pressão atmosférica (>911 mb) e estabilidade atmosférica associada a atuação da mPa (Figura 6 - Figura S2).

Esta característica de predominância dos sistemas frontais na geração de chuvas na região Sul do Brasil é destacada por Borsato e Souza Filho (2010), posto que os totais pluviais decorrentes de sistemas frontais são superiores a 68% em Maringá (PR), sobretudo entre abril e outubro, com um aumento da participação da mEc e ZCAS entre novembro e março, período no qual os sistemas intertropicais interagem frequentemente com a FPA. Deste modo, esta análise está alinhada ao descrito em obras anteriores sobre a dinâmica atmosférica regional (BORSATO; MENDONÇA, 2015; CARDOZO *et al.*, 2015) que permitem afirmar que a região Leste paranaense apresenta frequente passagem da FPA, o que tornam as chuvas majoritariamente de natureza frontal. Conquanto, Zandonadi (2013) ressaltou que no verão e na primavera em localidades do estado do Paraná há uma elevação da participação dos sistemas intertropicais e de sua associação àqueles de origem extratropicais na geração pluvial, sendo que estes autores se restringiram a averiguar a atuação dos mecanismos atmosféricos em gerar os totais acumulados e não em ocasionar os eventos pluviais diários extremos.

Analizando os eventos pluviais extremos de primavera/verão, observou-se que dezembro se caracteriza como o mês com a terceira maior precipitação média mensal (155,2 mm) em Curitiba e em 2010 registrou um total de 336,2 mm, sendo assim uma anomalia positiva próxima a 115%, que se deu devido à atuação constante de diversos sistemas atmosféricos, de origem extratropical e intertropical, em condições de LN. No dia 12 deste mês, verificou-se a queda da pressão atmosférica (905 mb), a ausência de horas de insolação, a queda expressiva da temperatura do ar e o aumento da UR (>95%), ventos de origem SW, o prenúncio da FPA se deu com uma chuva de 36,2 mm. Ao ingressar no estado do Paraná, a FPA tornou-se estacionária no dia 13 e teve como características a mais acentuada queda de pressão atmosférica (901 mb), a redução da temperatura média do ar (12,1°C), o aumento da UR (96%) e a ocorrência de 100,3 mm. Notou-se que nos dias anteriores a entrada

desta FPAE, as temperaturas máximas diárias em Curitiba estiveram acima dos 29°C, o que possivelmente tenha deflagrado as condições de instabilidade frente a este mecanismo atmosférico e gerado o evento extremo pluvial (Figura 7 - Figura S3).

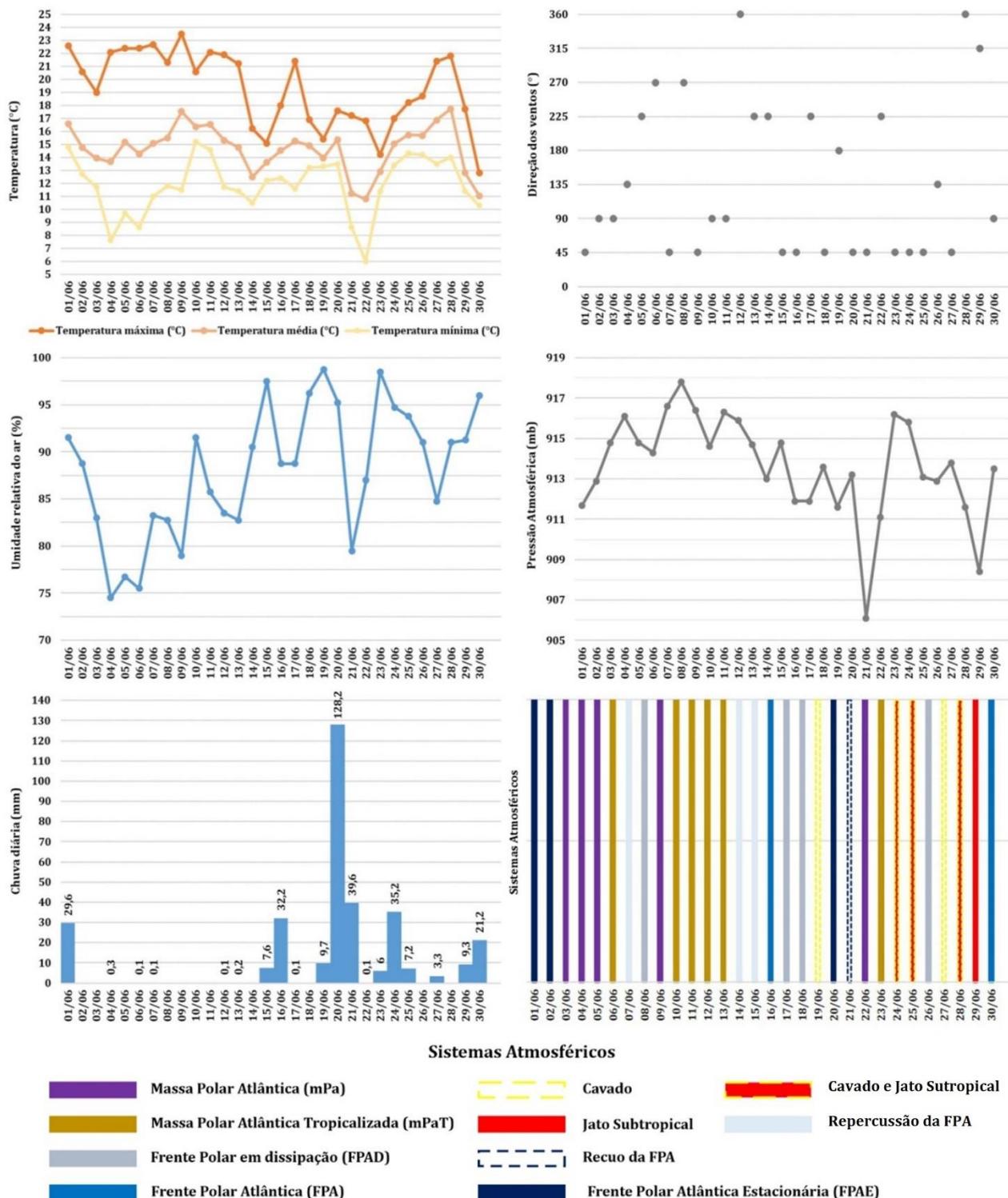


Figura 6 - Análise rítmica climática do evento pluvial de junho de 2013 em Curitiba - Paraná. Fonte: Os autores.

