

## A INFLUÊNCIA DE EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL NA VARIABILIDADE DE CHUVAS SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS BALSAS/MA EM DUAS DÉCADAS

**Carlos Di Stefano Silva Sousa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís, MA, Brasil

E-mail: [carlosdistefano.sousa@gmail.com](mailto:carlosdistefano.sousa@gmail.com)

**Alecir Antônio Maciel Moreira**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mail: [alecirmoreira@hotmail.com](mailto:alecirmoreira@hotmail.com)

### Resumo

Neste estudo foi analisada a influência de El Niño-Oscilação Sul na variabilidade temporal e espacial de chuvas sobre a bacia hidrográfica do rio das Balsas. Adotou-se como recorte temporal o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2020, que coincide com a multiplicação de notícias de jornais locais e com o fortalecimento da percepção regional sobre as variações de chuvas na bacia. Após revisão bibliográfica, foi feita a obtenção de dados climatológicos das variáveis atmosféricas e oceânicas das duas áreas. Os dados permitiram a caracterização pluviométrica da bacia, a identificação e análise das anomalias de chuvas por intermédio do Índice de Anomalias de Chuvas e o estabelecimento de sua relação com a fatores de variabilidade interanual como o El Niño-Oscilação Sul. Os resultados mostraram a existência de alternância regular entre excessos e escassez como principal aspecto da variabilidade temporal de chuvas sobre a bacia hidrográfica do rio das Balsas. Como principal aspecto da variabilidade espacial, identificou-se o decréscimo da umidade e do volume de chuvas no sentido sudoeste-nordeste no interior da bacia. Por fim, concluiu-se que El Niño-Oscilação Sul influencia na variabilidade de precipitações e contribui para determinar os anos chuvosos habituais, secos e úmidos. **Palavras-chave:** Precipitações; Índice de Anomalia de Chuvas; Anos chuvosos; El Niño-Oscilação Sul.

## THE INFLUENCE OF EL NIÑO-SOUTH OSCILLATION ON RAINFALL VARIABILITY OVER THE BALSAS RIVER BASIN/MA IN TWO DECADES

### Abstract

In this study, the influence of El Niño-Southern Oscillation on the temporal and spatial variability of rainfall over the Balsas River watershed was analyzed. The period from January 2000 to December 2020 was adopted as a time frame, which coincides with the multiplication of news from local newspapers and the strengthening of the regional perception of rainfall variations in the basin. After a literature review, climatological data were obtained from the atmospheric and oceanic variables of the two areas. The data allowed the characterization of rainfall in the basin, the identification and analysis of rainfall anomalies through the Rainfall Anomaly Index and the establishment of its relationship with interannual variability factors such as the El Niño-Southern Oscillation. The results showed the existence of regular alternation between excesses and scarcity as the main aspect of the temporal variability of rainfall over the Balsas River basin. As the main aspect of spatial variability, the decrease in moisture and rainfall volume in the southwest-northeast direction in the interior of the basin was identified. Finally, it was concluded that El Niño-Southern Oscillation influences the variability of precipitation and contributes to determine the usual rainy years, dry and wet.

**Keywords:** Precipitation; Rainfall Anomaly Index; Rainy years; El Niño-Southern Oscillation.

## **LA INFLUENCIA DE EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR EN LA VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES SOBRE LA CUENCA DEL RÍO BALSAS/MA EN DOS DÉCADAS**

### **Resumen**

En este estudio se analizó la influencia de El Niño-Oscilación del Sur en la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones sobre la cuenca del río Balsas. Se adoptó como marco temporal el período comprendido entre enero de 2000 y diciembre de 2020, lo que coincide con la multiplicación de las noticias de los periódicos locales y el fortalecimiento de la percepción regional de las variaciones pluviométricas en la cuenca. Luego de una revisión bibliográfica, se obtuvieron datos climatológicos de las variables atmosféricas y oceánicas de las áreas. Los datos permitieron la caracterización de las precipitaciones en la cuenca, la identificación y análisis de anomalías pluviométricas a través del Índice de Anomalías Pluviométricas y el establecimiento de su relación con factores de variabilidad interanual como El Niño-Oscilación del Sur. Los resultados mostraron la existencia de una alternancia regular entre excesos y escasez como principal aspecto de la variabilidad temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Balsas. Como principal aspecto de la variabilidad espacial, se identificó la disminución de la humedad y del volumen de precipitación en dirección suroeste-noreste en el interior de la cuenca. Finalmente, se concluyó que El Niño-Oscilación del Sur influye en la variabilidad de la precipitación y contribuye a determinar los años lluviosos habituales, secos y húmedos.

**Palabras clave:** Precipitación; Índice de Anomalías Pluviométricas; Años lluviosos; El Niño-Oscilación del Sur.

### **Introdução**

As chuvas constituem o retorno, no estado líquido, da água presente na atmosfera para a superfície da Terra e são um dos fatores que caracterizam os climas (MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007). A quantidade, a intensidade e a durabilidade das chuvas podem sofrer variabilidade temporal e espacial, e esta é frequentemente compreendida por intermédio de métodos estatísticos (DEPARTMENT OF EARTH & CLIMATE SCIENCES, 2021, tradução nossa). Os parâmetros da variabilidade de chuvas ajudam na definição dos padrões chuvosos, que podem ser habituais, úmidos e secos, bem como na análise do ritmo climático de uma região (ZAVATTINI; BOIN, 2013).

Nas regiões tropicais, as chuvas são caracterizadas por significativas variabilidades diurnas, sazonais e interanuais, e estas resultam da habitual migração norte-sul das zonas de convergência/divergência de ventos que formam os sistemas produtores de tempos meteorológicos nas baixas latitudes (AYOADE, 1996). Entretanto, a variabilidade de chuvas também é influenciada por fenômenos climáticos de acoplamento oceano-atmosfera, e a escassez ou excesso de precipitação podem ser favoráveis ou prejudiciais à organização social e econômica das regiões (PEZZI; SOUZA, 2009; MARCUZZO *et al*, 2021).

A bacia hidrográfica do rio das Balsas (BH rio das Balsas) está situada em latitude tropical, no sul do Maranhão, Brasil. A bacia abrange nove municípios do estado e, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021a; 2021b), possui 149.879 habitantes e cerca de 31% do seu Produto Interno Bruto (PIB) são oriundos da agropecuária.

Logo, trata-se de uma bacia cuja organização da economia a coloca francamente dependente do regime pluviométrico. Essa dependência foi reforçada pela consolidação da bacia como parte do MATOPIBA, acrônimo que designa a área do agronegócio formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia e caracterizada como uma região estratégica para o desenvolvimento econômico e social do Brasil Central.

No campo de percepção sobre possíveis variações de chuvas sobre a bacia nas décadas de 2000 a 2020, observou-se a recorrência de notícias em jornais do estado do Maranhão que associaram os eventos pluviométricos extremos com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O noticiário G1 Maranhão (2015; 2018), por exemplo, destacou a influência de ENOS na redução e no aumento de precipitações que ocasionaram prejuízos na agricultura no município de Balsas. Em escala global, ENOS é um dos mais conhecidos geradores de variabilidade climática interanual devido às suas teleconexões (RASMUSSEN; CARPENTER, 1982; PHILANDER, 1990; CANE, 1992; TRENBERTH, 1997). Sobre partes do território brasileiro, Aceituno (1988), Grimm (2003; 2004), Kucharski, Polzin e Hastenrath (2008), dentre outros, já atestaram a sua influência.

Nesse sentido, definiu-se como pergunta motivadora de pesquisa: a bacia hidrográfica do rio das Balsas sofreu, nas décadas de 2000 a 2020, influências de El Niño-Oscilação Sul, da qual desdobraram-se padrões temporais e espaciais de precipitações e suas anomalias? Conectado ao questionamento, o objetivo geral deste trabalho consistiu em analisar a influência de ENOS na variabilidade de chuvas sobre a BH rio das Balsas nas décadas de 2000 a 2020. E, para nortear a análise, trabalhou-se com a hipótese de que a variabilidade de chuvas na bacia é caracterizada pela ocorrência de anos chuvosos padrões, que se alternam regularmente, nas dimensões temporal e espacial, como anomalias decorrentes da influência de ENOS.

