



ANÁLISE DE SECA HIDROCLIMÁTICA A PARTIR DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO À LESTE DA BACIA DO RIO PARANAÍBA

Analysis of hydroclimatic drought from the Standardized Precipitation Index in the east of the Paranaíba River Basin

Diego Narciso Buarque Pereira

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP
diego.narciso@usp.br

Derick Martins Borges de Moura

Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Iporá - UEG
derick@ueg.br

Valdir Specian

Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Iporá - UEG
valdir.specian@ueg.br

Washington Silva Alves

Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Iporá - UEG
washington.alves@ueg.br

Elis Dener Lima Alves

Instituto Federal Goiano – IFGOIANO/Ceres
elis.alves@ifgoiano.edu.br

Plácido Fabrício Silva Melo Buarque

Instituto Federal Goiano – IFGOIANO/Ceres
Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Iporá - UEG
placido_buarque@alumni.usp.br

Resumo: A seca refere-se a um fenômeno meteorológico que causa insuficiente umidade no solo. Este fenômeno pode causar impactos ao equilíbrio hídrico na agricultura, abastecimento e geração de energia devido às baixas precipitações a longo prazo. Com a crescente escassez de recursos hídricos nas últimas décadas, o enfrentamento da seca tornou-se um desafio de preocupação global. Nesse sentido, o presente estudo apresenta uma análise da variabilidade hidroclimática utilizando o Índice de Precipitação Padronizado (IPP), a fim de caracterizar os períodos de secas em uma série histórica de precipitação à leste da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. O IPP é um método de análise da variabilidade das chuvas, sendo muito utilizado para qualificar as condições de seca em uma determinada região. Além disso, o IPP reflete as mudanças nas características de eventos extremos de seca em diferentes escalas de tempo e espaço. Os nossos resultados mostram dois períodos marcantes de déficit hídrico durante os anos de 1945-55 e partir do ano de 1986. Além disso, foram identificado e classificados os eventos anômalos de seca para o município de Estrela do Sul (MG). Ademais, os resultados revelam que a frequência dos eventos secos foi maior nos últimos 30 anos. Portanto, os resultados deste estudo são instrutivos e práticos para a avaliação de períodos de secas, sendo assim indispensável no planejamento e tomadas de decisões pelos governantes de gestão dos recursos hídricos municipal. Com isso, o IPP tem mostrado ser uma ferramenta consistente e de fácil aplicação na caracterização de tipos de secas em estudos de variabilidade hidroclimática.

Palavras-chave: estiagem; eventos extremos; precipitação; Bacia do Paraná

Abstract: Drought refers to a meteorological phenomenon that causes insufficient moisture in the soil. This phenomenon can impact the water balance in agriculture, supply and energy generation due to low rainfall in the

Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais ISSN 2238-3565

v.12, n. 1, p. 108 – 122, janeiro/junho, 2023.

long term. With the growing scarcity of water resources in recent decades, coping with drought has become a challenge of global concern. In this sense, the present study presents an analysis of the hydroclimatic variability using the Standardized Precipitation Index (IPP), in order to characterize the periods of drought in a historical series of precipitation to the east of the hydrographic basin of the Paranaíba River. The IPP is a method for analyzing the variability of rainfall, which is widely used to qualify drought conditions in a given region. Furthermore, the IPP reflects changes in the characteristics of extreme drought events at different time and space scales. Our results show two marked periods of water deficit during the years 1945-55 and from 1986 onwards. Furthermore, anomalous drought events were identified and classified for the municipality of Estrela do Sul (MG). Furthermore, the results show that the frequency of dry events has been higher in the last 30 years. Therefore, the results of this study are instructive and practical for the evaluation of periods of drought, thus being indispensable in planning and decision-making by government officials in the management of municipal water resources. As a result, the IPP has proven to be a consistent and easy-to-apply tool for characterizing types of droughts in studies of hydroclimatic variability.

Keywords: drought; extreme events; precipitation; Paraná Basin

INTRODUÇÃO

Os eventos de secas são considerados desastres naturais enfrentados pela humanidade desde a antiguidade (WILHITE; GLANTZ, 1985). Com o aquecimento recente do clima global, a frequência e a intensidade dos eventos de secas aumentaram gradualmente nas últimas décadas, isto impactou seriamente o sistema de abastecimento, irrigação e energético de sociedades de várias parte do mundo, incluindo o Brasil (MARENGO et al., 2020).

Segundo Dai (2011a, b), a seca meteorológica é caracterizada por valores de precipitação abaixo da média durante um intervalo de anos. Assim, a seca geralmente ocorre quando uma área não recebe precipitação suficiente por um longo período de tempo, levando à escassez de água no solo.