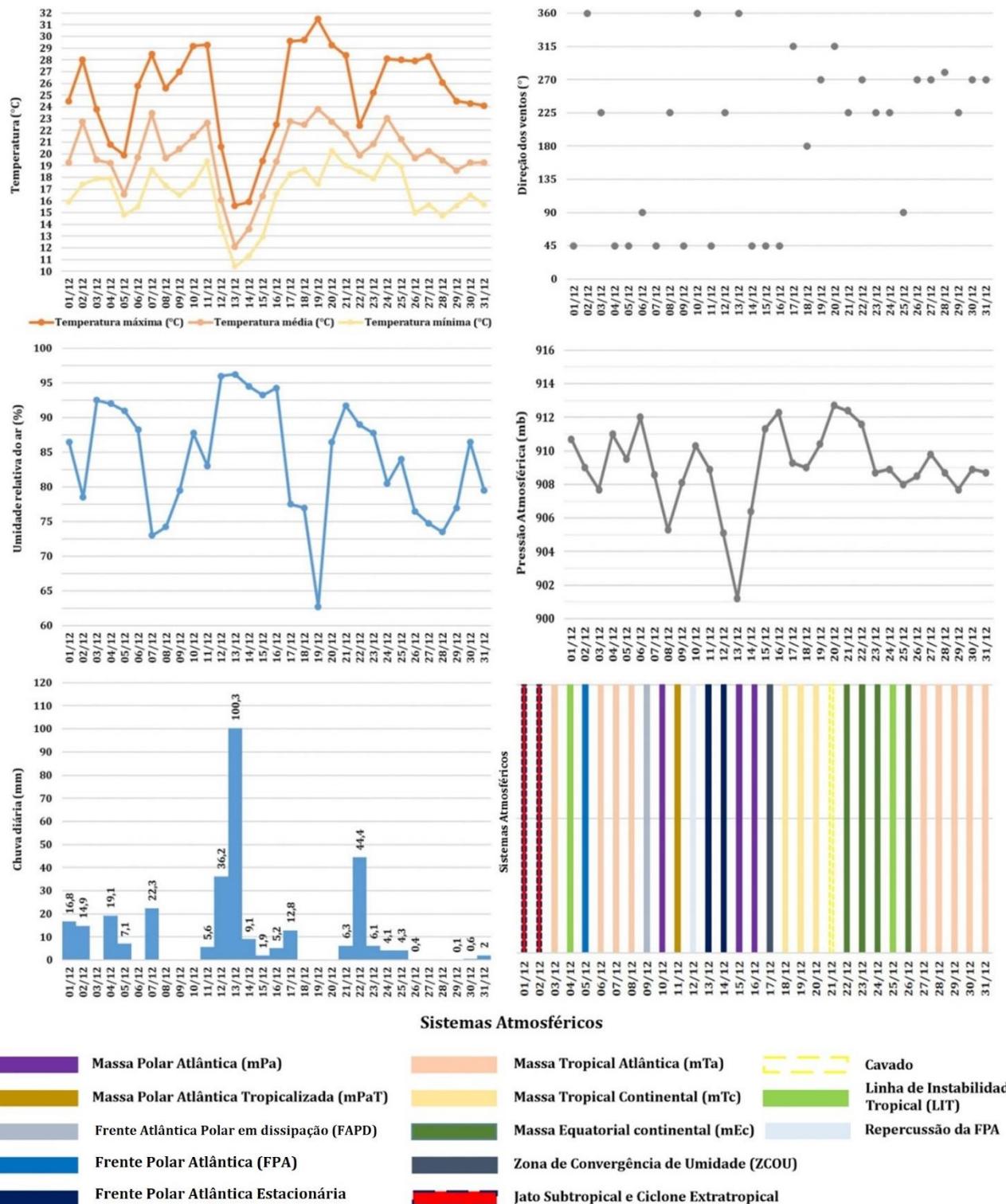


Figura 7 - Análise rítmica climática do evento pluvial de dezembro de 2010 em Curitiba - Paraná. Fonte: Os autores.

O principal evento extremo dentre os selecionados para Paranaguá ocorreu em janeiro de 2004, período de NE em relação aos ENOS, pois após semanas com chuvas escassas, no dia 25 de janeiro houve o registro de uma pluviosidade diária concentrada de 295,8 mm. No dia 22, a entrada da FPA pelo sul do Brasil apenas

repercuteu no aumento de UR (84%), na diminuição da pressão atmosférica (<1001 mb) e em ventos de direção W. Nos dias que precederam a entrada de outra FPA, os Cavados modificaram as condições de tempo com um total pluvial próximo a 55 mm acumulados nos dias 23 e 24. Sobretudo, a entrada abrupta de uma FPAE associada a formação de uma ZCAS gerou os maiores volumes de chuva acumulada em 24 horas em Paranaguá, com indícios de instabilidade atmosférica como os ventos de direção SW, a redução expressiva da pressão atmosférica e o aumento da UR. Nos dias seguintes (26 e 27), verificou-se que a FPAE esteve associada ao posicionamento sul da ZCAS e, embora favoreça condições de chuvas intensas, ocorreram totais nos dois dias que somaram apenas 15 mm (Figura 8 - Figura S4).

