

AValiação DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA SUB-BACIA 21-TOCANTINS, ENTRE RIOS PRETO E PARANÁ NO SUDESTE AMAZÔNICO

*EVALUATION OF VARIABILITY IN RAINFALL IN THE 21-TOCANTINS SUB-BASIN,
BETWEEN THE PRETO AND PARANÁ RIVERS IN THE SOUTHEAST AMAZON*

*EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE LA
SUBCUENCA 21-TOCANTINS, ENTRE LOS RÍOS PRETO Y PARANÁ, EN EL SURESTE
AMAZÓNICO*

André dos Santos Araújo¹
Carlos Eduardo Moraes Jorge²
Glauber Epifanio Loureiro³

Resumo

Os elementos climáticos em qualquer região tropical desempenham um papel determinante, sendo a precipitação um dos fatores primordiais, uma vez que sua presença pode influenciar diretamente no desempenho dos demais componentes que constituem a qualidade ambiental. Nesse contexto, o objetivo desse estudo é avaliar a variabilidade pluviométrica na sub-bacia 21, pertencente à bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, por meio de análises do comportamento mensal e anual da precipitação, identificando a variabilidade dos períodos secos e chuvosos da área estudada em uma série de 30 anos (1988-2017). A metodologia empregada baseou-se em uma abordagem quantitativa, sob uma perspectiva descritiva. Os conjuntos de dados pluviométricos foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). Os resultados obtidos indicaram uma significativa redução nas precipitações durante os meses compreendidos entre maio e setembro. Com a aplicação do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica e a análise dos registros de precipitação, pôde-se constatar a presença de anomalias nos resultados, as quais estiveram associadas à sazonalidade climática e à ocorrência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Isso ficou evidenciado nos anos de 2007, 2015 e 2016, que apresentaram déficits pluviométricos, bem como nos anos de 1988, 1992, 2004 e 2005, que registraram índices pluviométricos elevados. Essas instabilidades impactam de maneira substancial os ecossistemas da região, repercutindo na cadeia produtiva de culturas monocultoras, como a soja e o milho, na temperatura local e no aumento da incidência de vetores de doenças tropicais. Essas consequências, por sua vez, afetam de maneira direta a qualidade ambiental da região em estudo.

Palavras-chave: variabilidade pluviométrica; Amazônia; mudança climática.

Abstract

The climatic elements in any tropical region play a decisive role, with precipitation being one of the main factors, since its presence can directly influence the performance of the other components that constitute environmental quality. In this context, the objective of this study is to evaluate the rainfall variability in sub-basin 21, belonging to the Tocantins-Araguaia watershed, by analyzing the monthly and annual behavior of precipitation and identifying the variability of dry and rainy periods in the studied area in a 30-year series (1988-2017). The methodology employed was based on a quantitative approach from a descriptive perspective. The rainfall data sets were made available by the National Water and Sanitation Agency (Agência Nacional de Águas e Saneamento - ANA). The results obtained indicated a significant reduction in precipitation during the months between May and September. Through the application of the Standardized Index of Pluviometric Drought and the analysis of the precipitation records, it was possible to verify the presence of anomalies in the results, which were associated with

¹ Gestor Ambiental, Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária e Técnico em Controle Ambiental, Universidade do Estado do Pará. Marabá - PA, Brasil. E-mail: andre.araujo@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0242-7337. E-mail: andre.araujoamb@gmail.com

² Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária e Técnico em Controle Ambiental, Universidade do Estado do Pará. Marabá - PA, Brasil. E-mail: andre.jorgeamb@gmail.com. ORCID: 0009-0003-5771-2586. E-mail: carlos.enjorge@aluno.uempa.br

³ Mestre em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Pará. Marabá - PA, Brasil. E-mail: prof.glauber.uempa@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0801-5296. E-mail: prof.glauber.uempa@gmail.com

the climatic seasonality and the occurrence of the phenomenon El Niño-Southern Oscillation (ENSO). This was evidenced in the years 2007, 2015 and 2016, which showed rainfall deficits, as well as in the years 1988, 1992, 2004 and 2005, which recorded high rainfall rates. These instabilities have a substantial impact on the region's ecosystems, affecting the production chain of monoculture crops, such as soy and corn, the local temperature and the increased incidence of vectors of tropical diseases. These consequences, in turn, directly affect the environmental quality of the region under study.

Keywords: pluviometric variability; Amazon; climate change.

Resumen

Los elementos climáticos en cualquier región tropical desempeñan un rol determinante, siendo la precipitación uno de los factores primordiales, una vez que su presencia puede influenciar directamente el desempeño de los demás componentes que constituyen la calidad ambiental. En ese contexto, el objetivo de ese estudio es evaluar la variabilidad pluvial en la subcuenca 21, perteneciente a la cuenca hidrográfica Tocantins-Araguaia, por medio de análisis del comportamiento mensual y anual de la precipitación, identificando la variabilidad de los periodos secos y lluviosos del área estudiada en una serie de 30 años (1988-2017). La metodología empleada se basó en un enfoque cuantitativo, bajo una perspectiva descriptiva. Los conjuntos de datos pluviométricos fueron proporcionados por la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento (ANA). Los resultados obtenidos indicaron una significativa reducción en las precipitaciones durante los meses comprendidos entre mayo y septiembre. Con la aplicación del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica y el análisis de los registros de precipitación, se pudo constatar la presencia de anomalías en los resultados, las cuales estuvieron asociadas a la estacionalidad climática y a la ocurrencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Eso quedó claro en los años 2007, 2015 y 2016, que presentaron déficits pluviométricos, así como en los años de 1988, 1992, 2004 y 2005, que registraron índices pluviométricos elevados. Esas instabilidades impactan de manera considerable los ecosistemas de la región, repercutiendo en la cadena productiva de culturas en régimen de monocultivo, como la soja y el maíz, en la temperatura local y en el aumento de la incidencia de vectores de enfermedades tropicales. Esas consecuencias, por su turno, afectan de manera directa la calidad ambiental de la región en estudio.

Palabras Clave: variabilidad pluviométrica; Amazonia; cambio climático.

1 Introdução

A região Amazônica, é palco da maior biodiversidade do planeta, possuindo um ambiente ecologicamente sensível e marcado por uma forte inter-relação entre seus sistemas naturais e os elementos climáticos que a modelam a qualidade ambiental. Entre esses elementos, a precipitação pluviométrica possui fator determinante, exercendo atribuição vital na preservação e conservação dos ecossistemas, na hidrologia, e na climatologia regional, além de influenciar cotidiano populações que residem na região.