Os eventos de secas podem ser mensurados por diversos índices de secas, por exemplo, o *Palmer Drought Severity Index* (PDSI), *Standardized Precipitation Index* (SPI) e *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI) (VICENTE-SERRANO et al., 2015). O *Standardized Precipitation Index* (SPI) (MCKEE et al., 1993, 1995) traduzido para o português como Índice de Precipitação Padronizado (IPP) é um índice de seca baseado apenas na precipitação. Ademais, é tão eficaz na análise de períodos secos, quanto na análise de períodos chuvosos. Para o cálculo do IPP, utiliza-se a série temporal de precipitação que é ajustada a uma distribuição normal, de modo que o IPP médio seja igual a zero, sendo os valores de IPP positivos indicativo de precipitação maior que a mediana e valores negativos indicativo de precipitação menor que a mediana (EDWARDS; MCKEE, 1997). A partir disso, McKee et al., (1993) estabeleceu critérios para classificar a intensidade dos eventos de seca, assim um

evento de seca ocorre sempre que o IPP é continuamente negativo e atinge uma intensidade de $-1,0\sigma$ ou menos.

Em uma região onde a seca ocorre continuamente de forma moderada ou em curto período de forma severa ou extrema acarreta crise hídrica com sérios riscos de desabastecimento de água para população, podendo afetar a produção de energia pelas hidroelétricas e comprometer a segurança alimentar devido a falta de irrigação na agropecuária (MARENGO et al., 2020). Com isso, justifica-se realizar estudos de séries históricas meteorológicas na análise da variabilidade hidroclimática para entender a frequência e intensidade dos fenômenos de estiagem ocorridos no passado até o presente, a fim de adaptar e mitigar as recentes mudanças climáticas.

Assim, análise de seca hidroclimática é uma importante ferramenta que deve ser usada no plano de gestão de bacias hidrográficas, além de ser necessária para subsidiar as tomadas de decisões pelos governantes no gerenciamento dos recursos hídricos. Com isso, o IPP tem mostrado ser uma ferramenta consistente e de fácil aplicação na caracterização de tipos de secas em estudos de variabilidade hidroclimática.

Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da variabilidade hidroclimática utilizando o Índice de Precipitação Padronizado (IPP), a fim de caracterizar os períodos de secas durante o semestre úmido em uma série histórica de precipitação à leste da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba no sul de Minas Gerais. Além disso, pretende-se identificar a frequência e intensidade dos eventos de seca desta região.

MATERIAIS E MÉTODOS

A obtenção dos dados meteorológicos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa foi realizada por meio de um minucioso procedimento de busca das estações meteorológicas com as melhores séries de dados, aliado a um processo de verificação e avaliação dos registros pluviométricos disponíveis na região leste da bacia do Paranaíba. Essa análise de avaliação considerou os seguintes aspectos da série: distribuição espacial das estações; período de abrangência dos dados; registros mensais e diários; nível de consistência dos registros; dados mais completos e contínuos; menor densidade de falhas.

A estação pluviométrica selecionada faz parte do Banco de Dados da Agência Nacional de Águas, disponíveis na plataforma *HidroWeb*. As informações da série histórica meteorológica são apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Informações do posto pluviométrico utilizado neste trabalho.

DADOS DA ESTAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Nome da estação	ESTRELA DO SUL
Código	1847001
Bacia	RIO PARANÁ
SubBacia	RIO PARANAÍBA
Estado	MINAS GERAIS
Município	ESTRELA DO SUL
Resp./Operadora	ANA/CPRM
Período	1945 – 2016
Latitude	18°44'17"S
Longitude	47°41'24"W
Altitude (m)	461

A análise de consistência dos dados foi realizada por meio do método conhecido como curva de dupla-massa. A curva de dupla-massa, que é frequentemente utilizada em climatologia e utilizada para detecção de homogeneidade de dados, é construída pelo traçado cumulativo do valor de um elemento em relação ao valor cumulativo do segundo elemento. A localização da estação meteorológica encontra-se na Figura 1.

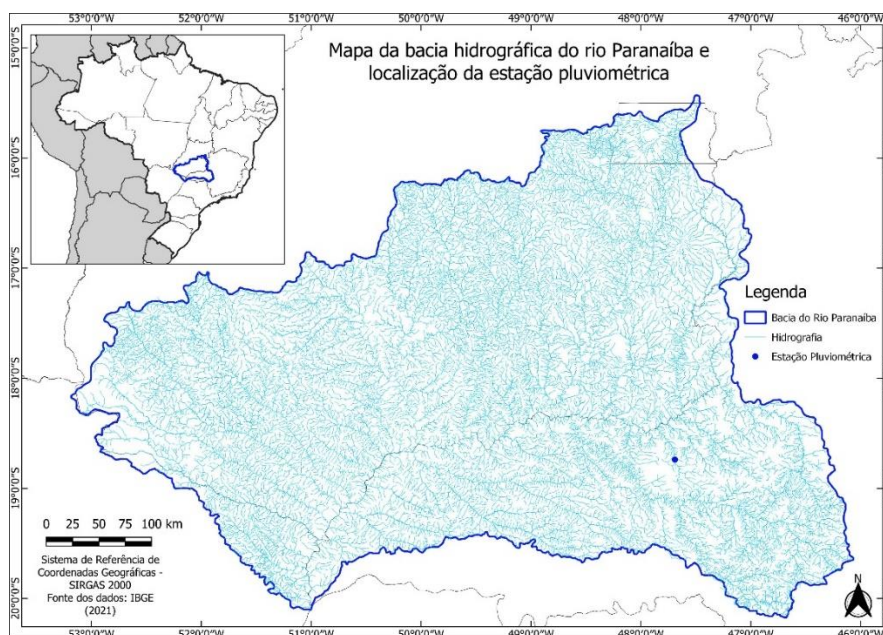


Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do Paranaíba e localização da estação pluviométrica da área de estudo. Fonte: Adaptado de Silva e Ferreira, 2015.