Ressalta-se que janeiro é o mês mais chuvoso para Paranaguá, com uma média de 325,7 mm para a série analisada, e no ano de 2004 mostrou um total acumulado de 510,5 mm, ou seja, choveu 56,8% acima do normal. A fraca atuação dos sistemas frontais sobre o sul do país contribuiu para o predomínio da pluviosidade abaixo da média em quase toda esta região e, entretanto, o litoral do estado do Paraná teve condições anômalas de chuvas marcadamente pelo posicionamento central da ZCAS no litoral Sul de São Paulo. O escoamento em altos níveis manteve o VCANS mais próximo ao litoral do Nordeste do Brasil e manteve a ZCAS sobre o sul da região Sudeste e, com a frente fria estacionária sob o Oceano Atlântico, houve o reforço nas condições de instabilidade atmosférica e de chuvas intensas no litoral do Paraná (CLIMANÁLISE, 2023), sendo que a restrição desta influência da ZCAS a este setor paranaense na formação de elevados totais pluviais está demonstrada na Tabela 2, com valores acumulados em cinco dias superiores a 250 mm em Antonina, Morrestes e Paranaguá.

Um dos principais eventos extremos selecionados em condições de primavera e verão ocorreu em 12 de março de 2011 em Paranaguá, com um total de chuva equivalente a 159 mm em 24 horas, expressamente inferior ao identificado em janeiro de 2004, mas que esteve em condições de totais significativos de precipitação pluviométrica nos dias próximos a sua ocorrência. Entre os dias 8 e 13, a formação de um Cavado, destacadamente, combinado a atuação de um Vórtice Ciclônico entre os dias 9 e 12, condicionou uma grande instabilidade atmosférica e gerou chuvas que entre os dias 11 e 12 somaram 243 mm, sendo que o total médio do mês de março em Paranaguá é de 208,3 mm. Posteriormente a este período de elevados totais pluviométricos, observaram-se menores totais de chuvas diárias inferiores a 20 mm até o dia 27, sendo que a mTa foi determinante em tipos de tempo de elevação da temperatura do ar e da pressão atmosférica e redução da UR, ao passo que as chuvas foram geradas pela entrada da FPA ou pelo Jato Subtropical (Figura 9 - Figura S5).

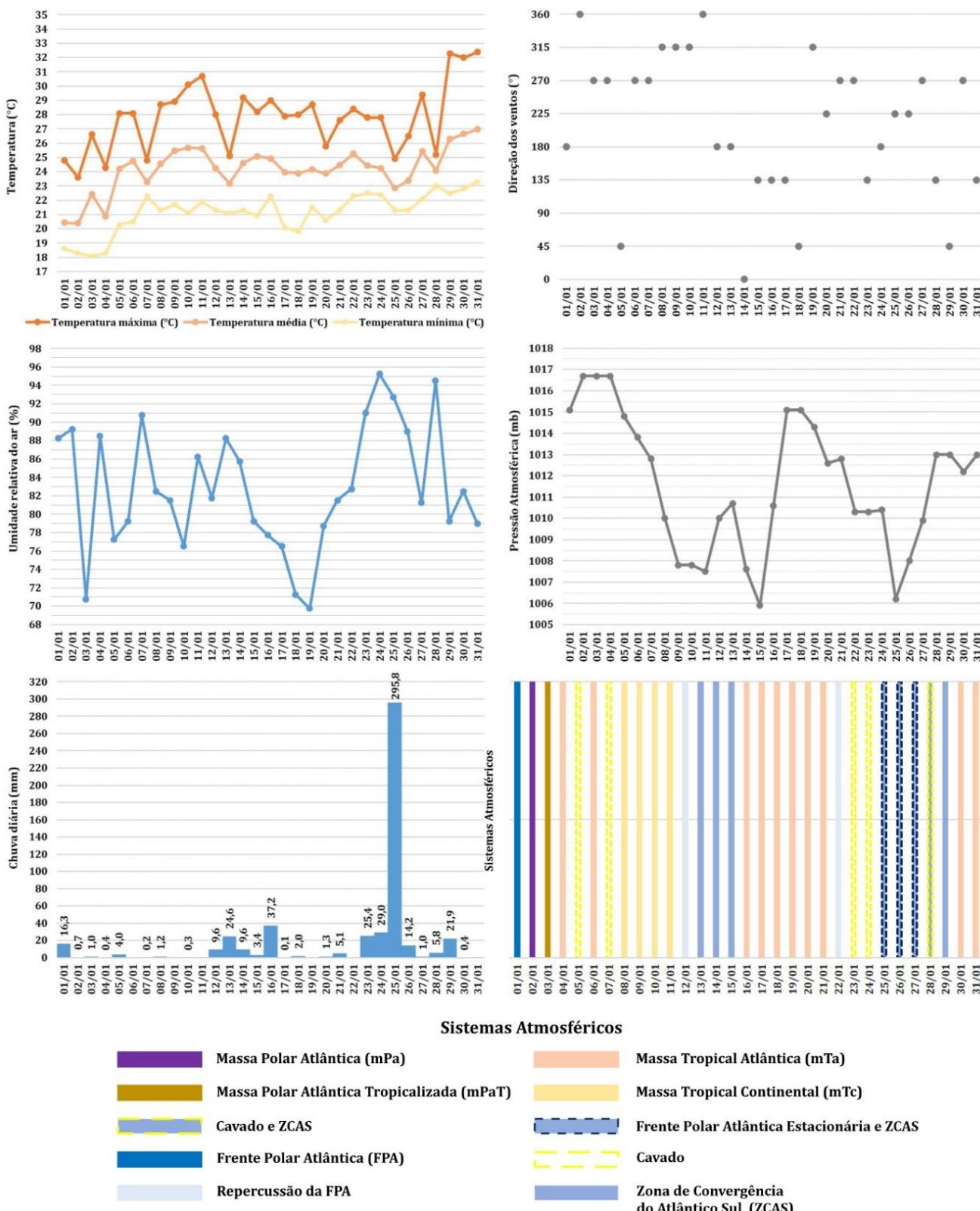


Figura 8 - Análise rítmica climática do evento pluvial de janeiro de 2004 em Paranaguá - Paraná. Fonte: Os autores.