As variabilidades pluviométricas na região amazônica são fenômenos que influenciam diretamente na vazão dos rios, na temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico, na produtividade agrícola e atividades econômicas locais, como demonstram os estudos de Macêdo *et al.* (2013), Limberger e Silva (2016) e Nascimento *et al.* (2021). Nesse sentido, é importante estudar de maneira mais detalhada a precipitação e os seus impactos dentro da sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã, por se tratar de uma área localizada no sudeste amazônico que sofre uma forte influência agrária e energética.

De acordo com Oliveira (2022), o Tocantins atingiu um crescimento de 229,5% no Valor da Produção Agropecuária entre 2010 a 2021, alcançado a colocação de terceiro estado

com maior índice da região Norte. Segundo dados da SEGPLAN (2018), Goiás é o sexto estado com maior valor de produção agrícola, obtendo um valor de R\$ 24,452 bilhões em relação aos outros estados, com 7,6% de participação do total.

A sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã por se localizar dentro da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, detém de um grande potencial hidroelétrico. Segundo a ANA (2016), a região atinge a segunda colocação em potencial hidroenergético instalado em todo o Brasil, com 11.563 MW, cerca de 16% gerado no país e podendo chegar a 25 mil MW. Em vista disso, o objetivo principal desse trabalho é avaliar a variabilidade pluviométrica na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã, pertencente à bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. Isso é possível analisando o comportamento mensal e anual da precipitação, identificando a variabilidade dos períodos secos e chuvosos da área estudada em uma série de 30 anos (1988-2017).

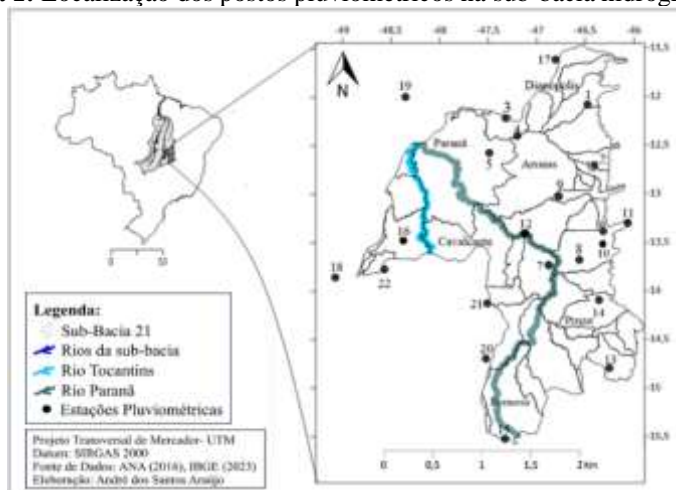
2 Material e métodos

Nesta parte do artigo serão apresentados os materiais que serviram como base e os métodos utilizados para a análise.

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a sub-bacia Hidrográfica Tocantins, entre Rios Preto e Paranã (Figura 1), que está inserida na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, ocupando parte das áreas das regiões Norte e Centro-Oeste do país. A área possui uma extensão territorial de aproximadamente 71,7 Km², abrangendo parte dos estados de Goiás (GO) e Tocantins (TO).

Figura 1: Localização dos postos pluviométricos na sub-bacia hidrográfica 21.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

2.2 Fonte e seleção de dados pluviométricos

No tratamento preliminar dos dados, foi realizada a tabulação de dados pluviométricos e diários, referentes às estações pluviométricas localizadas ao longo da área de estudo, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), no portal Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). Foram selecionadas 20 estações pluviométricas que se encontram listadas no Quadro 1.

Quadro 1: Relação e localização das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.

Item	Código	Estações Pluviométricas	Município	UF	Latitude (S)	Longitude (W)
1	1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	Ponte Alta do Bom Jesus	TO	-12,090800	-46,479400
2	1246001	Aurora do Norte	Aurora do Tocantins	TO	-12,713900	-46,408600
3	1247000	Conceição do Tocantins	Conceição do Tocantins	TO	-12,132551	-47,174001
4	1247002	Rio da Palma	Conceição do Tocantins	TO	-12,415600	-47,199700
5	1247005	Fazenda Santa Rita	Paraná	TO	-12,585000	-47,486700
6	1346000	São Domingos	São Domingos	GO	-13,397500	-46,315800
7	1346001	Nova Roma	Nova Roma	GO	-13,742500	-46,877500
8	1346002	Fazenda Ingazeiro	Estiva	GO	-13,685800	-46,565600
9	1346004	Campos Belos	Campos Belos	GO	-13,036700	-46,776900
10	1346005	São Vicente	São Vicente	GO	-13,550800	-46,467200
11	1346007	Fazenda Prainha	São Domingos	GO	-13,312500	-46,063100
12	1347001	Ponte Paranã	Porto Real	GO	-13,425300	-47,139200
13	1446004	Sítio D'abadia	Sítio D'abadia	GO	-14,803900	-46,253300
14	83332	Posse	Posse	GO	-14,100000	-46,360000
15	83379	Formosa	Formoso	GO	-15,530000	-47,330000
16	1248003	Palmeirópolis	Palmeirópolis	TO	-13,041900	-48,406900
Postos pluviométricos externos utilizados no índice padronizado de estiagem pluviométrica						
17	1146000	Dianópolis	Dianópolis	TO	-11,625300	-46,810600
18	1349000	Estrela do Norte	Estrela do Norte	GO	-13,872500	-49,071400
19	83228	Peixe	Peixe	TO	-12,010000	-48,350000
20	1447002	São João D'aliança	São João D'aliança	GO	-14,707200	-47,523600
21	1447000	Alto Paraíso de Goiás	Alto Paraíso de Goiás	GO	-14,134700	-47,511700
22	1348000	Campinaçu	Campinaçu	GO	-13,790000	-48,566900

Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

A sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã é composta de 16 Estações Pluviométricas, sendo elas: Ponte Alta do Bom Jesus; Aurora do Norte; Conceição do Tocantins; Rio da Palma; Fazenda Santa Rita; São Domingos; Nova Roma; Fazenda Ingazeiro; Campos Belos; São Vicente; Fazenda Prainha; Ponte Paranã; Sítio D'abadia; Posse e Formosa. Para maior amplitude e estabilidade de resultados do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP), foram escolhidas 6 Estações Pluviométricas externas e próximas da área de estudo sendo 3 delas da sub-bacia 22-Tocantins, entre Rios Paranã e Sono, que são: Dianópolis, Estrela do Norte e Peixe. As demais são da Sub-Bacia 20 (Alto Tocantins e Rio Preto), sendo elas: São João D'aliança, Alto Paraíso de Goiás e Campinaçu.