A relevância desta pesquisa relaciona-se à modernização agrícola iniciada na década de 1970 na BH rio das Balsas, que impulsionou a acentuação da urbanização e o aumento dos PIBs municipais. Tais mudanças consolidaram a bacia como o principal polo agropecuário do estado do Maranhão (FERREIRA, 2008). Não obstante, a BH rio das Balsas também é uma área sensível às variações de chuvas. No Brasil, assim como em outros países, os principais impactos da variabilidade pluviométrica são verificados através de inundações, além das constantes perdas na agropecuária (RICCE *et al*, 2016).

Além da introdução, este artigo está estruturado em quatro partes: na seção dois é apresentada a caracterização de ENOS como disparador de variabilidade de chuvas; na seção

três são apresentados os materiais e o método utilizados na pesquisa; na quarta seção são apresentados os resultados e a discussão e; na quinta seção são apresentadas as conclusões.

### **El Niño-Oscilação Sul e variabilidade de chuvas**

El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um dos mais conhecidos fenômenos de acoplamento oceano-atmosfera geradores de variabilidade climática interanual em escala global. As características verificáveis da ocorrência de ENOS são as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico Equatorial, bem como flutuações de pressão barométrica sobre a mesma bacia (RASMUSSEN; CARPENTER, 1982). O monitoramento das anomalias de TSM é realizado nas regiões assim delimitadas: Niño 1+2 (0° a 10° S; 90° O a 80° O); Niño 3 (5° N a 5° S; 150° O a 90° O); Niño 4 (5° N a 5° S; 160° L a 150° O); e Niño 3.4 (5° N a 5° S; 170° O a 120° O). Já a Oscilação Sul (OS) é a resposta atmosférica que se configura pelas inversões de pressão entre o Taiti e Darwin, na Austrália (CANE, 1992; TRENBERTH, 1997).

A variabilidade climática natural que caracteriza ENOS ocorre em intervalos entre 8 e 13 anos e seu ciclo completo pode durar cerca de 18 meses. A fase positiva do fenômeno, denominada El Niño, corresponde ao simultâneo aquecimento do oceano Pacífico Equatorial na costa da América do Sul e a ocorrência de pressão atmosférica abaixo do normal no Taiti e acima do normal em Darwin (fase negativa da OS). As condições oceânicas e atmosféricas opostas caracterizam La Niña (LN), que corresponde à fase negativa do Pacífico Equatorial e positiva da OS (PHILANDER, 1990).

Em períodos com ausência de ENOS, conhecidos como fase neutra, os ventos alísios das células de circulação Hadley-Walker, em baixos níveis, se deslocam no sentido leste-oeste, enquanto os ventos de altos níveis se deslocam na direção contrária sobre o Pacífico Tropical. Tais movimentos são possibilitados pela baixa pressão do ar que ascende no Pacífico ocidental e pela alta pressão do ar subsidente no Pacífico oriental. A normalidade da célula de Hadley, associada à termoclina mais profunda e com maior volume de águas mornas no Pacífico ocidental, contribuem para os padrões de chuvas observados na zona tropical: maiores quantidades na região da Indonésia e Pacífico Tropical ocidental, e menores quantidades na região do Pacífico Equatorial oriental (PHILANDER, 1990; NOAA, 2021a).

Durante o verão no hemisfério norte, a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) é pouco pronunciada e a convecção é acentuada no norte da Índia. Situação diferente é observada para a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que está bem desenvolvida

sobre todo o Pacífico. Na transição para o inverno do Hemisfério Norte, a região de forte convecção da ZCPS migra para o sudeste, possibilitando que no mês de janeiro o sistema esteja bem desenvolvido enquanto a ZCIT está enfraquecida. Do mês de abril em diante, ocorre o enfraquecimento da ZCPS e sua zona de convecção move-se para noroeste, concomitante ao fortalecimento da ZCIT no Pacífico ocidental. Mesmo com a atuação habitual da ZCPS, as zonas de precipitação leste-oeste no Pacífico e no Atlântico coincidem com a posição média da ZCIT, que migra sazonalmente entre o início do ano e o mês abril para latitudes próximas ao equador, e para a latitude de 15° N entre agosto e setembro. A migração sazonal da ZCIT favorece a alternância natural de precipitações entre os hemisférios norte e sul (HOREL, 1982; TRENBERTH, 1976).

A fase positiva de ENOS começa a se desenvolver geralmente nos meses de janeiro, fevereiro e março do ano 0, considerado o início de um evento EN. Os primeiros indicativos do fenômeno são o enfraquecimento dos ventos de leste e a diminuição da evaporação, acarretando acúmulo de águas quentes no Pacífico Equatorial na costa da América do Sul. À medida que EN evolui, maior quantidade de água quente se acumula em razão do aumento de evaporação e da continuidade e do fortalecimento dos ventos de oeste até o mês de setembro do ano 0. Tais circunstâncias culminam no aumento da profundidade e redução da inclinação da termoclina na costa sul americana, favorecendo a expansão das águas quentes para o centro do Pacífico Equatorial no final do ano 0 e início do ano +1 (PHILANDER; RASMUSSEN, 1985; HALPERT; ROPELEWSKI, 1992).

O principal ajuste atmosférico sobre o Pacífico Equatorial é a fusão das zonas de convergência, pois a ZCIT migra em direção ao equador, a ZCPS se move para o norte e a zona de convergência sobre o Pacífico ocidental se move para o leste. Neste período, a circulação meridional está mais intensa e a circulação zonal está enfraquecida. Este padrão acarreta mudanças no ramo ascendente da célula de Walker, que se desloca para a região oriental do Pacífico Equatorial. Como consequência, formam-se ramos subsidentes no Pacífico Equatorial oriental, na região da Indonésia, no norte do Nordeste do Brasil e no norte e leste da Amazônia (PHILANDER, 1990; NOAA, 2021b).

Durante EN, as variações de chuvas são decorrentes da fusão das zonas de convecção. Porém, o fenômeno apenas promove variações de amplitude do período chuvoso nas regiões afetadas. Sobre a América do Sul, algumas das alterações verificáveis na pluviosidade são as chuvas acentuadas no Equador e no Peru, contrastando com as secas na Bolívia. Sobre o Brasil, a fase positiva de ENOS afeta, principalmente, o regime de chuvas

nas regiões Norte e Nordeste entre julho (ano 0) e março (ano +1), e no Centro-Sul entre novembro (ano 0) e fevereiro (ano +1) (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987).

A fase negativa de ENOS começa a se desenvolver, geralmente, em meados do ano +1. Nesta fase, há o fortalecimento dos ventos alísios devido ao aumento do gradiente horizontal de pressão ao nível do mar (PNM) em todo o Pacífico Equatorial. Esta condição é associada ao aquecimento na porção oeste e resfriamento na porção leste, configuração que reduz a profundidade e aumenta a termoclina na região. As alterações oceânico-atmosféricas fortalecem a circulação Walker, que tem seu ramo ascendente deslocado para uma posição mais a oeste enquanto seu ramo subsidente fica posicionado na porção mais central do oceano Pacífico Equatorial (ARKIN, 1982; NOAA, 2021c).

Durante LN, as zonas de convergência sobre o Pacífico são separadas à medida que a ZCIT se move em direção ao norte, a ZCPS se move para o sul e a zona de convergência sobre o Pacífico ocidental se move para o oeste. Porém, as zonas de convergência assumem posições mais extremas que o habitual, ocasionando o fortalecimento da célula de Walker e o enfraquecimento da componente meridional da circulação nos trópicos. LN corresponde, assim, à intensificação das condições de TSM e da célula de Walker sobre o Pacífico Equatorial (TRENBERTH, 1976).