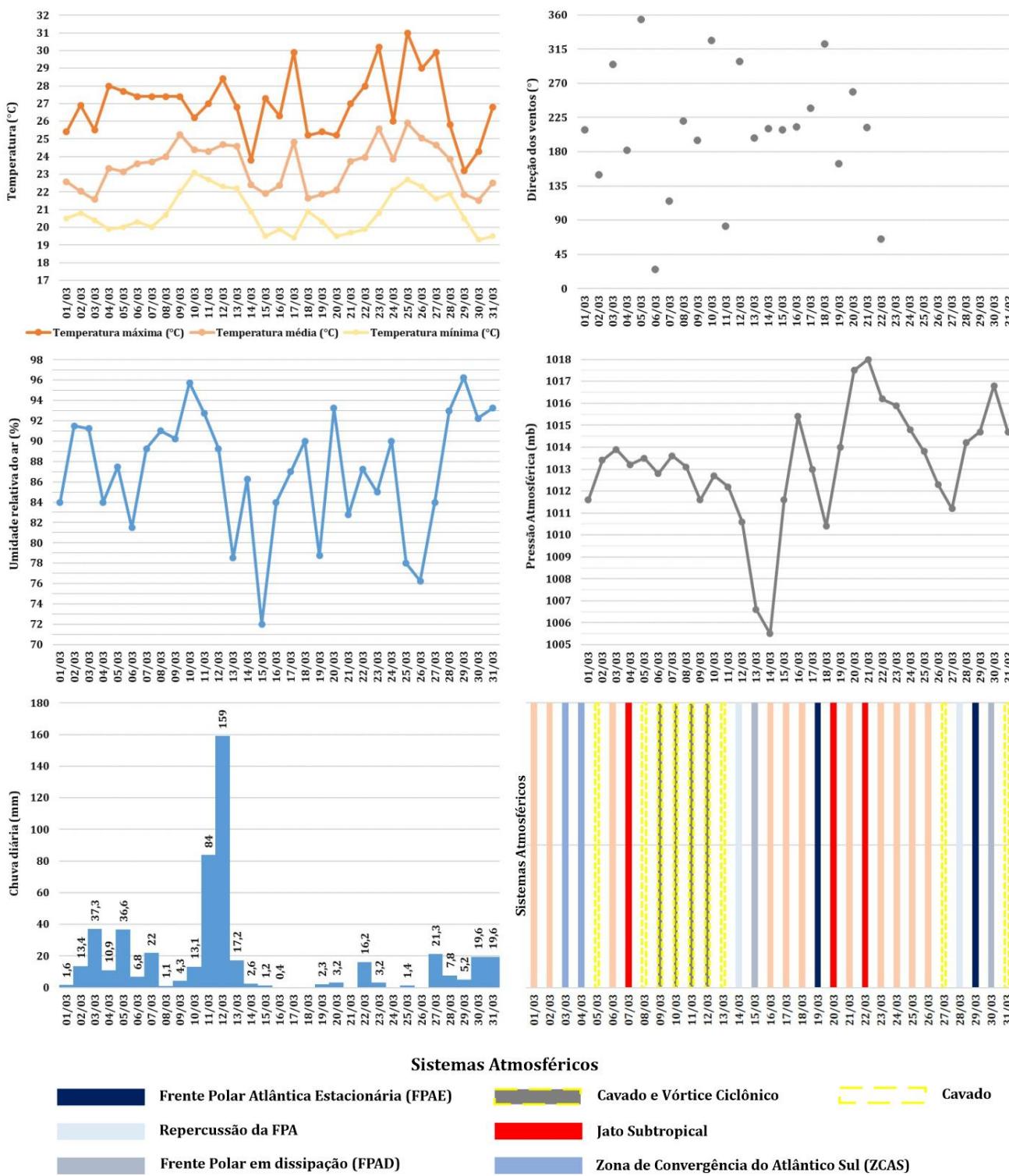


Figura 9 - Análise rítmica climática do evento pluvial de março de 2011 em Paranaguá - Paraná. Fonte: Os autores.

Ao todo, choveu em março de 2011 em Paranaguá o equivalente a 511,3 mm, cerca de 145% além da média climatológica para esta localidade. Destaca-se que em quase toda região Sul do Brasil houve chuvas acima da média, particularmente pela ocorrência de chuvas fortes e intensas entre os dias 10 e 13, destacando-se a

formação de Cavados e Vórtices Ciclônicos em 500 hPa na ocorrência deste período de instabilidade atmosférica (CLIMANÁLISE, 2023).

Ressalta-se que a partir da segunda metade de março (de 2011) a atuação pujante do Jato Subtropical e a maior frequência de entrada da FPA gerou o aumento da frequência de dia com chuvas (CLIMANÁLISE, 2023). Em outras localidades do litoral do Paraná, notou-se que o acumulado mensal chegou a 760,5 mm em Morretes (ID 32) e 555,2 mm em Antonina (ID 21), muito superior à média aproximada de 240 mm destes postos pluviométricos e que no período de quatro dias destacados acima, registraram 537,7 e 379,2 mm, nesta ordem.