O Índice de Precipitação Padronizado (IPP), introduzido pela primeira vez por McKee et al. (1993), é um indicador meteorológico de seca bastante utilizado, graças à sua flexibilidade e facilidade de uso (WMO, 2012). O IPP padroniza o desvio padrão da precipitação acumulada em escala mesal a interanual. Com isso, o IPP é geralmente usado para monitorar a ocorrência

de secas meteorológicas em períodos de acumulação de médio prazo (por exemplo, 3 a 6 meses) e longo prazo (por exemplo, 12 a 24 meses). O IPP é frequentemente usado na análise de secas agrícolas e meteorológicas.

O IPP foi realizado no programa spi.exe disponível no site <https://digital.csic.es/handle/10261/10006> seguindo o tutorial disponibilizado neste mesmo site (VICENTE-SERRANO et al., 2015). O IPP foi projetado para quantificar o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo. Essas escalas de tempo refletem o impacto da seca sobre a disponibilidade dos diversos recursos hídricos. Condições de umidade do solo respondem a anomalias de precipitação em uma escala relativamente curta. Águas subterrâneas, vazões e armazenamento do reservatório refletem as anomalias de precipitação de longo prazo. Valores positivos do IPP indicam maior precipitação em relação à média e valores negativos do IPP indicam menor precipitação que a média.

Para dados climatológicos de uma amostra com média $\bar{X}$ e desvio padrão S , o IPP de um dado x , é:

$$IPP = \frac{(x - \bar{X})}{S}$$

O IPP mede a distância de um ponto do dado a partir da média em termos de desvio padrão. Esse procedimento também pode ser chamado de padronização. O conjunto de dados padronizados tem média 0 e os desvio padrão são os valores acima ou abaixo da média, além de conserva as propriedades de forma do conjunto de dados original.

O desvio padrão S de uma amostra é calculado por

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

A Tabela 2 apresenta o sistema de classificação de eventos chuvosos, normal e secos que variam de acordo com os valores do IPP, os quais indicam a intensidade dos eventos. Este método de classificação é sensível à mudança da intensidade de eventos chuvosos ou secos, por isso pode ser aplicável ao monitoramento de eventos extremos na avaliação das condições climáticas em diferentes escalas temporais. Estudos recentes acerca do IPP é utilizado em monitoramento de secas de diversas regiões do mundo para análise da intensidade e frequência de eventos anômalos (BLAIN et al., 2018; YU et al., 2014; KIM; PARK; LEE 2014).

Tabela 2: Valores e classificações do Índice de Precipitação Padronizado (IPP).

VALORES DO IPP	CATEGORIA DO EVENTO
> 2,0	Chuvoso extremo
1,5 – 1,99	Chuvoso severo
1,0 – 1,49	Chuvoso moderado
0,99 – -0,99	Próximo ao normal
-1,0 – -1,49	Seco moderado
-1,5 – -1,99	Seco severo
< -2,0	Seco extremo

A análise espectral foi realizada no software PAST v.2.7 (HAMMER et al., 2001) através da análise de REDFIT, o qual é uma transformada de *Fourier* que utiliza o modelo de autorregressão e modelos não paramétricos (SCHULZ; MUDELSEE, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estação meteorológica de Estrela do Sul (MG) caracteriza-se por apresentar distribuição de precipitação semestral marcado por dois períodos, são eles: o período seco, que ocorre entre os meses de abril a setembro, enquanto o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a março nesta região ao leste da Bacia do Paranaíba. A Figura 2 apresenta o regime de precipitação mensal entre os anos de 1945-2015 para a série estudada.

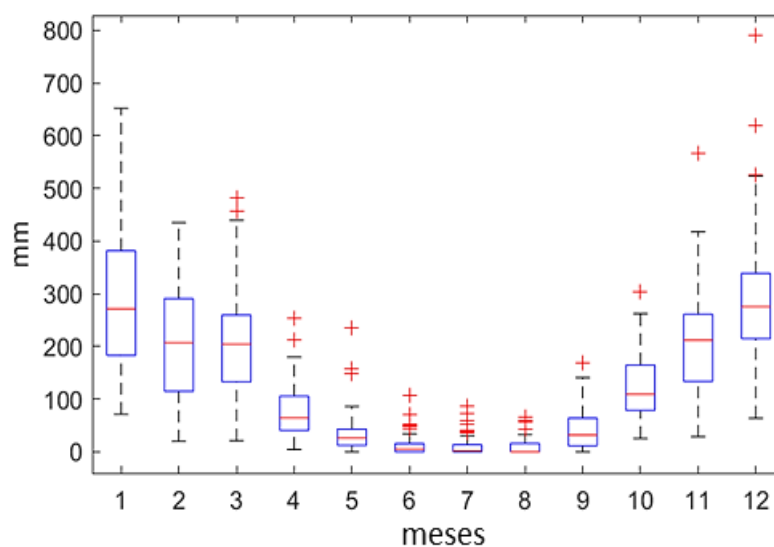


Figura 2: Boxplot de distribuição da precipitação mensal entre os anos de 1945-2015 para a estação meteorológica de Estrela do Sul (MG).