As fases de ENOS são identificadas por intermédio do Índice Oceânico de Niño (ION), que corresponde às anomalias mensais de TSM calculadas com base nos três meses que terminam no mais atual em Niño 3.4. A partir do ION, identifica-se El Niño pela ocorrência de cinco valores consecutivos iguais ou superiores a  $0,5^{\circ}$  C e, inversamente, identifica-se La Niña. As intensidades de ENOS podem ser definidas como fraca (média de anomalia entre  $|0,5|$  e  $|0,9|$ ), moderada (média de anomalia entre  $|1,0|$  e  $|1,4|$ ), forte (média de anomalia entre  $|1,5|$  e  $|1,9|$ ), ou muito forte (média de anomalia  $\geq 2$  ou  $\leq -2$ ). Conforme a intensidade, ENOS impacta os sistemas formadores de tempo em outras partes do mundo devido às suas teleconexões, e por isso é considerado um fenômeno global. E quanto à verificação da ocorrência de sua componente atmosférica, a Oscilação Sul, utiliza-se o Índice de Oscilação Sul (IOS), que é a padronização das diferenças de pressão atmosférica mensais entre o Taiti e Darwin (MCPHADEN; ZEBIAK; GLANTZ, 2006).

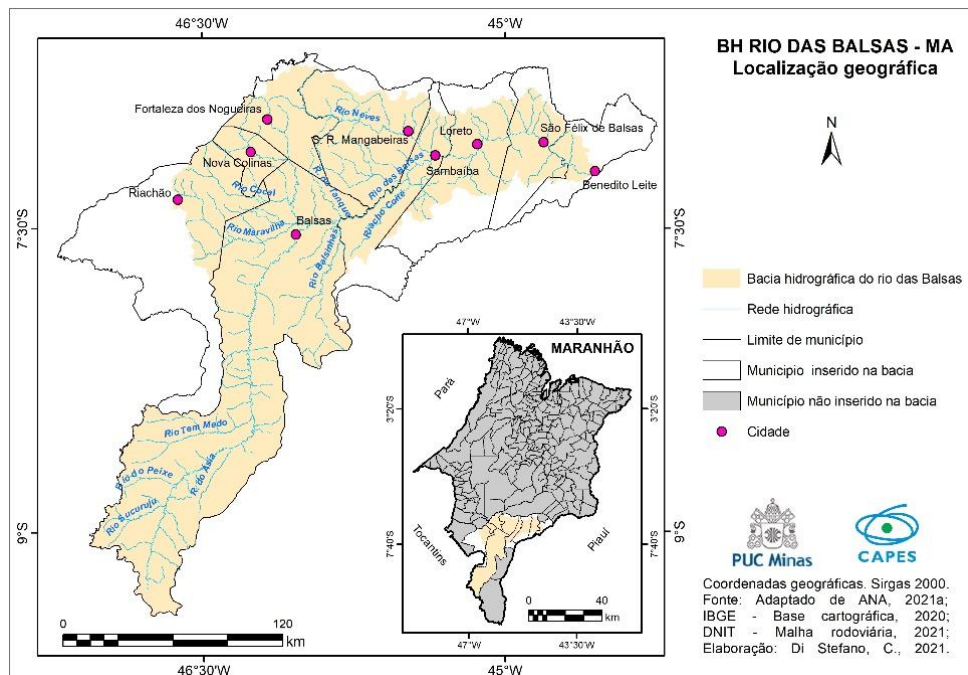
Na próxima seção são apresentados os materiais e o método utilizados na pesquisa.



## Material e método

A bacia hidrográfica do rio das Balsas está situada no sul do Estado do Maranhão, entre as coordenadas geográficas de 6° 37' 58.67" e 9° 24' 50.30" de latitude sul, e 44° 15' 5.93" e 47° 13' 10.22" de longitude oeste. Possui área de 25.481,42 km<sup>2</sup> onde o rio das Balsas é o principal corpo fluvial, com extensão de aproximadamente 523 km. As nascentes do rio das Balsas estão localizadas na Chapada das Mangabeiras, extremo sul do município de Balsas, e a foz está localizada junto ao rio Parnaíba, no município de Benedito Leite. O relevo da BH rio das Balsas possui cotas altimétricas que variam de 188 m a 657 m, diminuindo nos sentidos sul-norte e oeste-leste (VAZ; RAMOS; FROEHNER, 2021). Na Figura 1 é apresentada a localização geográfica da bacia.

**Figura 1.** BH rio das Balsas: localização geográfica



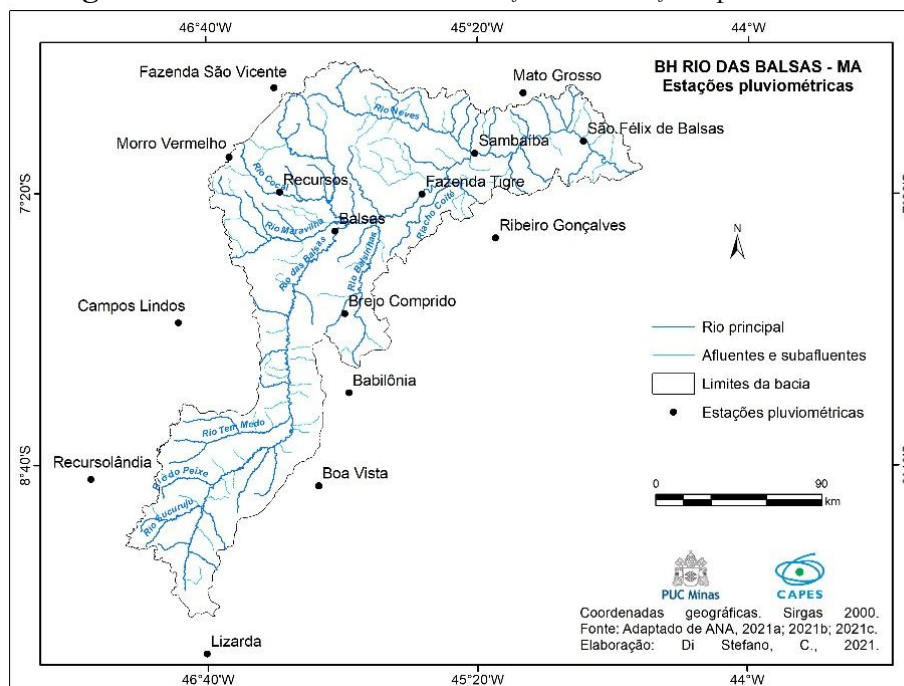
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A BH rio das Balsas também está inserida no domínio do Clima Tropical-Equatorial ou Clima Tropical Chuvoso (Aw) (VAZ; RAMOS; FROEHNER, 2021). Trata-se de um domínio quente e úmido cujos tempos meteorológicos são influenciados pela Massa de Ar Equatorial Continental (mEc), a Massa de Ar Tropical Atlântica (mTa), a Massa de Ar Equatorial Atlântica (mEa), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), os Sistemas Frontais e a Zona de Convergência de Atlântico Sul (ZCAS). Outra característica do domínio climático é a pluviosidade, que varia

entre 620 mm e 2.300 mm anuais e se concentra entre o final da primavera e o início do outono, acentuando-se no verão (MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007).

Para a caracterização pluviométrica e a análise de sua variabilidade na BH rio das Balsas, foram utilizados dados mensais da Normal Climatológica (NC) – 1991 a 2020 da bacia, registrados pela estação Balsas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020) e, para o período que se estendeu de janeiro de 2000 a dezembro de 2020, de 15 estações pluviométricas situadas no interior e no entorno da bacia (Figura 2). Os últimos foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA, 2021c).

**Figura 2.** BH rio das Balsas: localização das estações pluviométricas



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com Xavier e Xavier (1999) e Almeida, Freitas e Silva (2013), existem diversas técnicas estatísticas que possibilitam a análise da variabilidade de chuvas, mas nem todas conduzem a resultados objetivos. Entre as técnicas mais utilizadas para a determinação dos períodos secos e chuvosos está a análise dos quantis, que permite quantificar as ordens quantílicas e, por intermédio desta, o regime pluvial da região de interesse utilizando somente os dados de precipitação pluvial.