Embora os Cavados e os Vórtices Ciclônicos tenham gerado chuvas de elevada magnitude no Sul do Brasil, estes mecanismos não atuaram de forma generalizada, pois setores como o oeste do Rio Grande do Sul e o Centro-Leste do Paraná (Vale do Ribeira e Região Metropolitana de Curitiba) mostraram o registro de anomalia negativa de chuva superior a 50 mm para o mês de março de 2011 (CLIMANÁLISE, 2023). A peculiar diferença da precipitação ocorrida neste mês de março demonstra uma característica típica espacial das chuvas ao longo dos meses de verão da área em estudo, especialmente pelo grande aumento pluvial nesta sazonalidade para a bacia hidrográfica (BH) litorânea, destacando-se o desempenho da maritimidade em favorecer condições frequentes de chuvas fortes e intensas.

Com a finalidade de analisar a repercussão dos diferentes sistemas atmosféricos para a ocorrência dos eventos extremos pluviais nas demais estações meteorológicas da área em estudo, foram selecionados os registros dos totais pluviométricos acumulados durante os dois dias anteriores e posteriores à ocorrência da anomalia pluvial destacada. Em suma, observa-se que os eventos extremos de chuva diária ocorreram em diferentes magnitudes nas localidades da área em estudo, condição atribuída ao sistema atmosférico atuante e à localização geográfica da estação meteorológica, mostrando sinteticamente a interação entre fatores estáticos e dinâmicos na formação e geração das chuvas.

O evento extremo que ocorreu de forma mais homogênea dentre os analisados se deu em junho de 2012, período de neutralidade dos ENOS, com valores médios de 140 mm, amplitude de 60 mm e o menor coeficiente de variação ( $CV = 11,9\%$ ). Os maiores totais acumulados se deram na BH Litorânea e do Alto Iguaçu, Castro (ID 59) e Pinhais (ID 7) - ( $>145$  mm), enquanto em Cerro Azul foram registros os menores valores (101,2 mm), relativa homogeneidade que se deve à atuação da FPA na geração das chuvas. Durante a análise dos totais acumulados no evento extremo de junho 2013, período de neutralidade do ENOS, nota-se um maior  $CV$  (25,6%) e que os maiores totais se deram na BH Alto Iguaçu e Litorânea, destacando Curitiba e Morretes (ID 31) - ( $>175$  mm), sendo que FPAE foi a condição atmosférica responsável destes elevados totais pluviométricos. Exceção na

BH Litorânea, em Guaraqueçaba (ID 26) e junto a Castro e Cerro Azul (ID 51), situadas à leste e nordeste das BH's, os totais pluviométricos foram inferiores a 115 mm, com destaque para os 72,0 mm registrados em Cerro Azul. Os menores totais máximos absolutos em Cerro Azul correspondem a um padrão atribuído a sua localização, pois situa-se na região do Vale do Ribeira, onde a influência do clima tropical e as baixas altitudes determinam os menores totais pluviais durante o inverno (TERASSI; GALVANI, 2017).

O evento pluvial diário de maior magnitude em Paranaguá se deu em janeiro de 2004 em condições atmosféricas associadas à atuação conjugada das ZCAS com a FPA. Como esperado para um sistema atmosférico intertropical, as chuvas ocorreram de modo irregular nos diferentes setores das BH's, com uma concentração mais elevada na região litorânea, com os totais mais elevados em Antonina (ID 23), Morretes e Paranaguá (>250 mm) e, inversamente, menores em Castro e Ponta Grossa (ID 61), localidades mais distantes do litoral e nas quais os acumulados em cinco dias foram menores que 40 mm. Os valores do desvio padrão inferem sobre a grande magnitude deste evento extremo (111,8 mm) e, entretanto, os demais parâmetros estatísticos indicam a heterogeneidade espacial, com uma amplitude de 329,4 mm e um CV igual a 67,9% (Tabela 2).

A característica heterogênea das chuvas de verão é destacada pelo evento pluvial de março de 2011 (LN), dada a amplitude de 398 mm e um CV equivalente a 100,3%. Trata-se do evento pluvial de maior magnitude para a área em estudo ( $s=152,2$ ), com totais pluviométricos equivalentes a 411,0 e 335,1 mm para Morretes e Antonina, nesta ordem, ao longo de 5 dias consecutivos, condição atmosférica atribuída aos Cavados e/ou a associação dos Cavados aos Vórtices Ciclônicos. Enquanto ocorriam valores extremos elevados no setor litorâneo, uma vez que a formação do Vórtice Ciclônico transportou umidade oceânica para este setor, em localidades como Curitiba e Ponta Grossa os totais pluviais foram próximos a 15 mm (Tabela 2). Os totais pluviométricos observados em Morretes correspondem aos maiores valores observados em cinco dias consecutivos e demonstram com veracidade a magnitude deste evento extremo pluvial.

Tabela 2 - Totais pluviométricos acumulados (mm) durante os eventos extremos e nos dois dias anteriores e posteriores a sua ocorrência em estações meteorológicas do IAPAR, INMET e SIMEPAR.

| Estação Meteorológica | Outono - Inverno |                 | Primavera - Verão |                 |                 |
|-----------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
|                       | 03 a 07/06/2012  | 18 a 22/06/2013 | 23 a 27/01/2004   | 11 a 15/12/2010 | 09 a 13/03/2011 |
| ID 2 - Curitiba       | 130,2            | 177,9           | 80,9              | 151,2           | 15,0            |
| ID 7 - Pinhais        | 145,2            | 154,4           | 124,4             | 173,8           | 25,6            |
| ID 23 - Antonina      | 148,7            | 135,0           | 250,4             | 131,9           | 335,1           |
| ID 26 - Guaraqueçaba  | 140,2            | 114,0           | 176,5             | 134,0           | 153,0           |
| ID 31 - Morretes      | 161,2            | 179,4           | 268,5             | 134,0           | 411,0           |
| ID 35 - Paranaguá     | 146,6            | 133,7           | 365,4             | 101,7           | 277,6           |
| ID 59 - Castro        | 145,1            | 106,3           | 36,0              | 53,5            | 49,3            |

|                      |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ID 51 - Cerro Azul   | 101,2 | 72,0  | 140,2 | 79,8  | 86,6  |
| ID 61 - Ponta Grossa | 141,6 | 154,4 | 39,8  | 47,6  | 13,0  |
| Média (mm)           | 140,0 | 136,3 | 164,7 | 111,9 | 151,8 |
| Amplitude            | 60,0  | 107,4 | 329,4 | 126,2 | 398,0 |
| DP                   | 16,68 | 34,97 | 111,8 | 43,9  | 152,2 |
| CV (%)               | 11,9  | 25,6  | 67,9  | 39,2  | 100,3 |

Fonte: Os autores.