2.3 Identificação de períodos úmidos e secos

Para a avaliação do regime pluviométrico e a caracterização dos períodos secos e úmidos na sub-bacia 21 foi empregada a metodologia do IESP (Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica) por meio do *software SPIGenerator* (2007) produzido pelo Centro Nacional de Mitigação da Seca da Universidade de Nebraska. Os dados foram comparados com as ocorrências dos ENOS (fenômenos El Niño e a La Niña) pelo portal do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Episódios de ENOS são responsáveis, por exemplo, por alterar a quantidade de precipitação pluviométrica, exercendo papel essencial nas variabilidades climáticas regionais e globais (Oliveira *et al.*, 2008). No Brasil, em geral, as secas nas Regiões Norte e Nordeste e o excesso de chuva nas Regiões Sul e Sudeste são atribuídas à ocorrência de El Niño, ao passo que ocorre o contrário em eventos de La Niña (Molion, 2017).

O IESP é de grande relevância por se tratar de um índice que apresenta a variabilidade da precipitação em qualquer área de estudo, desde que ela apresente quantidade suficiente de estações meteorológicas, bem como, dados consistentes para que se possa obter bons resultados (Siqueira; Nery, 2015).

3 Resultados e discussão

As tabelas, gráficos e mapas a seguir apresentam: as médias pluviométricas mensais e anuais; o número de dias chuvosos; o acumulado de chuvas durante o período de estiagem e chuvoso; valores de dispersão entre as médias mensais totais; e análises dos períodos úmidos e de déficits de precipitação na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã. Essas tabelas subsidiam a análise do regime pluviométrico da área de estudo, quanto a sua variabilidade temporal e espacial.

Na Tabela 2, são demonstrados os valores totais das médias pluviométricas mensais e anuais de cada posto pluviométrico selecionado na pesquisa, entre a série histórica de 1988 a 2017. Verificou-se que a precipitação média da bacia hidrográfica é de 1.244,2 mm anuais, sendo que a estação chuvosa - outubro a abril - concentra a maior parte da pluviosidade anual, com 95,5% das chuvas, totalizando um acumulado 16.649,5 mm no período correspondente. Já no período de estiagem - abril a setembro - representa 4,5% das chuvas anuais com um acumulado de 922,6 mm.

Tabela 2: Médias mensais da precipitação nos postos estudados localizados na sub-bacia 21.

Posto	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
Aurora do Norte	267,9	252,8	252,9	143,5	42,8	1,5	0,2	1,7	22,7	104,4	242,3	249,6	1.582,2
Campos Belos	222,9	166,0	172,3	95,4	22,1	4,1	0,3	1,2	21,3	87,4	193,9	243,8	1.230,7
Concebi. do Tocar.	234,1	196,7	168,4	102,3	18,1	2,9	1,7	2,1	24,5	77,3	219,5	238,8	1.286,2
Fazenda Ingazeiro	169,8	131,5	161,0	91,3	25,0	1,7	0,1	1,2	23,8	64,1	177,8	192,4	1.039,9
Fazenda Prainha	187,4	160,4	184,2	89,2	23,3	5,9	0,2	3,0	23,6	86,7	202,8	210,5	1.177,4
Fazenda Santa Rita	179,7	160,9	163,6	57,0	17,3	0,6	0,4	1,2	20,8	76,9	157,0	206,5	1.041,9
Formosa	217,9	199,1	203,3	88,9	17,1	4,7	2,1	7,8	31,0	103,3	217,2	259,6	1.352,0
Nova Roma	168,1	121,4	145,3	70,0	18,7	1,9	0,6	2,0	19,9	89,3	162,8	199,1	999,1
Ponto. Alta do B. Jesus	328,3	321,5	288,4	177,4	53,2	4,4	1,3	2,4	46,7	103,7	234,7	276,5	1.838,5
Ponte Paranã	179,6	145,9	182,4	70,7	14,7	2,7	1,5	2,3	21,7	81,9	200,2	229,9	1.133,5
Posse	188,6	189,6	219,1	109,3	27,8	2,4	0,9	4,3	14,8	100,4	208,3	252,3	1.317,8
Rio da Palma	194,2	161,3	163,9	58,6	12,3	1,3	0,7	3,1	19,5	67,2	189,1	228,4	1.099,6
São Domingos	172,4	165,9	178,9	104,7	19,2	4,1	0,3	2,4	25,6	65,0	191,4	203,3	1.133,2
Sítio D'abadia	179,1	155,5	213,5	78,6	26,4	4,3	1,0	3,9	22,5	94,2	209,3	198,0	1.186,4
Média	206,4	180,6	192,7	95,5	24,1	3,0	0,8	2,8	24,2	85,8	200,5	227,8	1.244,2
Máximo	328,3	321,5	288,4	177,4	53,2	5,9	2,1	7,8	46,7	104,4	242,3	276,5	1.854,5
Mínimo	168,1	121,4	145,3	57	12,3	0,6	0,1	1,2	14,8	64,1	157	192,4	934,3
Amplitude	160,2	200,1	143,1	120,4	40,9	5,3	2	6,6	31,9	40,3	85,3	84,1	920,2

Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

Os postos de estação pluviométrica Ponte Alta do Bom Jesus e Aurora do Norte, ambos localizados no estado do Tocantins, apresentam os maiores valores anuais de precipitação, sendo 1.838,5 mm, 1.582,2 mm, respectivamente. Já, os postos Nova Roma, localizado no norte do estado de Goiás, e Rio da Palma, localizado no sul do estado do Tocantins, possuem os menores valores médios anuais de chuva, sendo 999,1 mm e 1.099,6 mm, respectivamente.

Analisando a variabilidade na média mensal, entre todas as estações, os meses com maiores amplitudes nos dados são março e janeiro, com 200,1 mm e 160,2 mm. Para esse período os menores valores médios de precipitação são nas estações pluviométricas de Nova Roma (GO) e Fazenda Ingazeiro (GO). Já os maiores valores médios são dos municípios de Ponte Alta do Bom Jesus (TO) e Aurora do Norte (TO).