Partindo da perspectiva da segurança, da objetividade dos resultados e da facilidade de sua compreensão, optou-se por trabalhar nesta pesquisa com a técnica do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), proposto por Rooy em 1965. Pois o IAC também possibilita a












determinação quantitativa e qualitativa das anomalias de chuvas e sua comparação ao padrão de precipitação considerado habitual utilizando somente os dados de pluviosidade da região de interesse. Dessa forma, a partir da NC – 1991 a 2020 e dos dados de chuvas mensais, foram calculados a precipitação total, as médias de precipitação e o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) anuais para a BH rio das Balsas. Os IAC positivos e negativos foram calculados com a aplicação das equações 1 e 2, respectivamente, aos dados de chuvas (SANCHES; VERDUM; FISCH, 2014; GARCÊS JÚNIOR; ZANELLA, 2019):

$$IAC = 3[(N - \bar{N})/(\bar{M} - \bar{N})] \quad (1)$$

$$IAC = -3[(N - \bar{N})/(\bar{X} - \bar{N})] \quad (2)$$

Nas equações 1 e 2,  $N$  é a precipitação total (mm) do período (ano, mês ou estação) para o qual é calculado o IAC;  $\bar{N}$  é a média histórica (mm) do período;  $\bar{M}$  é a média das dez maiores precipitações (mm) do período; e  $\bar{X}$  é a média das dez menores precipitações (mm) do período (SANCHES; VERDUM; FISCH, 2014). Os IAC foram, ainda, agrupados em intervalos de classes para os quais foi estabelecida uma classificação qualitativa e um esquema cromático (Tabela 1) a partir das propostas de Fernandes *et al* (2009) e Cunha (2019).

**Tabela 1.** Classificação do IAC

IAC	Classificação	Esquema cromático
$\geq 4,00$	Extremamente úmido	
3,00 a 3,99	Umidade alta	
2,00 a 2,99	Umidade moderada	
0,5 a 1,99	Umidade baixa	
-0,49 a 0,49	Normal	
-1,99 a -0,5	Seca suave	
-2,99 a -2,00	Seca moderada	
-3,99 a -3,00	Seca alta	
$\leq -4,00$	Extremamente seco	

Fonte: Adaptado de Fernandes *et al* (2009) e Cunha (2019).

Após os cálculos da precipitação total e dos IAC anuais na BH rio das Balsas, foram elaborados 21 mapas de isolinhas com a espacialização das anomalias de chuvas. A interpolação e a espacialização da precipitação foram elaboradas no sistema de informações geográficas (SIG) *QGIS*, versão 3.4, com a aplicação do método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (equação 3), pois este método é um dos mais eficientes para determinar os

valores em locais com ausência de amostragem a partir de valores conhecidos. Possibilita, também, a criação de uma superfície contínua que representa o padrão espacial da variável (SILVA; QUINTAS; CENTENO, 2007; MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

$$G_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{d_i^m} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^m} \right)} \quad (3)$$

Na equação 3,  $G_i$  é o valor estimado no local interpolado;  $x_i$  é o valor da variável no  $i$ -ésimo local amostrado;  $d_i$  é a distância euclidiana entre o  $i$ -ésimo local amostrado e o local interpolado; e  $m$  é o coeficiente do interpolador.

A identificação dos anos chuvosos padrões (habitual, úmido e seco) na BH rio das Balsas foi realizada adotando-se os critérios propostos por Cunha (2019). Assim, o ano chuvoso padrão habitual foi definido como o período em que a maior área da bacia hidrográfica estava coberta pela classificação do IAC normal, seguida pelas classificações umidade baixa e seca suave. O ano chuvoso padrão úmido foi definido como o período em que a maior área da bacia estava coberta pela classificação do IAC extremamente úmido e, em ordem, pelas classificações úmida alta e úmida moderada. Já o ano chuvoso padrão seco foi definido como o período em que a maior área da bacia estava coberta pela classificação do IAC extremamente seco e, em ordem, pelas classificações seca alta e seca moderada.

A verificação de ENOS foi realizada a partir de dados mensais de TSM e anomalias, compilados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration's* (NOAA, 2021d; 2021e), registrados nas regiões oceânicas de monitoramento do fenômeno. A ocorrência de ENOS foi checada, também, por intermédio da análise visual do ION.

Já a influência de ENOS sobre as chuvas na BH rio das Balsas foi analisada, primeiramente, por intermédio da correlação linear de Pearson e do teste  $t$  com significância de 95%. Adotou-se a equação e os parâmetros da correlação linear detalhada por Rogerson (2012) e Yamamoto (2020), conforme a equação 4:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Neste procedimento, considerou-se as TSM mensais das regiões oceânicas de Niño como variáveis independentes ( $x$ ), e as médias mensais de precipitação na bacia como

variáveis dependentes ( $y$ ). Após os procedimentos, adotou-se a escala de significância proposta por Hopkins (2000) para o coeficiente de correlação linear (Tabela 2).

**Tabela 2.** Coeficiente de correlação linear: escala de significância

<b>Coeficiente</b>	<b>Significância</b>
0,0 a  0,1	Correlação nula ou muito baixa
0,1  a  0,3	Correlação baixa
0,3  a  0,5	Correlação moderada
0,5  a  0,7	Correlação alta
0,7  a  0,9	Correlação muito alta
0,9  a  1,0	Correlação quase perfeita ou perfeita

**Fonte:** Adaptado de Hopkins (2000).

Por fim, foi utilizada a regressão linear múltipla para a construção dos modelos preditivos entre as TSM mensais das regiões ENOS e as médias mensais de precipitação na bacia. Adotou-se a equação e os parâmetros da regressão, inclusive os testes de estimativa pelo ajuste linear simples com 95% de significância e de multicolinearidade, detalhada por Rogerson (2012) e Triola (2013), conforme a equação 5:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (5)$$

Na equação 5,  $y$  é o valor predito (dado ausente a ser preenchido) e  $x_1, x_2, \dots, x_k$  são os valores das variáveis independentes. Os parâmetros  $a$  e  $b$  são quantidades que descrevem a reta de ajuste linear que representa o grau de relacionamento entre as variáveis, sendo  $a$  o intercepto (ponto onde a linha de ajuste intercepta o eixo vertical do gráfico) e  $b_1, b_2$  e  $b_k$  as estimativas amostrais dos coeficientes. A regressão linear múltipla permite também a obtenção do coeficiente de determinação  $r^2$  ajustado que varia entre 0 e 1 e indica a proporção da variabilidade de  $y$  associada às variáveis  $x$  (ROGERSON, 2012; TRIOLA, 2013). Os gráficos e os testes estatísticos foram elaborados nos softwares *Microsoft Excel*, ano 2016, e *RStudio*, versão 1.4. Na próxima seção são apresentados os resultados e discussão.

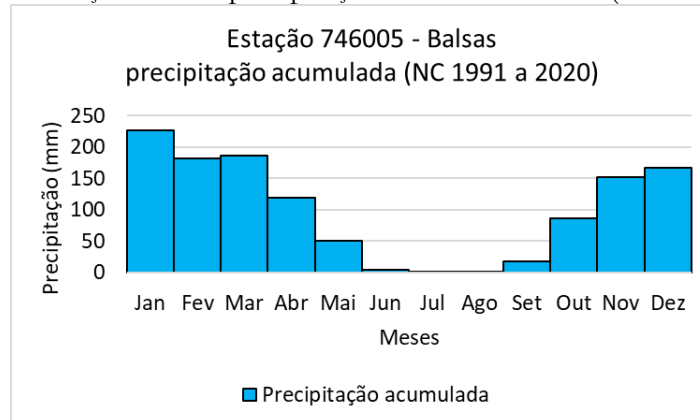
## **Resultados e discussões**

### *Caracterização e variabilidade de chuvas na BH rio das Balsas*

A análise da NC – 1991 a 2020 permitiu verificar que a precipitação anual média na BH rio das Balsas é de 1.194,7 mm de chuva com média mensal de 99,6 mm. No entanto, a

distribuição temporal de chuvas é desigual, pois o período de novembro a abril concentra 1.033,3 mm de chuvas, ou 86,4% do total anual precipitado, enquanto o período de maio a outubro concentra 161,4 mm, ou 13,5% das precipitações anuais. A partir do comportamento da precipitação apresentado no Gráfico 1, verificou-se que a bacia possui seis meses úmidos (novembro a abril) e seis meses secos (maio a outubro).