A Figura 3 apresenta o gráfico de totais precipitados médios do anual para o posto pluviométrico de Estrela do Sul (MG) entre os anos de 1945 – 2015.

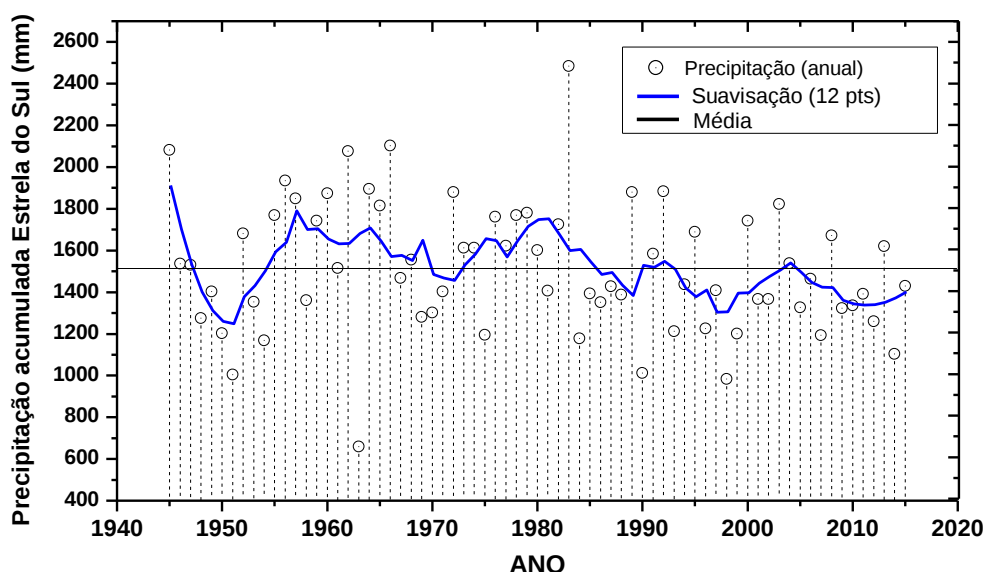


Figura 3: Pluviosidade para o semestre hidrológico (outubro-março) da estação meteorológica de Estrela do Sul (MG) (18°44'S, 47°41'O) para o período de 1945 a 2015. A linha preta representa a média. A linha azul representa a curva de suavização, utilizando uma função polinomial de 2º grau.

A precipitação média entre os anos de 1945-2015 é 1.514 mm com desvio padrão de 246 mm (variância igual a $5,8 \times 10^4 \text{ mm}^2$) e coeficiente de variação igual a 0,16. Ao longo da série temporal, percebe-se uma significativa variância positiva em relação a média entre os anos de 1955-1985 e uma tendência de decréscimo na precipitação a partir de 1986 (Figura 3). Com isso, observa-se um período seco prolongado evidente nos últimos 30 anos nesta região. Estes resultados estão de acordo com Pereira (2017) que analisou dados pluviométricos na região da bacia do rio Paraná.

No século XX, a partir da metade da década de 80, últimos 30 anos, a série de precipitação de Estrela do Sul diminuiu o valor médio para 1.425 mm, quando comparado com o intervalo de 30 anos anterior entre os anos de 1955-1985 quando a precipitação média era de 1.582 mm (Figura 3). Isso, significa uma mudança de fase no regime hidrológico com déficit hídrico de 157 mm entre os anos de 1986 – 2015 na região leste da bacia do Paranaíba. Na porção oeste da bacia do Paranaíba, na sub-bacia do Rio Verde, também foram observadas uma tendência de decréscimo nos valores médios anuais de chuva (22%) e vazão (28%) no período de 2010-2020 (SOUSA; MOURA, 2022).

A Figura 3 também apresenta a série temporal suavizada interpolando valores a cada 12 anos. Pode-se perceber uma variação na precipitação na oscilação entre sequências de anos

úmidos (excesso de precipitação) e anos secos (déficit de precipitação). Com isso, é possível visualizar as variações interdecenal da precipitação entre os anos de 1945-2015.

O Índice de Precipitação Padronizado (IPP) para a série de precipitação de Estrela do Sul é apresentado na Figura 4. Nesta série histórica padronizada, percebe-se valores acima de 1σ e abaixo de -1σ , o que representa eventos anômalos de precipitação, respectivamente, chuvosos e secos (Figura 4).