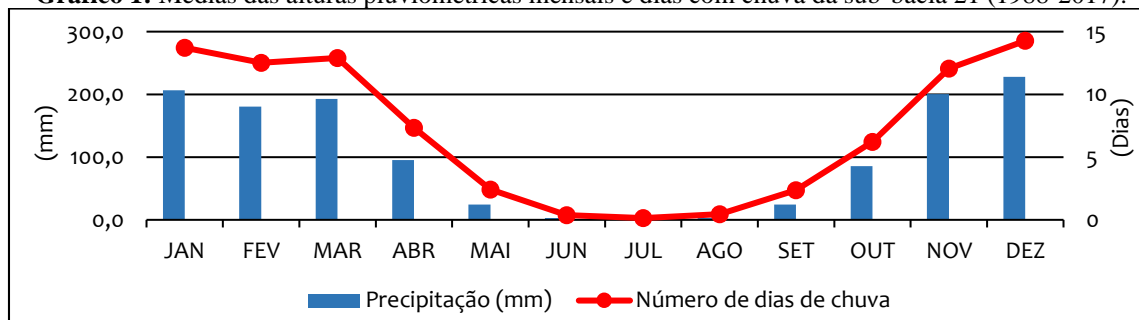
Ainda em relação à tabela 2, sobre o total anual de precipitação entre as estações, foram contabilizadas 6 estações pluviométricas com valores acima da média geral da bacia de 1.244,2 mm, sendo elas: Aurora do Norte (TO), Conceição do Tocantins (TO), Formosa (GO), Ponte Alta do Bom Jesus (TO), Posse (GO) e Campos Belos (GO). Por outro lado, foram totalizadas 10 estações com valores abaixo da média geral anual da bacia de 1244,2 mm, sendo eles: Fazenda Ingazeiro (GO), Fazenda Prainha (GO), Fazenda Santa Rita (GO), Nova Roma (GO), Ponte Paranã (GO), Rio da Palma, São Domingos (GO) e Sítio D'abadia (GO).

Os postos pluviométricos que apresentaram as médias maiores foram Ponte Alta do Bom Jesus (TO) e Aurora do Norte (TO) com valores de 1.838,5 mm e 1.582,2 mm, respectivamente. Por outro lado, as estações pluviométricas com as menores médias foram Nova Roma (GO) e Fazenda Santa Rita, com valores de 999,1 mm e 1.041,9 mm.

No que se refere, especificamente, aos meses de ocorrência da estação chuvosa (outubro a abril), Tabelas 2 e 3, os resultados demonstram que em outubro, mês de início do período chuvoso, o total médio mensal de chuva é de 201,8 mm em 6 dias. A variação da média das chuvas nesse mês foi de 85,8 mm, com valor máximo de média de 104,4 mm, referente a estação em Aurora do Norte (TO), e valor mínimo de média de 64,1 mm, registrado em Fazenda Ingazeiro (GO).

A variabilidade climática na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã, localizada na região Tocantins-Araguaia, está representada no Gráfico 1, comparando as médias das alturas pluviométricas mensais com o número de dias com chuva entre os anos de 1988 a 2017.

Gráfico 1: Médias das alturas pluviométricas mensais e dias com chuva da sub-bacia 21 (1988-2017).



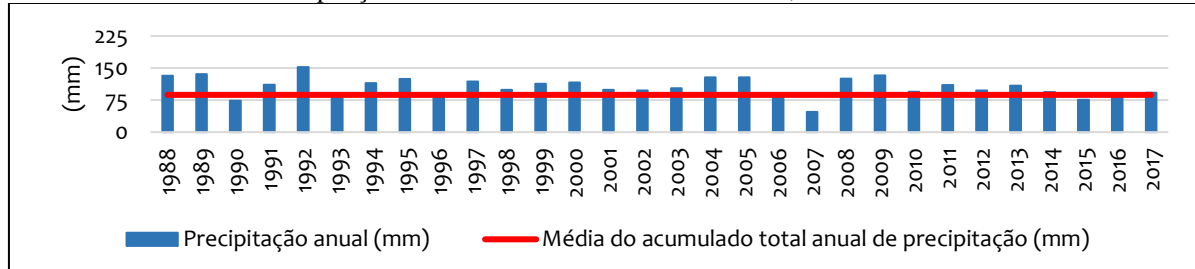
Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

De modo geral, verifica-se que a estação chuvosa na bacia ocorre entre outubro e abril, enquanto que a estiagem entre maio e agosto. As maiores médias totais de precipitação ocorrem nos meses de janeiro e dezembro, com 206,4 mm e 227,8 mm respectivamente, ambos com 14 dias de chuva. Os menores totais de precipitação ocorrem nos meses de junho, julho e agosto, com 3,0 mm, 0,8 mm e 2,8 mm, respectivamente, e 0 dias de chuva. Nesse processo, os números totais de dias com chuvas também acompanham a mesma dinâmica da variabilidade média dos volumes precipitados durante o ano.

O acumulado total anual de chuvas entre os anos da série histórica (1988 a 2017) pode ser analisado no Gráfico 2. Desses, 13,3% dos anos apresentaram valores anuais médios de precipitação abaixo da média central, variando de 47,5 mm a 83,0 mm. Enquanto que 73,3% dos anos, demarcaram valores anuais médios de precipitação acima da média central, oscilando

de 152,1 mm a 93,5 mm. Verifica-se, que a amplitude anual variou entre 47,5 mm (2007) e 152,1 mm (1992).

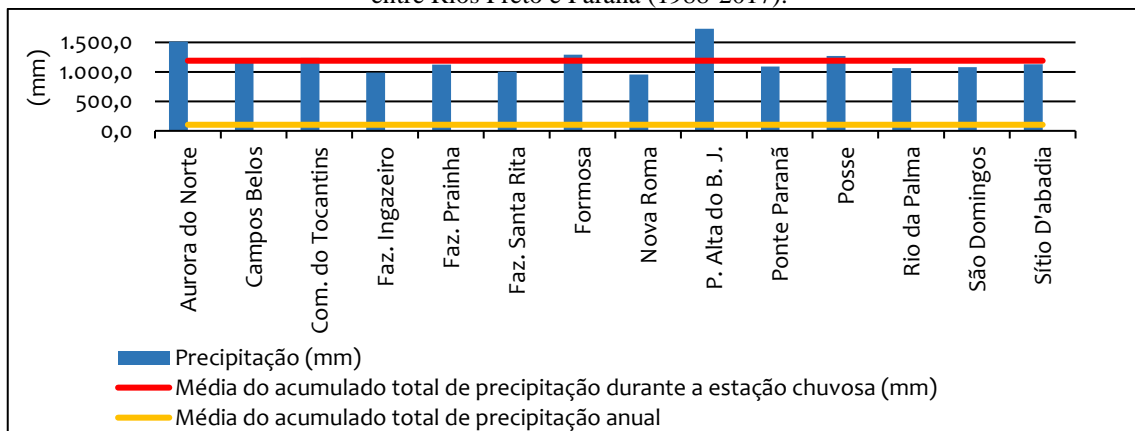
Gráfico 2: Precipitação Média anual sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã



Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

O Gráfico 3 exibe as alturas pluviométricas acumuladas da estação chuvosa (outubro a abril). Nesse caso, a média total de chuva é de 1.189,3 mm, com variação de 774,5 mm entre a maior média registrada, em Ponte Alta do Bom Jesus (TO) com 1.395,5 mm, e a menor média, em Nova Roma (GO) com 1.125,5 mm.