**Gráfico 1.** Estação Balsas: precipitação acumulada média (NC 1991 a 2020)

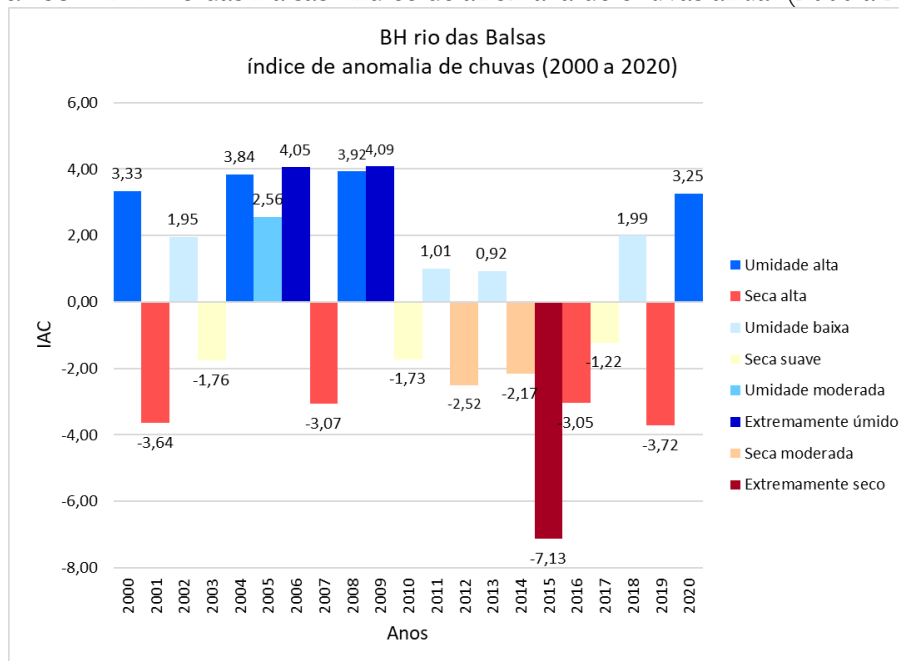


Fonte: Adaptado de INMET (2020).

A espacialização da precipitação anual média 2000-2020 na BH rio das Balsas, calculada com base nos dados mensais das 15 estações pluviométricas, permitiu observar áreas com volumes menores e áreas com volumes maiores que a média da NC – 1991 a 2020. Observou-se também um decréscimo de precipitações sudoeste-nordeste, contexto no qual os totais superiores a 1.342 mm de chuva na área das nascentes do rio das Balsas contrastam com os totais inferiores a 1.064 mm no exutório da bacia (Figura 3).



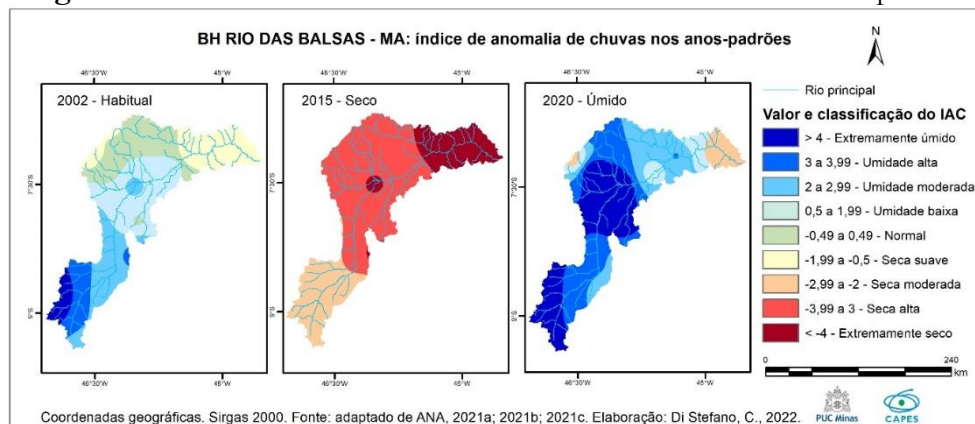
**Gráfico 2.** BH rio das Balsas: índice de anomalia de chuvas anual (2000 a 2020)



Fonte: Resultados da pesquisa (2022).

A partir da espacialização do IAC anual de cada estação pluviométrica, identificou-se o ano de 2002 como padrão chuvoso habitual. Nesse ano, a maior parte da bacia esteve ocupada pela umidade normal, a umidade baixa e a seca suave. Identificou-se também o ano de 2015 como padrão seco com a quase totalidade da bacia ocupada pelo IAC extremamente seco, a seca alta e a seca moderada. Por fim, identificou-se o ano de 2020 como ano-padrão úmido, com a maior parte da bacia ocupada pelo IAC extremamente úmido, a umidade alta, a umidade moderada e a seca moderada. A análise do IAC nos três anos-padrões permitiu observar uma variabilidade espacial de umidade na BH rio das Balsas que também decresce de sudoeste para nordeste (Figura 4).

**Figura 4.** BH rio das Balsas: índice de anomalia de chuvas nos anos-padrões



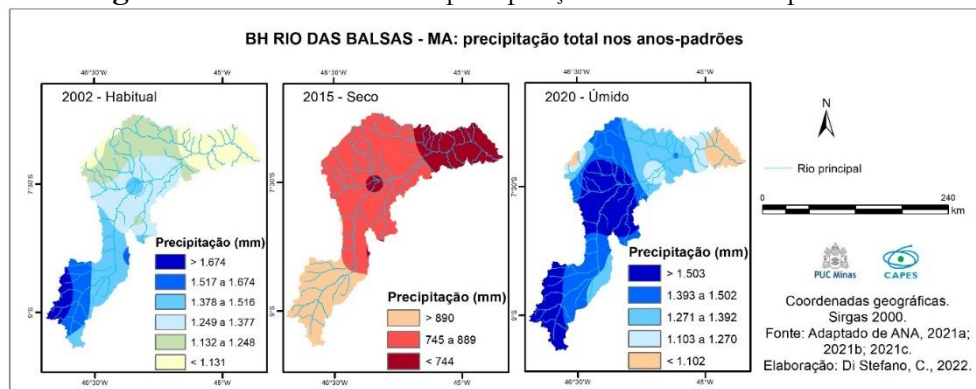
Fonte: Resultados da pesquisa (2022).



A partir da análise da precipitação em toda a BH rio das Balsas calculada a partir das chuvas registradas nas estações pluviométricas em cada um dos 21 anos, verificou-se que um ano chuvoso padrão habitual na bacia, tal como o ano de 2002, apresenta precipitações médias de 1.325,4 mm. Mas este volume decai para 839,5 mm em um ano chuvoso padrão seco, como o ano de 2015, representando um decréscimo de 486 mm ou 57,8%. Para um ano padrão úmido, como 2020, identificou-se a média de precipitações de 1.393,5 mm, que representa acréscimo de 68,1 mm ou 5% no volume de chuvas.

A partir da espacialização da precipitação total nos anos chuvosos padrões (Figura 5), verificou-se que, no padrão habitual, algumas áreas da bacia com os máximos (> 1.674 mm) e os mínimos (< 1.131 mm) de chuvas possuem volumes acima dos máximos (> 1.503 mm) e mínimos (< 1.102 mm) no padrão úmido. Porém, no ano padrão úmido, maiores áreas na bacia são ocupadas por totais pluviométricos considerados intermediários (> 1.271 mm) a máximos (> 1.503 mm). Além disso, as áreas ocupadas por volumes mínimos (< 1.102 mm) são inferiores às suas homônimas no ano-padrão habitual.