Os valores de IPP revelam, conforme a Tabela 2, a ocorrência de 5 eventos chuvosos moderados nos anos de 1945, 1955, 1972, 1978 e 1981; 3 eventos chuvosos severos nos anos de 1960, 1965 e 1982; e 1 eventos extremos de chuva nos anos de 1956, (Figura 4; Tabela 3). Enquanto, os eventos anômalos de seca ocorreram: 3 eventos secos moderados nos anos de 1953, 2000 e 2009; 4 eventos de seca severa nos anos de 1949, 1970, 1985 e 1998 (Figura 4; Tabela 3). Assim, os eventos anômalos chuvosos estão concentrados entre os anos de 1945 – 1982 e caracterizaram-se por ocorrerem em maior quantidade, maior intensidade e conter evento bianual, enquanto os eventos anômalos secos foram registrados ao longo da série entre os anos de 1949 – 2009 que ocorreram em menor quantidade e intensidade (Figura 4).

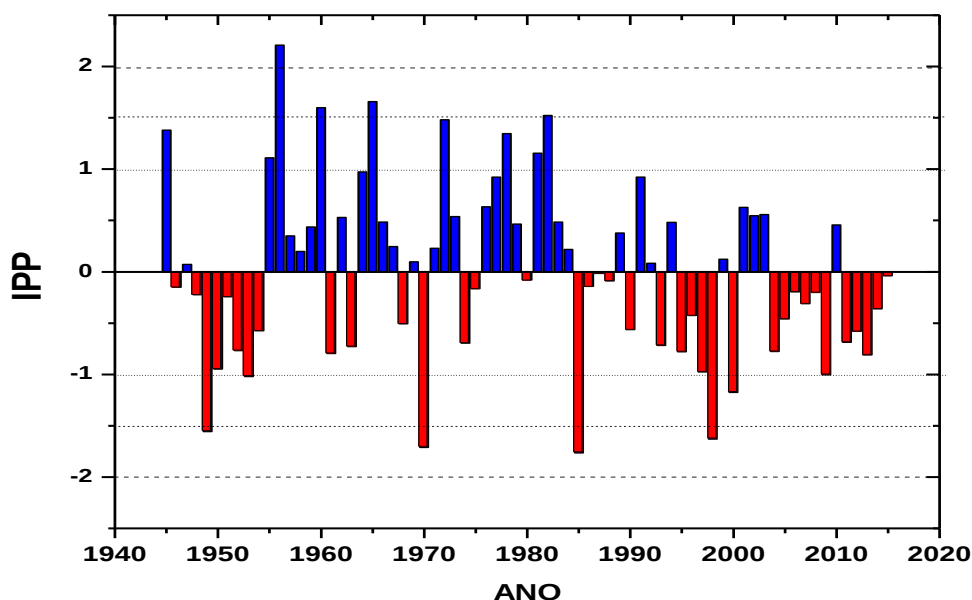


Figura 4: Índice de Precipitação Padronizada (IPP) anual da estação de Estrela do Sul (MG) entre os anos de 1945 a 2015. A linha horizontal tracejada indica eventos moderados até o intervalo de 1.5σ . A linha horizontal tracejada indica eventos severos até o intervalo de 2σ . A linha horizontal tracejada a partir de 2σ é indicado eventos extremos.

Os eventos registrados no IPP pode apresentar valores diferentes em relação ao volume de precipitação anual quando analisado na Figura 3, por exemplo, o maior evento extremo chuvoso foi registrado no ano de 1956 e apresentou um total de 1.935 mm de precipitação,

enquanto que o ano mais chuvoso ocorreu em 1983 com 2.184 mm. Isto ocorre porque a análise do IPP realiza uma ponderação mensal da distribuição de chuva ao longo do ano, sendo mais relevante meses com maior volume de chuva em relação a quantidade anual final de chuva. Assim, um ano que possui alto valor mensal de chuva e menor volume anual tem maior peso em comparação com ano contendo menores volumes de chuvas ao longo de alguns meses e maior volume acumulado anual. Com isso, o IPP é considerado um bom índice para classificar eventos anômalos de precipitação.

Tabela 3: Classificação, identificação e frequência dos eventos anômalos de precipitação da Estação Estrela do Sul (MG) entre os anos de 1945-2015.

IPP	Categoria do evento	Nº de eventos nos últimos 70 anos	Frequência de eventos anômalos
> 2,0	Chuvoso extremo	1	1 em 70 anos
1,5 – 1,99	Chuvoso severo	3	1 em 23,3 anos
1,0 – 1,49	Chuvoso moderado	5	1 em 14 anos
-1,0 – -1,49	Seco moderado	3	1 em 23,3 anos
-1,5 – -1,99	Seco severo	4	1 em 17,5 anos
< -2,0	Seco extremo	0	-
> 2,0 – < -2,0	Extremo	1	1 em 70 anos
(-) 1,5 – (-) 1,99	Severo	7	1 em 10 anos
(-) 1,0 – (-) 1,49	Moderado	8	1 em 8,7 anos
0,5 - 0,99 – -0,5 - 0,99	Normal	24	1 em 2,9 anos

A partir de 1985, foram registrados 21 anos com valores abaixo da média (73% do tempo). A soma dessas anomalias de precipitação resultou em aproximadamente 13,7 desvios acumulados, isso significa uma diminuição acima de 150 mm em média de precipitação anual a menos na região da estação meteorológica analisada.