Gráfico 3: Acumulado de precipitação durante a estação chuvosa (outubro a abril) na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã (1988-2017).



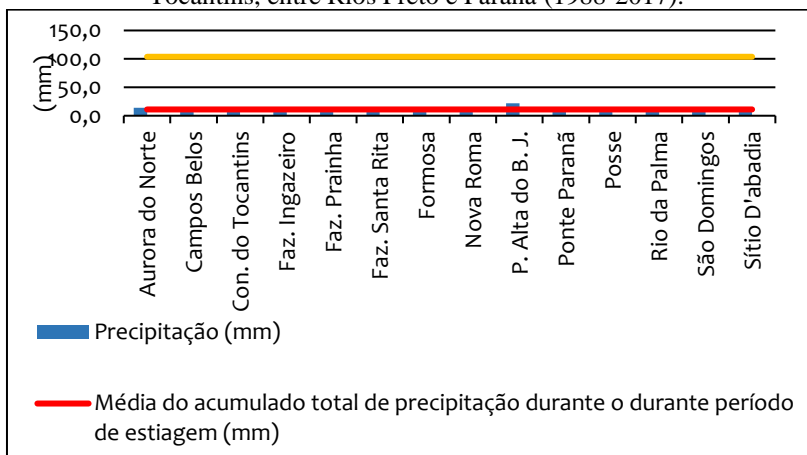
Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

Com relação aos valores do acumulado de precipitação na estação chuvosa, as seguintes estações pluviométricas possuem valores acima do acumulado: Aurora do Norte (TO), Conceição do Tocantins (TO), Formosa (GO), Ponte Alta do Bom Jesus (TO) e Posse (GO) — 5 estações. Apresentam valores abaixo do acumulado as estações: Campos Belos (GO), Fazenda Ingazeiro (GO), Fazenda Prainha (GO), Fazenda Santa Rita (GO), Nova Roma (GO), Ponte Paranã (GO), Rio da Palma, São Domingos (GO) e Sítio D'abadia (GO) — 9 estações pluviométricas.

No Gráfico 4 é apresentado o total acumulado de chuva durante o período de estiagem que se estende de maio a setembro. Nesse caso, a média total de chuva é de 11,0 mm. A variação

do acumulado nesse período é de 14,2 mm, sendo 7,4 mm em Rio da Palma e 21,6 mm em Ponte Alta do Bom Jesus (TO).

Gráfico 4: Acumulado de precipitação durante o período de estiagem (maio a setembro) na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã (1988-2017).



Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

Com relação ao acumulado de precipitação durante o período de estiagem, as seguintes estações pluviométricas registram valores acima da média mensal: Aurora do Norte (TO), Formosa (GO), Ponte Alta do Bom Jesus (TO), Fazenda Prainha (GO) e Sítio D'abadia (GO) — 5 estações. Apresentam valores abaixo da média mensal as estações pluviométricas: Conceição do Tocantins (TO), Campos Belos (GO), Fazenda Ingazeiro (GO), Nova Roma (GO), Ponte Paranã (GO), Rio da Palma, São Domingos (GO), Posse (GO), Fazenda Santa Rita (GO) e Nova Roma (GO) — 10 estações.

O levantamento das variações relacionadas com a precipitação pluviométrica foi realizado em função dos coeficientes de variação, sendo utilizados para a comparação dos graus de dispersão entre várias distribuições de frequência. Desse modo, a Tabela 4 apresenta os coeficientes de variação (CV) para identificação das dispersões entre os dados das médias mensais de precipitação (1988-2017) do acumulado das estações da sub-bacia.

Tabela 4: Valores de dispersão entre as médias mensais gerais (1988-2017) das estações pluviométricas da sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã.

Meses	Médias	Desvio de Padrão	CV	CV %	Meses	Médias	Desvio de Padrão	CV	CV %
Jan.	206,4	43,7	0,21	21,2%	Jul.	0,8	0,6	0,76	76,2%
Fev.	180,6	50,1	0,28	27,7%	Ago.	2,8	1,7	0,61	60,8%
Mar.	192,7	38,1	0,20	19,8%	Set.	24,2	7,1	0,30	29,6%
Abr.	95,5	31,4	0,33	32,9%	Out.	85,8	13,9	0,16	16,1%
Mai	24,2	10,8	0,45	44,7%	Nov.	200,5	23,6	0,12	11,8%
Jun.	3,0	1,5	0,50	49,6%	Dez.	227,8	25,6	0,11	11,2%

Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

A partir da tabela anterior, podemos avaliar que a maior dispersão média mensal entre os registros dos postos pluviométricos ocorreu dentro do período de estiagem (maio a setembro), com valores percentuais do coeficiente de variação oscilando entre 44,7% em abril e 76,2% em julho. Por outro lado, a Tabela 4 aponta as menores dispersões médias mensais, que ocorrem durante a estação chuvosa (outubro a abril), com porcentagens de coeficiente de variação entre 11,2% no mês de dezembro e 27,7% em fevereiro.

Na Tabela 5 estão representados os coeficientes de variação (CV) entre as médias anuais de precipitação dos anos da série histórica (1988-2017), para todos os postos pluviométricos, em comparação com as alturas pluviométricas médias anuais totais da sub-bacia.

Tabela 5: Valores de dispersão entre as médias anuais totais das estações pluviométricas da sub-bacia 21.