**Figura 5.** BH rio das Balsas: precipitação total nos anos-padrões



Fonte: Resultados da pesquisa (2022).

Ainda com base na espacialização das chuvas apresentada na Figura 5, foram identificadas apenas três áreas de precipitações para o ano-padrão seco. Entretanto, os resultados da espacialização da precipitação nos anos-padrões reafirmam que a distribuição de chuvas sobre a BH rio das Balsas é caracterizada pelo decréscimo sudoeste-nordeste. Evidenciaram ainda que a área das nascentes do rio das Balsas recebe sempre os maiores volumes anuais de chuvas ao passo que o exutório recebe sempre os menores volumes.

Na próxima sub seção é discutida a influência de El Niño-Oscilação Sul na variabilidade de chuvas sobre a BH rio das Balsas.

*A influência de ENOS na variabilidade de chuvas sobre a bacia*

A partir da análise do Índice Oceânico de Niño (ION), foram identificados 131 meses agrupados em 16 períodos de ENOS. Os períodos se subdividiram na fase positiva, com 58 meses agrupados em sete ocorrências, e na fase negativa, com 73 meses agrupados em nove ocorrências. Foram identificados, também, 121 meses agrupados em 15 períodos neutros. Apesar do equilíbrio entre a quantidade de EN e LN, não foram identificados ciclos completos de 18 meses para as duas fases (Quadro 1).

**Quadro 1.** El Niño-Oscilação Sul: fases positiva e negativa mensais (2000 a 2020)

Anos	Intensidade*	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	Fraca												
2001													
2002	Moderada												
2003													
2004	Fraca												
2005	Fraca												
2006	Fraca												
2007	Forte												
2008	Fraca												
2009	Moderada												
2010	Forte												
2011	Moderada												
2012													
2013													
2014	Fraca												
2015	Muito forte												
2016	Fraca												
2017	Fraca												
2018	Fraca												
2019	Fraca												
2020	Moderada												

Fase positiva
  Fase negativa
  Fase neutra

**Fonte:** Adaptado de NOAA (2021d; 2021e).

A partir da comparação dos anos chuvosos padrões com os eventos ENOS, verificou-se que o ano habitual 2002 coincide com a alternância das fases neutra e positiva, com intensidade moderada. O evento El Niño, que ocasionou a diminuição de chuvas na bacia, abrangeu apenas os meses de novembro e dezembro do período chuvoso, o que denota limitada relação entre ENOS e as anomalias de chuvas em anos habituais. Por sua vez, todo o ano de 2015 coincide com a fase positiva de intensidade muito forte de ENOS, e assim verifica-se que o fenômeno é um dos moduladores da escassez de chuvas em anos secos sobre a bacia. Já o ano úmido 2020 coincide com a alternância entre as fases positiva fraca, que abrange apenas o mês de janeiro, com a fase neutra de fevereiro a julho, e com a fase negativa moderada de agosto a dezembro. Como La Niña ocasiona aumento de

precipitações sobre a BH rio das Balsas, observam-se relações entre ENOS e os excessos de chuvas nos anos úmidos.

A análise da influência de ENOS na variabilidade de chuvas, testada por intermédio da correlação, também evidenciou relações que variam de nulas ou muito baixas a associações altas conforme a escala de significância de Hopkins (2000) (Tabela 3). Por intermédio do teste *t* de significância, confirmaram-se as correlações. Exceção foi a influência de Niño 3, pois 88% de significância corrobora uma correlação nula ou muito baixa. Os ajustes entre as TSM e as chuvas na bacia foram reafirmados, ainda, pela estimativa de ajuste linear simples acima de 95% de significância para todos os casos, exceto para Niño 3 (significância < 95%).

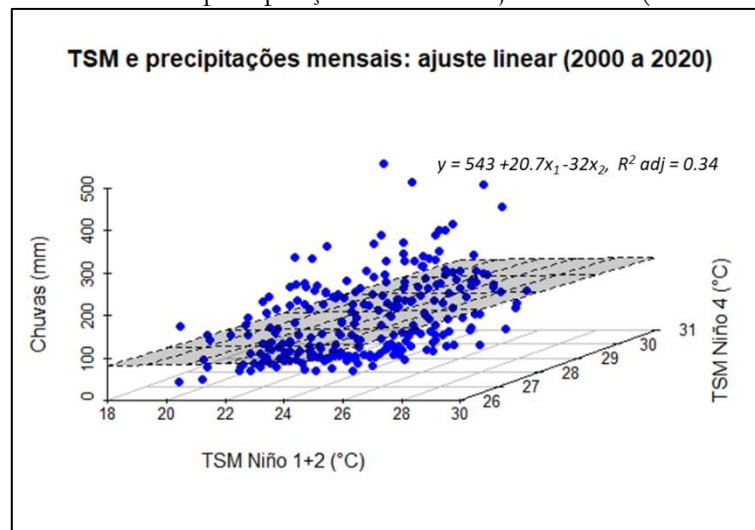
**Tabela 3.** TSM e precipitações mensais: coeficientes de correlação

<b>Regiões oceânicas</b>	<b>Chuvas</b>
<b>Niño 1+2</b>	0,535
<b>Niño 3</b>	0,098
<b>Niño 4</b>	-0,304
<b>Niño 3.4</b>	-0,230

**Fonte:** Resultados da pesquisa (2022).

A estimativa pelo ajuste linear simples também indicou que, individualmente, as TSM mensais da região Niño 1+2 explicam aproximadamente 28% da variabilidade de chuvas mensais na BH rio das Balsas, considerando o valor de  $r^2$  ajustado. Na regressão múltipla com Niño 1+2, constatou-se que as TSM de Niño 4 também estão relacionadas à variabilidade de chuvas pois, por intermédio de  $r^2$  ajustado, verificou-se que 34% das variações de precipitações sobre a bacia são explicadas pelas TSM das regiões (Gráfico 3). Outros parâmetros que indicam a adequação do modelo são as significâncias dos coeficientes de estimativa das variáveis independentes e do ajuste linear acima de 95%. Além disso, constatou-se baixa multicolinearidade entre as TSM das duas regiões, uma vez que a inflação das variâncias é igual a 1.

**Gráfico 3.** TSM e precipitações mensais: ajuste linear (2000 a 2020)



Fonte: Resultados da pesquisa (2022).

Com as variáveis padronizadas para avaliação dos níveis de influência no modelo conjunto, observou-se que as TSM de Niño 1+2 explicam 51% da variabilidade de chuvas, enquanto as TSM de Niño 4 explicam cerca de 25%. A influência de Niño 4 sobre a variabilidade de chuvas é explicada pelo fato de a região situar-se no extremo oeste do Pacífico Equatorial e, por isso, mais distante da BH rio das Balsas. Assim, o reposicionamento dos ramos convectivos nessa porção do oceano tem pouca influência sobre a dinâmica das precipitações na área de estudo. Já as TSM de Niño 3 e Niño 3.4 não possuem influência sobre as chuvas, pois observaram-se elevadas multicolinearidades nas regressões com Niño 1+2, com as inflações das variâncias superiores a 4,5, além da diminuição do poder explicativo sobre a variabilidade de chuvas (< 28%).

Dinamicamente, a influência de ENOS sobre o percentual de 34% da variabilidade de chuvas na BH rio das Balsas é explicada pelo comportamento dos sistemas atmosféricos formadores de tempos meteorológicos sobre a área. Na ausência de anomalias de TSM no Pacífico, existe um ramo ascendente da célula de Walker sobre a Amazônia Ocidental. Em altos níveis, esse ramo se desloca no sentido oeste-leste e favorece as precipitações no norte da América do Sul e sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical (TRENBERTH, 1976; PHILANDER, 1990). Na fase neutra de ENOS, a ZCIT e os demais sistemas atmosféricos produtores de tempos meteorológicos na bacia possuem atuações normais. Por isso, com ausência de ENOS coincidem com os anos chuvosos habituais.