Nos últimos 12 anos (2004-2015) ocorreram 11 desvios negativos (92% do tempo). Isso significa 5,4 desvios no período, o que representa uma diminuição de 189 mm de precipitação a menos por ano na região do leste da bacia do Paranaíba.

Além do mais, é possível destacar alguns eventos anômalos positivos do IPP, por exemplo, o ano de 1957 e 1982 que estão relacionados à eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS) (GRIMM; TEDESCHI, 2009). Por outro lado, os eventos recentes de anomalias negativas do IPP no município de Estrela do Sul são coerentes com a mudança para a fase “fria” da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) e Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA), além da sequência de eventos de La Niña a partir dos anos 2000 (BUARQUE et al., 2019).

De acordo com Siqueira e Neri (2017) que analisaram os valores do IPP para todo o estado de São Paulo em um período de 6, 9 e 12 meses, de modo a quantificar os maiores e menores eventos de seca, durante um período de 40 anos. O Índice Padronizado de Precipitação se mostrou uma ferramenta consistente para o estudo de seca no estado de São Paulo, respondendo bem a variabilidade da chuva na área de estudo. As respostas para evento ENOS foi consistente com a variabilidade da chuva nessa área de estudo, ou seja, quando ocorre a fase quente no oceano Pacífico Equatorial (El Niño), chove mais no estado de São Paulo. Portanto, essa área se torna mais úmida e o inverso ocorre na fase fria do oceano Pacífico (SIQUEIRA; NERI, 2017).

Na Tabela 2 também é possível observar a frequência de eventos anômalos de precipitação, os quais os eventos chuvosos moderados ocorreram 1 a cada 14 anos; os eventos chuvosos severos ocorreram aproximadamente 1 a cada 23 anos; e os eventos chuvosos extremos ocorreram 1 em 70 anos. Por outro lado, os eventos secos moderados ocorreram aproximadamente 1 a cada 23 anos, enquanto que os eventos secos severos foram registrados 1 a cada 17 anos (Tabela 2).

A análise espectral transformada de *Fourier* também revelaram significância de ambas as frequências positivas e negativas da série histórica, com destaque para as maiores energias correspondentes a 2,2, 2,5 e 11,8 anos (Figura 5). A frequência de 2,2 e 2,5 anos é representada pelos valores entre 0,5 a 0,99 e -0,5 a -0,99 do IPP, que corresponde a 24 eventos dentro da normalidade de variação da série, sendo 9 eventos positivos de precipitação e 15 eventos negativos de precipitação (Tabela 3).

A análise espectral consiste em analisar a magnitude (intensidade) e frequência de eventos que ocorrem em determinados períodos de tempo, por exemplos, os movimentos cíclicos na série temporal (SCHULZ; MUDELSEE, 2002).

A análise espectral também destaca uma outra frequência de maior energia que corresponde a 11,8 anos (Figura 5). Esta frequência está associada aos valores de (-) 1,5 – (-) 1,99 do IPP, correspondente a 7 eventos severos chuvosos e secos que podem ocorrer 1 a cada 10 anos (Tabela 3). Com isso, as análises do IPP e espectral revelam que um evento chuvoso ou seco severo pode ocorrer entre 10 e 11,8 anos, aproximadamente. Assim, a maior energia atribuída a frequência de 11,8 anos pode ser explicada devido a quantidade de eventos e aos valores altos de IPP, os quais dominam a maior variabilidade da série temporal da estação de Estrela do Sul. Além disso, a frequência de 69 anos apresentou-se significativa para 80% e deve ser associado ao evento chuvoso extremo com ocorrência de 1 em 70 anos (Figura 4 e Tabela 3).

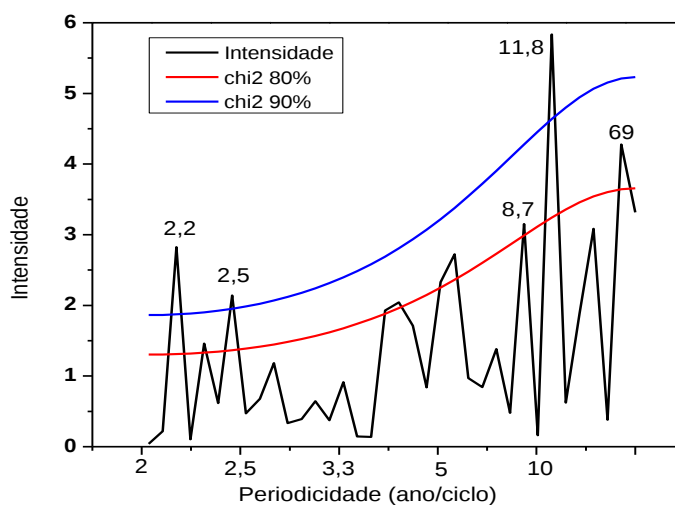


Figura 5. Análise espectral pelo método de REDFIT realizada na precipitação semestral (ONDJFM) entre os anos de 1945 – 2015 na estação de Estrela do Sul (MG).