Ano	Total Anual	Desvio Padrão	CV (%)	Ano	Total Anual	Desvio Padrão	CV (%)	Ano	Total Anual	Desvio Padrão	CV (%)
1988	2.247,9	42,7	1,9 %	1998	1.685,2	20,8	1,2%	2008	2.126,9	52,2	2,5 %
1989	2.311,2	43,2	1,9 %	1999	1.930,4	17,7	0,9%	2009	2.255,3	53,3	2,4 %
1990	1.247,1	15,7	1,3 %	2000	1.974,7	27,2	1,4%	2010	1.607,2	17,1	1,1 %
1991	1.890,1	34,0	1,8 %	2001	1.682,6	29,6	1,8%	2011	1.876,4	19,2	1,0 %
1992	2.586,7	47,7	1,8 %	2002	1.659,5	17,5	1,1%	2012	1.660,4	17,1	1,0 %
1993	1.474,9	23,4	1,6 %	2003	1.749,0	18,4	1,1%	2013	1.846,9	20,9	1,1 %
1994	1.947,7	36,1	1,9 %	2004	2.187,3	36,5	1,7%	2014	1.589,3	16,3	1,0 %
1995	2.115,0	46,3	2,2 %	2005	2.185,4	32,9	1,5%	2015	1.295,5	13,7	1,1 %
1996	1.528,6	23,6	1,5 %	2006	1.412,1	45,1	3,2%	2016	1.516,3	26,9	1,8 %
1997	2.010,6	17,6	0,9 %	2007	807,2	28,6	3,5%	2017	1.572,4	19,7	1,3 %

Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

A análise dos valores dos coeficientes de variação demonstra um comportamento regular entre os respectivos anos, com percentual médio de coeficiente de variação de 1,6%. Os maiores valores determinados nos anos de 2006 e 2007, obtendo 3,2% e 3,5%, enquanto os menores valores de coeficiente de variação foram os anos de 1997 e 1999, com 0,9%.








Ainda avaliando os valores do coeficiente de variação, podemos identificar que a dispersão dos valores foi homogênea em relação à média anual total entre as estações e anos das séries históricas de precipitação. Entretanto, ao verificar as médias anuais de chuvas em cada estação pluviométrica, encontrou-se variabilidades de comportamento em relação à estação chuvosa (outubro a abril) e o período de estiagem (abril a setembro), como verificado na

Tabela 2 e nos Gráficos 3 e 4.

4 Análise dos períodos úmidos e de déficits de precipitação

O Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) permite o monitoramento das variabilidades pluviométricas ao longo dos anos, assim é possível determinar os períodos úmidos e os déficits de precipitação pela seca. O Quadro 2 é referência para a avaliação e categorização dos resultados encontrados do IESP, diante da série histórica de (1988 a 2017) na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã.

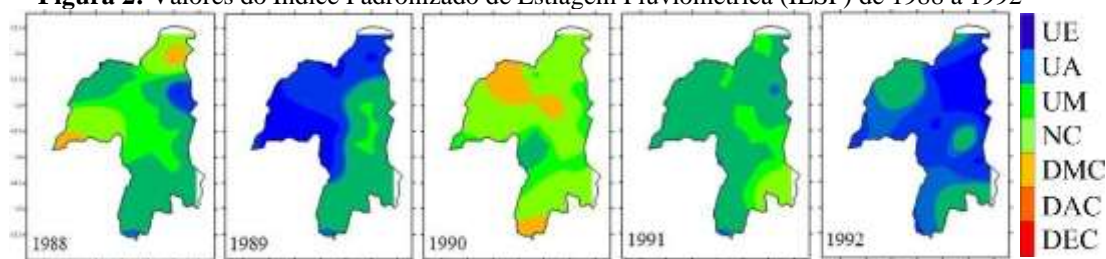
Quadro 2: Classificação dos valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP).

Valor SPI	Categorias	Cores Correspondentes
$\geq 2,00$	Umidade Extrema (UE)	
1,50 a 1,99	Umidade Alta (UA)	
1,00 a 1,49	Umidade Moderada (UM)	
0,99 a -0,99	Normal Climatológica (NC)	
-1,00 a -1,49	Déficit Moderado de Chuva (DMC)	
-1,50 a -1,99	Déficit Alto de Chuva (DAC)	
$\leq -2,00$	Déficit Extremo de Chuva (DEC)	

Fonte: Mckee; Doesken; Kleist (1993); Maciel (2016). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

Desse modo,, podemos considerar que a Normal Climatológica (NC), com valores entre 0,99 e -0,99, são as variações ideais para a estiagem pluviométrica, entretanto os valores podem oscilar entre $\geq 2,00$, se categorizando como Umidade Extrema (UE), até $\leq -2,00$, se caracterizando como Déficit Extremo de Chuva (DEC). As Figuras 2 a 6, apresentam os valores do IESP de 1988 até 1992 na sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã, permitindo a identificação das ocorrências de valores com UE ou DEC.

Figura 2: Valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) de 1988 a 1992⁴



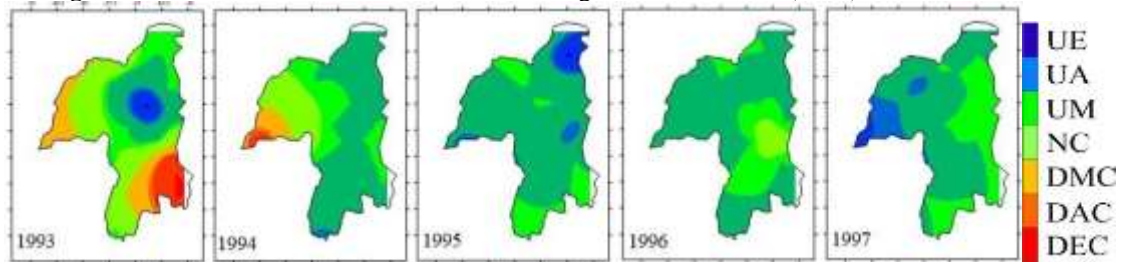
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No período de 1988 a 1992 (60 meses), o IESP sofre a variância de -1,99 a 2,29. Conforme o Quadro 2, os anos de 1989 e 1992 se destacam por trazerem valores $\geq 2,00$, sendo

⁴ Umidade Extrema (UE); Umidade Alta (UA); Umidade Moderada (UM); Normal Climatológica (NC); Déficit; Moderado de Chuva (DMC); Déficit Alto de Chuva (DAC) e Déficit Extremo de Chuva (DEC).

identificados pelo comportamento intenso das áreas em azul, indicando alta concentração de precipitação para o período. Na Sub-bacia 21-Tocantins, entre Rios Preto e Paranã, os valores do IESP de 1993 a 1997 (Figura 3) apresentam valores acima da NC e são similares se comparados com os anos de 1995 a 1997.

Figura 3: Valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) de 1993 a 1997.