A influência que o aquecimento ou o resfriamento de Niño 1+2 e Niño 4 exercem sobre o aumento ou a diminuição de chuvas na BH rio das Balsas está relacionada às

alterações no comportamento da célula de Walker, pois durante a fase positiva em Niño 1+2 e Niño 4, há o enfraquecimento dos ventos de leste e o fortalecimento dos ventos de oeste. Isso propicia com que o início de El Niño acarrete maior evaporação e fortalecimento do ramo ascendente da célula de Walker junto à América do Sul, favorecendo a formação de chuvas por intermédio da convecção (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987).

À medida que EN se desenvolve, as águas aquecidas no Pacífico Equatorial movem-se até alcançar Niño 4. O movimento é acompanhado pelo deslocamento dos ramos ascendentes da circulação Walker para o oeste do Pacífico Equatorial no final do ano 0 e início do ano +1. Com a formação dos ramos convectivos nas porções oeste e central do Pacífico, devido ao maior acúmulo de águas aquecidas, o ramo atmosférico ascendente sobre a Amazônia Ocidental também migra para o oeste da América do sul. Como consequência, formam-se ramos subsidentes no leste do Pacífico Equatorial, no norte do Nordeste do Brasil e no norte e leste da Amazônia (HOREL, 1982; PHILANDER, 1990).

Com tais configurações, ocorre a diminuição das chuvas na BH rio das Balsas, fato agravado pelo enfraquecimento da ZCIT e pela alteração do comportamento dos demais sistemas atmosféricos produtores de tempos meteorológicos sobre a bacia. Uma dessas alterações é a redução da umidade oriunda da Amazônia Ocidental por intermédio da mEc. Também ocorre o enfraquecimento do anticiclone do Atlântico Sul, alteração que perturba o avanço da mTa sobre o Brasil. Com isso, o avanço dos Sistemas Frontais sobre o Brasil Central também se torna menos frequente, o que dificulta a formação da ZCAS – sistema associado a grandes volumes de chuvas na BH rio das Balsas. Já os VCANs apresentam pequena variabilidade em sua quantidade nos períodos de aquecimento do Pacífico Equatorial. Durante El Niño, prevalecem sobre o Nordeste do Brasil os VCANs de origem continental que, por vezes, inibem a formação de nuvens de chuvas em grande parte da região e ao mesmo tempo propiciam alguma precipitação nas áreas periféricas do sistema (FERREIRA; MELLO, 2005; MONTEIRO, 2022). Em virtude dessas alterações, os anos chuvosos padrão seco na BH rio das Balsas coincidem com a fase positiva de ENOS.

Em sentido oposto, durante a fase negativa de ENOS, quase todos os sistemas atmosféricos geradores de tempos meteorológicos sobre a BH rio das Balsas são fortalecidos e encontram condições propícias à sua atuação, especialmente a ZCAS, cuja formação se torna mais frequente. O único sistema atmosférico com pequena variabilidade em sua quantidade são os VCANs. Porém, em anos com La Niña, prevalecem sobre o Nordeste do Brasil os VCANs de origem oceânica, que possuem maior capacidade de formação de nuvens

de chuvas e, geralmente, possibilitam a ocorrência de precipitações nas áreas sob sua influência (RAMIREZ, 1996; REPINALDO, 2010; FREIRE *et al*, 2011; MONTEIRO, 2022). Devido à intensificação da circulação Walker e a consequente alteração no comportamento dos sistemas atmosféricos produtores de tempos, as fases negativas de ENOS coincidem com os anos chuvosos padrão úmido na BH rio das Balsas.

## **Conclusões**

O estudo da variabilidade de chuvas na bacia hidrográfica do rio das Balsas permitiu uma análise aprofundada sobre as distribuições temporal e espacial das precipitações, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2020. A análise foi possibilitada por intermédio do referencial utilizado, a caracterização pluviométrica da bacia obtida por meio dos dados do Inmet e ANA, e as técnicas empregadas para o cálculo do IAC e suas relações com ENOS.

Por intermédio da NC – 1991 a 2020, foi constatado que a precipitação anual na BH rio das Balsas é de 1.194,7 mm de chuva, com média mensal de 99,6 mm. Trata-se de uma precipitação distribuída temporalmente de forma desigual, com o mês de janeiro concentrando o maior e o mês de julho o menor volume. Além disso, a precipitação é dividida em duas estações: a chuvosa, estendida de novembro a abril e concentrando 86,4% do total anual precipitado; e a seca, estendida de maio a outubro e concentrando 13,5% do volume de chuvas.

A análise das chuvas registradas em 15 estações pluviométricas na bacia permitiu observar áreas com volumes menores e áreas com volumes maiores que a média da NC – 1991 a 2020. O volume de chuvas apresenta ainda tendência de decréscimo sudoeste-nordeste, sendo que as quantidades superiores a 1.342 mm na área das nascentes do rio das Balsas contrastam com os totais inferiores a 1.064 mm na área do exutório da bacia.

Por intermédio do IAC nos anos analisados, observou-se uma variabilidade temporal de chuvas caracterizada por maior quantidade de anomalias positivas (52,4%) em relação às negativas (47,6%). No comportamento geral, constatou-se alternância entre excessos e escassez de chuvas. Com a espacialização das anomalias, foram identificados os anos de 2002, 2015 e 2020 como padrões chuvosos habitual, seco e úmido, respectivamente. Nesses anos, verificou-se que os comportamentos espaciais da umidade e das precipitações são semelhantes ao observado por intermédio da NC 1991 a 2020: decréscimo sudoeste-nordeste.



No que se refere às relações entre a variabilidade de chuvas na BH rio das Balsas e El Niño-Oscilação Sul, foram identificadas a fase positiva (El Niño) do fenômeno, com 58 meses agrupados em sete ocorrências, e a fase negativa (La Niña), com 73 meses agrupados em nove ocorrências. Foram identificados, ainda, 121 meses agrupados em 15 períodos de neutralidade ou ausência de ENOS. Nas duas décadas, o fenômeno apresentou alternância regular entre as fases e ausência de ciclos completos de 18 meses. Além disso, se caracterizou por diferentes durações e intensidades. Disso decorre que ENOS é um fenômeno influenciador na variabilidade de chuvas na BH rio das Balsas, destacadamente as regiões Niño 1+2 e Niño 4. Mas a representatividade é limitada, considerando os elevados percentuais de chuvas não explicados pelo fenômeno: 66% da variabilidade total de chuvas.

Após análise dos resultados, observou-se que a hipótese norteadora da pesquisa foi parcialmente confirmada, pois há na BH rio das Balsas uma variabilidade de chuvas caracterizada pela ocorrência de anos chuvosos padrões. Mas na perspectiva temporal, não existe uma tendência de aumento ou diminuição de chuvas em toda a bacia considerando o IAC. Há uma alternância regular entre o excesso e a escassez de precipitações, apesar de não existir uma sequência igualmente intercalada de anomalias positivas e negativas. Na perspectiva espacial existem chuvas habituais, excessivas ou escassas nos anos chuvosos padrões, com exceção de 2015, que possui apenas anomalias negativas. Mas em todos os anos, as anomalias se distribuem de forma desigual pela área da bacia, constituindo um padrão em que os maiores volumes de chuvas são verificados no sul/sudoeste e os menores no norte/nordeste.

Para adaptação aos efeitos e mitigação dos impactos adversos que a variabilidade de chuvas pode causar na BH rio das Balsas, especialmente em um momento em que o mundo experimenta as mudanças climáticas globais, sugere-se três medidas principais:

- Criação de políticas públicas, coordenadas entre os três níveis administrativos, voltadas ao esclarecimento e à sensibilização da população acerca da variabilidade de chuvas, suas causas e efeitos;
- Incentivo às práticas agrícolas mais sustentáveis e mais preparadas aos eventos pluviométricos extremos, como aquelas que promovem menos desmatamento e que são menos dependentes do regime pluviométrico;
- Criação do Comitê de Bacia que, dentre outras atribuições, considere os estudos científicos para a previsibilidade dos eventos pluviométricos extremos.