Blain et al., (2018) corroboram que as séries temporais de chuvas utilizando o IPP no estado do Espírito Santo podem ser usadas no monitoramento dos déficits e excessos de precipitação, potencializando o uso do IPP no monitoramento de condições de seca. Esta citação ainda mostra que a principal característica das séries do IPP é sua grande variabilidade espaço-temporal. Isso indica que, em uma mesma região, meses extremamente secos podem ser precedidos e seguidos de meses úmidos ou normais, e distintos casos de seca podem ocorrer de forma aleatória entre as localidades, em um mesmo período.

Em algumas regiões a análise de secas utilizando o IPP à longo prazo mostra-se promissora devido a alta correlação entre o desvio padronizado e o armazenamento de água no solo (CAMMALLERI et al., 2019). Com isso, o índice de precipitação pode se tornar uma medida confiável de seca hidrológica de longo prazo.

Liu et al., (2021) usaram o IPP para investigar as tendências de seca em uma região da China com base nas características geomorfológicas. A área é composta principalmente de planalto, montanha, colina e planície. Os autores encontraram diferenças significativas nas características da seca por meio do IPP em algumas regiões e períodos de tempo. Informações sobre as características da seca em diferentes áreas geomorfológicas, podem ser úteis para construir uma estratégia de precisão no controle de seca. Assim como, fortalecer a construção de infraestruturas de conservação de água em terras agrícolas regionalmente, tecnologias de economia de água em terras agrícolas e ajustar o planejamento de plantio agrícola periodicamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, concluímos que a análise da série histórica de precipitação de Estrela do Sul permitiu analisar a variabilidade hidroclimática no município de Estrela do Sul. Por meio desta análise foi possível verificar a persistência de um período multidecadal de déficit hídrico a partir de 1986.

Além disso, por meio do Índice Padronizado de Precipitação (IPP) foi possível identificar e classificar os eventos anômalos secos e chuvosos na área de estudos. Destaca-se o elevado número de eventos abaixo da média (22 eventos) ocorridos nos últimos 70 anos, sendo 2 eventos de seca severos e 2 moderados marcados nos últimos 25 anos. Este fato, de recentes anomalias negativas do IPP no município de Estrela do Sul pode estar associado aos modos climáticos de ODP ou OMA de ciclo multidecenal de 20-30 anos. Além disso, outros fatores podem agravar este quadro diante de recentes mudanças climáticas, aquecimento global e mudanças no uso da terra de ação antropogênica.

Ademais, a frequência de 10 a 11,8 anos correspondente aos eventos chuvosos e secos normais são dominantes ao longo da série, com destaque para maior quantidade de valores abaixo da média associados a períodos menos chuvosos no município de Estrela do Sul.

Os resultados apresentados e a aplicação de um exemplo prático, ilustra como o IPP é de fácil aplicação, visualização e interpretação. Os resultados podem servir de referência e serem úteis para gestores no aprimoramento frente as especificidades na prevenção de secas. Por ser uma ferramenta de estimativa em escalas de tempo variada, pode ser amplamente utilizado no setor de planejamento agrícola, urbano, abastecimento e energético.

O resultados dos eventos extremos, tanto de excesso quanto de escassez da precipitação pluvial, são de grande relevância para tentar evitar os desastres de enchentes e secas; e crises hídricas e energéticas para as populações.

Esse estudo representa uma contribuição importante para trabalhos futuros de monitoramento de variabilidade hidroclimática em eventos extremos, uma vez que possui relativa simplicidade no tratamento de dados para realizar o IPP em comparação com outros métodos.

REFERÊNCIAS

- BLAIN, G. C.; DE AVILA, A. M. H.; PEREIRA, V. R. Using the normality assumption to calculate probability-based standardized drought indices: selection criteria with emphases on typical events. **International journal of climatology**, v. 38, p. e418-e436, 2018.
- BUARQUE, P. F. S. M. **Variabilidade paleoclimática do sistema de Monção Sul-Americano no Centro-Leste do Brasil durante os anos de 1255-2016 (CE) a partir de registros em estalagmites e troncos de árvores**. 170 f. Tese (Doutorado em Geoquímica dos Processo Exógenos) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) 2019.
- CAMMALLERI, C.; BARBOSA, P.; VOGT, J. V. Analysing the relationship between multiple-timescale SPI and GRACE terrestrial water storage in the framework of drought monitoring. **Water**, v. 11, n. 8, p. 1672, 2019.
- DAI, A. Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, n. D12, 2011a.
- DAI, A. Drought under global warming: a review. **WIREs Climate Change**, 2, 45-65. 2011b.
- EDWARDS, D. C.; MCKEE, T. B. **Characteristics of 20 th century drought in the United States at multiple time scales**. Fort Collins: Colorado State University, 1997.
- HAMMER, O. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontol electron**, v. 4, p. 9, 2001.
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.
- KIM, C. J.; PARK, M. J.; LEE, J. H. Analysis of climate change impacts on the spatial and frequency patterns of drought using a potential drought hazard mapping approach. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 1, p. 61-80, 2014.
- LIU, C. et al. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1280, 2021.
- MARENGO, J. A., CUNHA, A. P. M. A., NOBRE, C. A., RIBEIRO NETO, G. G., MAGALHAES, A. R., TORRES, R. R., SAMPAIO, G., ALEXANDRE, F., ALVES, L. M., CUARTAS, L. A., DEUSDARÁ, K. R. L.; ÁLVALA, R. C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 C. **Natural Hazards**, v. 103, p. 2589-2611, 2020.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17–22 January. **American Meteorological Society**: Boston, MA, USA, 1993.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. 1995: Drought monitoring with multiple timescales. In: Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology, Dallas, Texas, 15–20 January. **Boston American Meteorological Society**, 233–236, 1995.