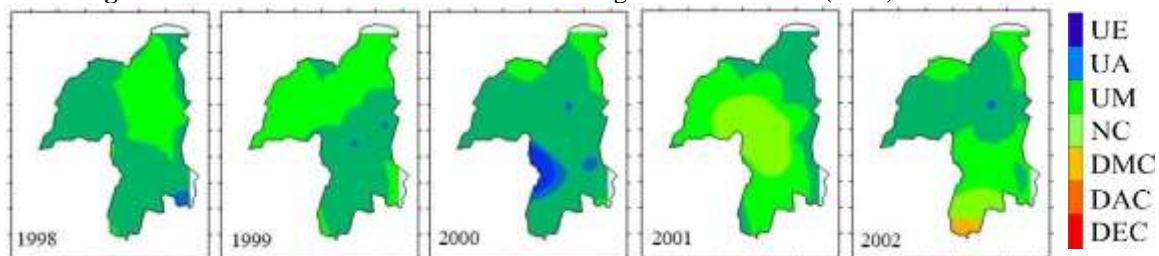


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com base no IESP de 1993 a 1997, podemos analisar a influência da Umidade Moderada (UM) ao longo dos anos, principalmente nos anos de 1995 e 1997. O ano de 1993 apresenta fortes alterações dos valores do IESP na área da sub-bacia variando de -2,92 (classificado como DEC) a 1,61 (classificado como UA). Esse é um dos anos com maior variabilidade no IESP desde o período de 1988 a 2007, com forte período de umidade e de déficit de precipitação, podendo ser atribuído às variações sazonais da própria região.

A Figura 4 apresenta os valores do período entre os anos 1998 a 2002, a maioria dos valores de IESP são classificados acima da NC, ou seja, valores superiores 0,99. As variações de estiagem pluviométrica são constatadas nos valores máximos e mínimos encontrados na sub-bacia, variando entre -0,76 e 1,71, em 2000, e -1,6 e 1,0, em 2002.

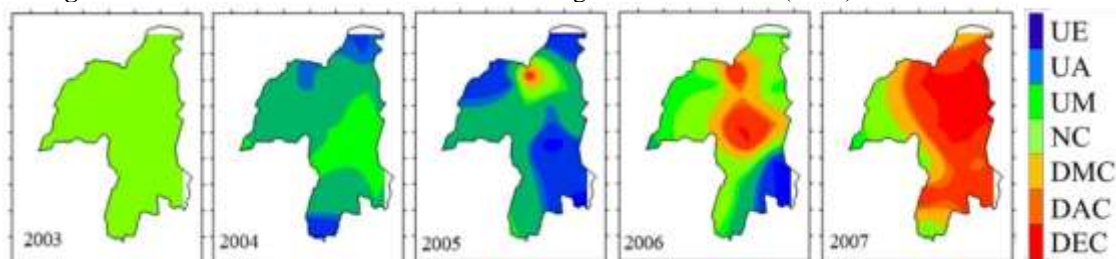
Figura 4: Valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) de 1998 a 2002.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A Figura 5 apresenta os valores entre os anos de 2003 a 2007, nela a variação da estiagem pluviométrica é notada com as diferenças dos valores do IESP por se diversificar entre DEC e valores próximos a UE.

Figura 5: Valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) de 2003 a 2007.



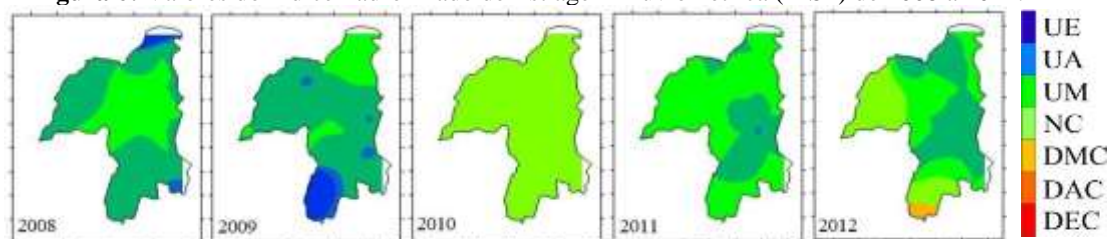
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em 2003 os valores do IESP variam entre -0,77 e 0,71 dentro da NC, esses valores mostram que os elementos atmosféricos que definem os valores de pluviométricos não sofreram alteração durante um ano. Entre os anos de 2004 e 2005, os resultados indicam que em um período de 24 meses de análise os valores oscilaram entre -2 e 1,67, entre DEC e UA.

No ano de 2006, os valores abaixo da NC ficam cada vez mais presentes e com valores de IESP mais diversificados, desde o período entre 1988 e 2017. Os valores se diversificam de -2,67 a 1,95, ou seja, de DEC até UA. Os valores com DEC em 2006 se intensificam em 2007, com valores nas categorias de déficit de chuvas variando entre -3,81 e -0,31. Esse é o único ano com valores máximos e mínimos de IESP negativos, com média de -2,31 se classificando como DEC.

Com os resultados do período entre 2005 e 2007, os valores negativos do IESP se toram gradativamente mais perceptíveis, diferentemente dos anos entre 2008 e 2011. A Figura 6 apresenta os valores do IESP entre os anos 2008 e 2012, mostrando uma variação entre -1,53 e 1,88.

Figura 6: Valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) de 2008 a 2012.

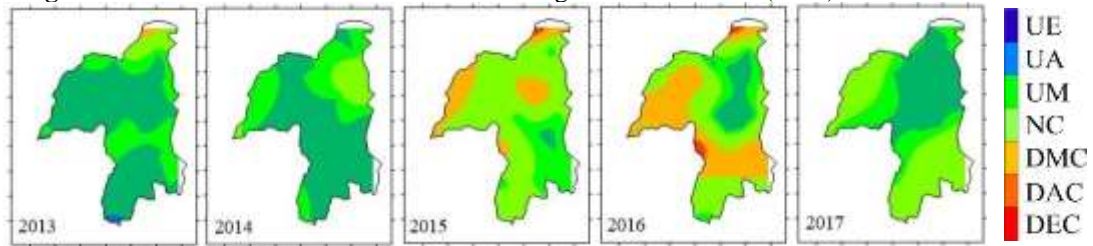


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os valores do IESP se encontram em sua maioria positivos, próximos do NC, o que indica uma situação de normalidade na precipitação. Os valores da IESP entre 2008 e 2009 de -0,43 e 1,7, respectivamente, se destacam pela variabilidade de resultados se classificando entre NC até UA. Diferente dos anos de 2008 e 2009, o ano de 2010 se classifica como um período com NC, por ter valores de IESP de -0,96 a 0,82 e média de -1,14. Nos anos de 2013 a 2017 as variações ficam mais perceptíveis pelas alterações dos valores do IESP ao longo dos

anos, como mostra a Figura 7.