A pesquisa reafirma a importância dos estudos sobre a variabilidade de chuvas em uma área social e economicamente sensível às alterações no padrão pluviométrico que é a BH rio das Balsas. Assim, este trabalho contribui para as análises e abre novas possibilidades de estudos sobre as relações entre a variabilidade de chuvas e os fenômenos climáticos de larga escala sobre a bacia. Afinal, desvendar a variabilidade de chuvas e suas causas no binômio tempo-espaço, é imprescindível para a ampliação do conhecimento sobre tal fenômeno na bacia, área inserida em um domínio climático onde as irregularidades pluviométricas são comuns e, por vezes, causam consideráveis prejuízos sociais e econômicos.

## Referências

ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector – part I: surface climate. **Monthly Weather Review**, v. 116, n. 3, p. 505-524, 1988.

ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 2017-232, 2013.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Bacias Hidrográficas Ottocodificadas – Níveis Otto**. ANA, 2021a. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em 06 de janeiro de 2021.

\_\_\_\_\_. **Regiões Hidrográficas – Catálogo de metadados**. ANA, 2021b. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>>. Acesso em 06 de janeiro de 2021.

\_\_\_\_\_. **Rede hidrometeorológica nacional**. ANA, 2021c. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em 13 de março de 2021.

ARKIN, P. A. The relationship between interannual variability in the 200 mb tropical wind field and the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 110, n. 10, p. 1393-1404, 1982.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CANE, M. A. Tropical Pacific ENSO modes: ENSO as a mode coupled system. In: TRENBERTH, K. E. (ed.). **Climate system modelling**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 583-614, 1992.

CUNHA, D. M. **Variabilidade das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce – MG/ES no período de 1991 a 2017**. Tese (Doutorado em Geografia) – Belo Horizonte: PUC Minas, 2019.

DEPARTMENT OF EARTH & CLIMATE SCIENCES. San Francisco State University. **Rainfall variability.** Disponível em: <<http://www.geosci.sfsu.edu/Geosciences/classes/e360/RainfallVariability/RainfallVariability.htm>>. Acesso em 15 de outubro de 2021.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; LOPES DA PAZ, R.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a quantificação da seca.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n. 01, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, M. G. **A dinâmica da expansão da soja e as novas formas de organização do espaço na Região de Balsas – MA.** Tese (Doutorado em Geografia) – Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.

FREIRE, J. L.; LIMA, J. R.; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 429-444, 2011.

G1 MARANHÃO. **El Niño reduz chuvas e afeta produção de grãos no sul do Maranhão.** Balsas, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2015/12/el-nino-reduz-chuvas-e-afeta-producao-de-graos-no-sul-do-maranhao.html>>. Acesso em 10 de agosto de 2021.

\_\_\_\_\_. **Balsas está em situação de alerta por conta de enchentes dos rios.** Balsas, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/balsas-esta-em-situacao-de-alerta-por-conta-de-enchentes-dos-rios.ghtml>>. Acesso em 10 de agosto de 2021.

GARCÊS JÚNIOR, A. R.; ZANELLA, M. E. Identificação do índice de anomalia de chuva da pré-estação chuvosa de São Luís, Maranhão. **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.** Anais, Fortaleza, p. 1-13, 2009.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

\_\_\_\_\_. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil?. **Climate Dynamics**, v. 22, p. 123-138, 2004.

HALPERT, M. S.; ROPELEWSKI, C. F. Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 5, n. 6, p. 577-593, 1992.

HOPKINS, W. **A new view of statistics.** Internet Society for Sport Science: 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/>>. Acesso em 02 de junho de 2021.

HOREL, J. D. On the annual cycle of the tropical Pacific atmosphere and ocean. **Monthly Weather Review**, v. 110, n. 12, p. 1863-1878, 1982.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base cartográfica 2020**. IBGE, 2020. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 09 de maio de 2020.

\_\_\_\_\_. **Recortes para fins estatísticos – censo 2010**. IBGE, 2021a. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 09 de maio de 2021.

\_\_\_\_\_. **Produto interno bruto dos municípios**. IBGE, 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 02 de maio de 2021.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Sistema Nacional de Meteorologia – Normais Climatológicas**. INMET, 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 20 de junho de 2020.

KUCHARSKI, F.; POLZIN, D.; HASTENRATH, S. Teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts: modeling and empirical evidence. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 115-125, 2008.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Índice de anomalia de chuvas do estado do Tocantins. **Geoambiente on-line**, n. 19, p. 55-71, 2012.

MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. DE L.; FILHO, R. F.P.; FARIA, T.G. Chuvas na região Centro-Oeste e no Estado do Tocantins: análise histórica e tendência futura. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 19-30, 2012.

MAZZINI, P. L.; SCHETTINI, C. A. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, ano 13, v. 1, 2009, p. 53-64.

McPHADEN, M. J.; ZEBIAK, S. E.; GLANTZ, M. H. ENSO as an intriguing concept in Earth science. **Science**, v. 314, p. 1740-1745, 2006.

MENDONÇA, F.; DANI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n. 01, p. 312-332, 2022.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION'S. **Teleconnections: El Niño/Southern Oscillation (ENSO) technical discussion**. NOAA, 2021a. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2021.

\_\_\_\_\_. **El Niño - Southern Oscillation (ENSO)**. NOAA, 2021b. Disponível em: <<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>>. Acesso em 02 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. **El Niño and La Niña: frequently asked questions**. NOAA, 2021c. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-frequently-asked-questions>>. Acesso em 02 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. **Monthly atmospheric e SST indices.** NOAA, 2021d. Disponível em: <<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Acesso em 30 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. **Cold e warm episodes by season.** NOAA, 2021e. Disponível em: <[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em 02 de março de 2021.

QGIS 3.4. Data de utilização: 20 ago. 2020. QGIS Community, 2020.

PEZZI, L.; SOUZA, R. Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. *et al.* **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 375-383.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation.** San Diego: Academic Press, 1990.

PHILANDER, S. G.; RASMUSSEN, E. M. The Southern Oscillation and El Niño. **Advances in Geophysics**, v. 28, p. 197–215, 1985.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – São José dos Campos: INPE, 1996.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 354-384, 1982.

REPINALDO, H. F. B. **Vórtice ciclônico em altos níveis e corrente de jato do Nordeste Brasileiro em anos de El Niño e La Niña.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Maceió: UFAL, 2010.

RICCE, W. S.; PADRÃO, G.; TRABAQUINI, K.; ALVES, J. R.; REITER, J. R. Estimativas de perdas na agricultura por chuvas excessivas no Alto Vale do Rio Itajaí em 2015. **Agropecu. Catarin.**, v. 29, n. 2, p.42-45, 2016.

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para geografia: um guia para o estudante.** Porto Alegre: Bookman, 2012.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606–1626, 1987.

RSTUDIO TEAM. **RStudio: integrated development for R.** RStudio. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>. Acesso em 05 de agosto de 2021.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, p. 73-84, 2014.

SILVA, C.; QUINTAS, M.; CENTENO, J. Estudo do método de interpolação do Inverso do Quadrado da Distância a uma Potência. **II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007, p. 57-62.

TRENBERTH, K. E. Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 102, n. 433, p. 639–653, 1976.

\_\_\_\_\_. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística: atualização da tecnologia**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

VAZ, A. P.; RAMOS, S. M.; FROEHNER, S. J. Bacia hidrográfica do rio Balsas: diagnóstico físico e avaliação qualitativa de áreas suscetíveis à erosão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, 2021, p. 77-87.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 2, p. 63-78, 1999.

YAMAMOTO, J. K. **Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais**. São Paulo: Gráfica Paulos, 2020.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Editora Alínea, 2013.

## **Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/CNPq), pelo apoio e incentivo à pesquisa de doutorado, com bolsa de estudo, da qual derivou este artigo.

Submetido em: dezembro de 2024

Aceito em: janeiro de 2025