PEREIRA, Diego Narciso Buarque. **Variabilidade hidroclimática e o Ciclo Nodal Lunar: estudo de séries de precipitação da região hidrográfica do Paraná**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2017.

SCHULZ, M.; MUDELSEE, M. REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. **Computers & Geosciences**, v. 28, n. 3, p. 421-426, 2002.

SILVA, M. M.; FERREIRA, V. O. Duração da estação chuvosa e ocorrência de veranicos na Bacia do Rio Paranaíba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 100-115, 2015.

SIQUEIRA, B.; NERY, J.T. Análise do Índice Padronizado de Precipitação para o Estado de São Paulo (Analysis of the Standardized Precipitation Index for the State of São Paulo). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1775-1783, 2017.

SOUSA, F. A.; MOURA, D. M. B. Evapotranspiração potencial (ETp) e sua influência na vazão de rios do Cerrado Brasileiro. **Elisée, Rev. Geo. UEG – Goiás**, v.11, n.1, e111222, jan. /jun. 2022.

YU, M. et al. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951–2010?. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 3, p. 545-558, 2014.

VICENTE-SERRANO, S. M., VAN DER SCHRIER, G., BEGUERÍA, S., AZORIN-MOLINA, C.; LOPEZ-MORENO, J.-I. Contribution of precipitation and reference evapotranspiration to drought indices under different climates. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 42-54, 2015.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water international**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

WMO, World Meteorological Organization. Standardized Precipitation Index User Guide; Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D., Eds.; WMO-No. 1090; **World Meteorological Organization**: Geneva, Switzerland, 2012.

SOBRE OS AUTORES

DIEGO NARCISO BUARQUE PEREIRA

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Mestre e Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP. Tem experiência e atua nas áreas Hidroclimatológica, Planejamento de Recursos Hídricos, Mudanças Climáticas, Reconstrução Climática, Ciências de Dados, Saneamento, Geoprocessamento, Impactos Ambientais e Remediação de Áreas Degradadas.

DERICK MARTINS BORGES DE MOURA

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás. Mestre e Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Goiás. Técnico em Mineração pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Tem experiência e atua nas áreas de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Geotecnologias, Bacias Hidrográficas, Recursos Hídricos, Análise Ambiental Integrada, Prospecção Mineral e Geológica, Prospecção e Mapeamento de Atrativos Turísticos

Naturais. Atualmente trabalha como Professor substituto e Técnico Ambiental efetivo na Universidade Estadual de Goiás.

VALDIR SPECIAN

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá - UEM, Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP e Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Jataí – UFJ. É professor da Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Iporá, sendo responsável pelo Laboratório de Estudos do Ambiente e do Território – LEAT/UEG.

WASHINGTON SILVA ALVES

Mestre em Geografia pela UFG - Regional de Jataí (2014), Especialista em Gestão e Conservação do Meio Ambiente pela FMB (Faculdades Montes Belos) em 2010, graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (2008). Atualmente é professor e coordenador do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Campus de Iporá. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Geografia Física atuando principalmente nos seguintes temas: Climatologia Geográfica e Hidrogeografia. Atualmente também coordena e desenvolve pesquisas na área de Clima Urbano, Clima Rural, Estudos sobre Chuva e Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas.

ELIS DENER LIMA ALVES

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás. Mestre em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso. Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo. Pós-Doutor em Geografia Física pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres.

PLÁCIDO FABRÍCIO SILVA MELO BUARQUE

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Especialista em Análise Ambiental: Geografia pela UFAL e especialista em Direito Ambiental e Urbanístico pela Faculdade Educamais. Mestre em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Botucatu/UNESP. Doutor em Geoquímica e geotectônica pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – IGc/USP. Pós-doutorando em Geociências pela Universidade Federal Fluminense. Foi docente temporário do curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Unidade Universitária de Iporá durante 2000-2021. Atualmente, desenvolve projeto de pesquisa DCR sobre Variabilidade hidroclimática das secas na região Centro-oeste de Goiás durante o último século a partir de registros em espeleotemas financiado pela FAPEG-CNPq. Atua nas linhas de pesquisas: 1) Paleoclima do Brasil central durante o último milênio; 2) Botânica aplicada à biometeorologia e dendrocronologia; 3) Monitoramento hidrogeoquímico ambiental e 4) Mudanças climáticas atuais.