A partir das análises dos impactos decorrentes dos eventos pluviais extremos em Curitiba, Zanella (2007) discorreu que foram evidenciadas condições de extrema calamidade, com a população sendo retirada de suas residências, perdas materiais, doenças e até mesmo perdas humanas, impactos decorrentes dos eventos extremos de chuva, destacando-se a partir do acúmulo superior a 60 mm em 24 horas. Esta autora ressaltou que a FPA foi o principal mecanismo atmosférico associado aos eventos pluviais extremos e que, embora com menor importância, as LIT e as ZCAS também contribuíram na geração dos eventos pluviais mais intensos. Em pesquisas mais recentes, Lohman e Santos (2015) e Goudard e Mendonça (2020) mostraram a relevância dos sistemas frontais como os principais deflagradores de eventos pluviais extremos e impactos associados.

Teixeira e Satyamurty (2007) investigaram as características dinâmicas e sinóticas de episódios de chuvas fortes no Sul do Brasil e destacaram que o jato de baixo nível a leste dos Andes corresponde a mais frequente fonte de umidade para os sistemas frontais, mas não é exclusivamente o único aspecto específico de intensificação da instabilidade, pois também observaram que comumente é observada uma forte área de divergência de umidade sobre o leste do Brasil e o Atlântico Sul adjacente durante a ocorrência de chuvas intensas. Ainda segundo os autores, especificaram que a mistura do fluxo de convergência a 700 hPa é a principal característica associada às chuvas intensas na primavera e verão, enquanto durante o inverno a variável mais importante para a indicação de pluviosidade elevada é advecção quente que antecede a entrada dos sistemas frontais.

A análise rítmica realizada por Mello *et al.* (2017) para Paranaguá em condições de verão destaca que, de cinco eventos extremos pluviais recentes, entre 2011 e 2015, somente um esteve relacionado à incursão da FPA. Observou-se que em três condições sinóticas, o mecanismo atmosférico responsável pelos elevados totais de chuva foi a ZCOU e em outro evento extremo verificou-se o predomínio da influência da mTa. Os resultados desta pesquisa estão em partes concordantes com a análise supracitada, pois em condições da associação da FPAE com a ZCAS, foram registrados elevados totais de pluviosidade em Paranaguá em janeiro de 2004, justamente o evento pluvial de maior magnitude dentre os analisados.

Em estudo para verificar padrões sinóticos associados a casos de deslizamentos na Serra do Mar no Sudeste brasileiro, Seluchi e Chou (2009) identificaram que a maioria dos episódios de chuvas extremas e

movimentos de terra estiveram associadas às passagens dos sistemas frontais (FPA) e, preeminentemente, à ZCAS. Nos estudos destes autores, constatou-se que a condição de bloqueio da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) associada à circulação de altos níveis da latitude subtropical (Cavados e os Jatos Subtropicais), são as mais propícias para manter à ZCAS mais ao sul de sua posição climatológica e gerar totais mais elevados de chuva em dias consecutivos, condição climática persistente que repercute em deslizamentos e escorregamentos de terra na Serra do Mar.

Neste mesmo sentido, é importante destacar que para os eventos pluviais extremos identificados ao longo do verão, verificou-se um padrão de ocorrência de neutralidade ou La Niña, condição que está associada a maior frequência de mecanismos atmosféricos intertropicais como a ZCAS, conforme apontam Verdan e Silva (2022). A maior participação da ZCAS na dinâmica atmosférica regional potencialmente influenciou a ocorrência dos maiores totais pluviais verificados nos eventos extremos verificados em janeiro de 2004 (NE), em dezembro de 2010 (LN) e março de 2011 (LN). Contudo, devido à restrita análise de alguns eventos extremos nesta pesquisa, não se pode afirmar que há um padrão relacional entre os eventos de El Niño e a ocorrência dos eventos pluviais extremos ao longo do inverno, condição que hipoteticamente é associada à intensificação do Jato Subtropical e da entrada dos SF, pois os registros analisados nesta pesquisa, em junho de 2012 e junho de 2013, caracterizaram-se pela neutralidade do ENOS.

A partir das discussões de Terassi e Galvani (2022) com a aplicação do Spatial Synoptic Classification (SSC) de Sheridan *et al.* (2002), os tipos de tempo mais úmidos se dão com maior frequência em Paranaguá, devido à maritimidade e estão associados aos mecanismos atmosféricos tropicais. Inversamente, em Curitiba as tipologias indicaram uma maior frequência dos tipos de tempo associados aos sistemas atmosféricos extratropicais, dentre os quais está a FPA. Deste modo, seus resultados se ajustam aos apresentados nesta pesquisa, posto que os eventos extremos identificados durante o verão ocorreram devido à atuação de sistemas atmosféricos tropicais, eventualmente, aliados à entrada de frentes frias. Ao longo do inverno, em concordância, a geração dos eventos pluviais extremos se restringe à participação da FPA.