Figura 7: Valores do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) de 2013 a 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Entre 2013 e 2017, as transições entre os períodos de déficits de precipitação se intensificam variando entre DEC e UM. Nos anos de 2013, 2014 e 2017 os valores de IESP variam entre -1,78 e 1,13, com média de -0,18, apontando valores próximos a NC. Já os valores de 2015 e 2016 são menores ou iguais, classificados na NC. Em 2015 os valores variam entre -2,03 e -0,38 e em 2016 de -3,12 a 0,38, ambos os valores abrangendo o DEC.

5 Fenômenos El Niño e La Niña

Os resultados anuais do IESP, na área de estudo, relacionados com a ocorrência dos efeitos El Niño e La Niña demonstram similaridade, como mostra a Tabela 6 que apresenta a ocorrência de ENOS pelos anos hidrológicos e os eventos de déficit de umidade climáticos apontados pelo IESP por ano.

Tabela 6: Ocorrência de ENOS (Fenômenos La Niña e El Niña), baseando-se em anos hidrológicos.

Fenômeno	Intensidade	Anos	IESP	Intensidade	Anos
El Niño	Forte	1987-1988, 1991-1992, 1997-1998, 2015-2016	Déficit	Forte	1993, 1994, 2005, 2006, 2007, 2015, 2016
	Moderada	2002-2003, 2006-2007, 2009-2010		Moderada	1990, 2002, 2012, 2013, 2017
	Fraca	2009-2010		Fraca	1991, 1996, 2001, 2014
La Niña	Forte	-	Umidade	Forte	1988, 1992
	Moderada	1988-1989, 1999-2000, 2007-2008, 2010-2011, 2017-2018		Moderada	1888, 1993, 1995, 1997, 2000, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009
	Fraca	1998-1999		Fraca	1991, 1994, 1998, 1999, 2002, 2001, 20012, 2013

Fonte: INPE (2023). Org.: Elaborado pelos autores (2023).

Os fenômenos climáticos de El Niño afetam no comportamento da precipitação pluviométrica, contribuindo para o déficit de chuvas, como se percebe nos anos de 2002, 2015, 2016 e 2017. Podemos verificar o crescimento do regime pluviométrico adquirido por fatores da La Niña na sub-bacia hidrográfica Tocantins, entre os rios Preto e Paranã, nas chuvas nos

anos de 1988, 1989, 2000, 2007 e 2008.

6 Conclusão

Os resultados apontaram uma grande redução da precipitação pluviométrica entre os meses de maio a setembro, totalizando-se 5 meses de estiagem com uma média de 10,9 do acumulado de precipitação durante o período. Em contrapartida, no período chuvoso, entre os meses de outubro a abril, temos uma média de 169,9. Sendo que a média do total de chuvas por ano calculada a partir dos dados históricos de 30 anos foi de 103,7.

Os dados do IESP, das médias pluviométricas e dos dias de chuva, proporcionaram a identificação dos anos tomados por variabilidade e/ou uniformidade, dos períodos de seca ou de umidade entre os anos de 1988 a 2017. Destacam-se os anos de 1993, 2007 e 2016 com fortes índices de déficit de precipitação pluviométrica, em contrapartida aos anos de 1989, 1992 e 2006, com valores altos de índices pluviométricos.

Os estados de Goiás e Tocantins concentram uma grande parte da economia advinda do agronegócio e de usinas hidroelétricas, sendo essas dependentes diretas do uso da água. O excesso, falta ou variabilidade da precipitação pluviométrica pode ser, na maioria dos casos, prejudicial para a economia, o meio ambiente e para a população local.

Nesse contexto, podemos observar o vínculo entre eventos dos ENOS e os resultados do IESP. As anomalias nos resultados das precipitações pluviométricas, caracterizadas pela sazonalidade climática, estão relacionadas com o aumento dos períodos de precipitação pluviométrica e a diminuição do número de dias de chuva. Essas variações podem impactar os sistemas ambientais, a cadeia produtiva dos cultivos de monocultura — como soja e milho —, a temperatura, o aumento de vetores de doenças tropicais e a qualidade ambiental da região.

Referências

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Tocantins**. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/tocantins/saiba-mais-tocantins>. Acesso em: 26 jun. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Condições atuais do ENOS: La Niña**. Brasília. 2023. Disponível em: < <http://enos.cptec.inpe.br/> >. Acesso em: 26 jun. 2022.

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 3, p. 657-675, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/105393>. Acesso em: 13 nov. 2023

MACÊDO, M. N. C. *et al.* Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **AmbiÁgua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, abr., 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/yFq8STC3GStVbZ5Gn75vnQz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2023.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. **VIII Conference on Applied Climatology**, Boston. American Meteorological Society, p. 179-184, 1993. Disponível em: https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf. Acesso em: 13 nov. 2023.

MOLION, L. C. B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 2237-2241, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326051993_GENESE_DO_EL_NINO. Acesso em: 13 nov. 2023.

NASCIMENTO, T. V. do *et al.* Variability of separation and its relationship with the agro-industrial productivity of oil palm in the municipality of Acará, State of Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e39310212134, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12134>. Acesso em: 13 nov. 2023.

NDMC - National Drought Mitigation Center. **SPIGenerator 1.0**. Lincoln: National Drought Mitigation Center, 2007.

OLIVEIRA, F. M. *et al.* Determinação da variação no microclima de Manaus – AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p. 687-700, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/nBcBD8wM3pRZ4gV6P7PBHfj/?lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2023.

OLIVEIRA, R. **Tocantins registra R\$ 18,8 bilhões do Valor da Produção Agropecuária**. Palmas: Governo do Tocantins, Secretaria da Comunicação, 2021. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/tocantins-registra-r-188-bilhoes-do-valor-da-producao-agropecuaria-de-2021-e-se-consolida-como-terceiro-estado-com-maior-indice-da-regiao-norte/3rwr6ok9wmk5#:~:text=Tocantins%20registra%20R%24%2018%20C8,maior%20%20C3%ADndice%20da%20regi%C3%A3o%20Norte>. Acesso em: 26 jun. 2022.

SEGPLAN - Secretaria Municipal de Governança, Gestão e Planejamento. Produção Agrícola Municipal. IMB, v. 11, n. 5, 2018. Disponível em: <https://www.imb.go.gov.br/files/docs/releasespam2017.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

SIQUEIRA, B.; NERY, J. Aplicação e Análise do Índice Padronizado de Precipitação no Circuito das Águas Paulista. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 93-107, jan./jul., 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/40331/25987>. Acesso em: 13 nov. 2023.