#### IV. CONCLUSÕES

A avaliação das condições atmosféricas associadas aos eventos pluviais extremos demonstrou que os maiores volumes diários acumulados estiveram sob a atuação da Frente Polar Atlântica (FPA), seja em sua condição estacionária (FPAE) ou associada aos Jatos Subtropicais, o que é condizente com as observações anteriores da dinâmica atmosférica regional. Ressalta-se que esta associação entre a entrada da FPA e a

ocorrência das chuvas extremas se dá de modo mais linear durante o outono e inverno, período de maior atuação dos sistemas frontais e, sobretudo, devido à abrangência deste mecanismo atmosférico, as chuvas ocorrem de modo mais uniforme, o que é comprovado pelo menor coeficiente de variação da precipitação pluviométrica observada nas estações meteorológicas da área de estudo durante estas excepcionalidades pluviais (<27%). Entretanto, durante o verão e a primavera, com a maior participação dos sistemas atmosféricos intertropicais, há uma maior complexidade na gênese pluvial destes eventos extremos, pois os eventos pluviais extremos de 2004 (NE) e 2011 (LN) estiveram associados às condições atmosféricas da atuação das ZCAS e aos Cavados. Uma das principais características dos eventos pluviais extremos que ocorrem durante a primavera e o verão é a sua irregularidade espacial, tendo como principal exemplo o que ocorreu em março de 2011, com os totais em cinco dias consecutivos equivalentes a 411,0 mm em Morretes e 13,0 mm em Ponta Grossa.

Diante disso, destaca-se que os eventos pluviais extremos ocorridos durante o outono e inverno são de magnitudes inferiores aos verificados para a primavera e verão, dado os menores valores destes registros e dos desvios-padrões. Isto se dá porque no outono e inverno as condições térmicas regionais são igualmente mais homogêneas e o menor aquecimento superficial desfavorece a atividade convectiva e, consequentemente, o incremento de umidade local na formação e geração das chuvas. As condições atmosféricas regionais desta latitude durante o inverno diminuem os totais pluviométricos devido à maior restrição aos sistemas atmosféricos extratropicais na geração das chuvas daquela região, enquanto a interação entre sistemas extratropicais e intertropicais corresponde ao principal fator da elevação dos registros de precipitação.

Embora tenha sido observado um padrão predominante homogêneo dos sistemas frontais na geração de chuvas e, até mesmo em algumas condições os valores máximos diários tenham sido mais elevados no setor continental (BH Alto Iguaçu), os SF atuaram de maneira particular em cada um dos eventos pluviais extremos identificados e analisados. Assim, reconhece-se as limitações da abrangência espacial desta pesquisa, uma vez que as incursões dos sistemas atmosféricos nesta escala de análise ocorrem de modo peculiar e complexo nos diferentes setores das BH's selecionadas para este estudo. Sugere-se que em um estudo posterior, seja empregada uma análise rítmica climatológica mais detalhada e sistematizada, com a utilização do maior número possível de eventos pluviais e com a abrangência de dados meteorológicos das demais localidades.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil – Processo número:

88881.068465/2014/01 nº 071/2013 CAPES/PROCAD. O primeiro autor agradece à bolsa de Pós-Doutorado Júnior (PDJ) concedida pelo CNPq (processo 165450/2020-7). O segundo autor agradece o apoio do CNPq por meio da concessão da bolsa de pesquisa e produtividade (PQ1D). A terceira autora agradece à FAPESP por meio da bolsa de Pós-Doutorado (Processo: 2022/02383-3).

## V. REFERÊNCIAS

- ARMANI, G.; GALVANI, E. Fluxos polares e o ritmo dos sistemas atmosféricos no nordeste do estado de São Paulo. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v.23, n.1, p. 7-23, 2011. DOI: 10.1590/S1982-45132011000100002
- BORSATO, V. A.; SOUZA FILHO, E. E. A participação dos sistemas atmosféricos atuantes na Bacia do rio Paraná no período de 1980 a 2003. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.7, n.6, p.83-102, 2010. DOI: 10.5380/abclima.v7i0.25636
- BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. Participação da massa polar atlântica na dinâmica dos sistemas atmosféricos no Centro Sul do Brasil. *Mercator*, Fortaleza, v.14, n.1, p.113-130, 2015. DOI:10.4215/RM2015.1401.0008
- CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R. Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o Modo Anular Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.17, p. 9-29, 2015. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.40124
- CLIMANÁLISE. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em 15 de março de 2023.
- DALAGNOL, R.; GRAMCIANINOV, C. B.; CRESPO, N. M.; LUIZ, R.; CHIQUETTO, J. B.; MARQUES, M. T. A.; DOLIF NETO, G.; ABREY, R. C.; LI, S.; LOTT, F. C.; ANDERSON, L.O.; SPARROW, S. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? *Climate Resilience and Sustainability*, v.1, n., p.1-15, 2022. DOI: 10.1002/cli2.15
- FONTÃO, P. A. B.; ZAVATTINI, J. A. Variations of rainfall rhythm in Alto Pardo watershed, Brazil: Analysis of two specific years, a wet and a dry one, and their relation with the river flow. *Climate*, v.5, n.3, p. 47, 2017. DOI:10.3390/cli5030047
- FONTÃO, P. A. B.; ZAVATTINI, J. A.; SHERIDAN, S. C.; ARMOND, N. B. Gênese das chuvas em São Paulo (SP): estudo comparativo entre a “Spatial Synoptic Classification” e a “Análise Rítmica em Climatologia”. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.23, n.14, p.267-288, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v23i0.58657
- FRAME, D. J.; ROSIER, S. M.; NOY, I.; HARRINGTON, L. J.; CARE-SMITH, T.; SPARROW, S. N.; STONE, D. A.; DEAN, S. M. Climate change attribution and the economic costs of extreme weather events: a study on damages from extreme rainfall and drought. *Climatic Change*, v.162, n.2, p.781-797, 2020. DOI: 10.1007/s10584-020-02729-y
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S.; CHAVES NETO, A. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no estado do Paraná. *RA'EGA: o Espaço Geográfico em Análise*, v.23, n.1, p.555-572, 2011. DOI: 10.5380/raega.v23i0.24921
- GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Riscos hidrometeorológicos híbridos na bacia do Alto Iguaçu - Paraná (Brasil). *Confins*, v.1, n.54, p.1-17, 2022. DOI: 10.4000/confins.44833
- GOUDARD, G.; MENDONCA, F. A. Eventos e episódios pluviais extremos: a configuração de riscos

hidrometeorológicos em Curitiba (Paraná - Brasil). *IdeAs, Aubervilliers*, v.15, p.1-17, 2020.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Boletim Técnico - CPTEC (Centro de previsão do tempo e estudos climáticos. 2019. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>>. Acesso em 15 de março de 2023.

JORGE, F. V.; MENDONÇA, F. A. O clima da fachada atlântica sul do Brasil: uma atualização introdutória. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.5, n.5, p.119-131, 2009. DOI: 10.5380/abclima.v5i0.50481

LOHMANN, M.; SANTOS, L. J. C. Determinação de padrões de chuva crítica para ocorrência de alagamentos em Curitiba-PR utilizando rede neural artificial SOM (Self Organizing Map). *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.17, n.11, p. 27-245, 2015. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41816

MELLO, Y. R.; LOPES, F. C. A.; ROSEGHINI, W. F. F. Características climáticas e análise rítmica aplicada a episódios de eventos extremos de precipitação e temperatura no município de Paranaguá, PR. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.20, n.13, p.313-336, 2017. DOI: 10.5380/abclima.v20i0.48594

MONTEIRO, C. A. F. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia*. São Paulo, 1971. 21p.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em:< [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>. Acesso em 16/04/2023.

OLIVEIRA, M. R. P.; GALVANI, E. Eventos Extremos de Precipitação no Perfil Longitudinal Paraty (RJ) - Campos do Jordão (SP). *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, Volume especial XVII SBGFA / I CNGF (2017), p.58-65, 2017. DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.133419

OSCAR-JÚNIOR, A. C. S. Precipitation trends and variability in river basins in urban expansion areas. *Water Resources Management*, v.35, p.661-674, 2021. DOI: 10.1007/s11269-020-02749-4

PEDRON, I. T.; SILVA DIAS, M. A. F.; PAULA DIAS, S.; CARVALHO, L. M. V.; FREITAS, E. D. Trends and variability in extremes of precipitation in Curitiba - Southern Brazil. *International Journal of Climatology, Reading*, v.37, n.3, p.1250-1264, 2017. DOI: 10.1002/joc.4773

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v.25, n.2, p. 185-204, 2010. DOI:10.1590/S0102-77862010000200004

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; CRESPO, N. M.; DUTRA, L. M. M.; FERREIRA, G.W.; REHBEIN, A.; DRUMMOND, A.; ROCHA, R.P.; SOUZA, C.A. Impacts of teleconnection patterns on South America climate. *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, v.1504, n.1, p.116-153, 2021. DOI: 10.1111/nyas.14592

SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S.; ARAÚJO, H. A. Precipitação na cidade de Salvador: variabilidade temporal e classificação em Quantis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v.31, n.4, p. 1-14, 2016. DOI:

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslides events in the Serra do Mar, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, Viena, v.98, n.1, p.67-77, 2009. DOI: 10.1007/s00704-008-0101-x

SELUCHI, M. E.; BEU, C. M. L.; ANDRADE, K. M. Características das frentes frias com potencial para provocar chuvas intensas na região serrana do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.12, n.18, p.361-376, 2016. DOI: 10.5380/abclima.v18i0.45369

SEPÚLVEDA, S. A.; PETLEY, D. N. Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and

the Caribbean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Munich, v.15, n.8, p.1821-1833, 2015. DOI: 10.5194/nhess-15-1821-2015

SMIT, B.; BURTON, I.; KLEIN, R.; WANDEL, J. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, New York, v.45, n.1, p.223-251, 2000. DOI: 10.1023/A:1005661622966

SOUZA, I. P.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; VARGAS, F. F.; CERÓN, W. L.; MARTINS, J. A.; FREITAS, E.; SOUZA, R. A. F. Seasonal precipitation variability modes over South America associated to El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and non-ENSO components during the 1951–2016 period. *International Journal of Climatology*, Oxford, v.41, n.8, p.4321-4338, 2021. DOI: 10.1002/joc.7075

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. *Monthly Weather Review*, Boston, v.135, n.2, p.598-617, 2007. DOI: 10.1175/MWR3302.1

TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Identification of homogeneous rainfall regions in the eastern watersheds of the State of Paraná, Brazil. *Climate*, Basel, v.5, n.3, p.53-65, 2017. DOI: 10.3390/cli5030053

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na região Norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.33, n.1, p.11-25, 2018. DOI: 10.1590/0102-7786331002

TERASSI, P. M. B. Variabilidade pluviométrica e os eventos pluviais extremos em bacias hidrográficas do leste do estado do Paraná. 2019. 293f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2019.

TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Análise da gênese pluvial a partir da aplicação da técnica Spatial Synoptic Classification na região leste do estado do Paraná. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, v.42, e185541, 2022. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.185541

VERDAN, I.; SILVA, M. E. S. Variabilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul em relação a eventos ENOS de 2000 a 2021. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, v.42, e193110, 2022. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.193110

ZANDONADI, L. As chuvas da bacia do rio Paraná, Brasil: Um estudo do ritmo climático e algumas considerações sobre a vazão hídrica. 2013. 206f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2013.

ZANELLA, M. E. Impactos pluviais no Bairro Cajuru - Curitiba - PR. *Mercator*, Fortaleza, v.6, n.11, p.93-105, 2007.

ZEROUALI, B.; CHETTIH, M.; ABDA, Z.; MESBAH, M.; SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M. 2022. A new regionalization of rainfall patterns based on wavelet transform information and hierarchical cluster analysis in northeastern Algeria. *Theoretical and Applied Climatology*, Viena, v.147, n.1-2, p.1-22. DOI:10.1007/s00704-021-03883-8