Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
UFGD Editora

AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA SUB-REGIÃO HIDROGRÁFICA DO ITACAIÚNAS, SUDESTE DA AMAZÔNIA

Evaluation of the variability of rainfall precipitation in the Itacaiúnas hydrographic sub-region, southeastern Amazon

Evaluación de la variabilidad de la precipitación lluvia en la subregión hidrografica de Itacaiúnas, sureste Amazônico

Arlley Cardoso Rodrigues
Universidade do Estado do Pará
arlleycr@gmail.com

Leandro Laranjeira da Silva
Universidade do Estado do Pará
leandro.lsilva@aluno.uepa.br

Mateus do Carmo Rocha
Universidade do Estado do Pará
mateusrochaea@gmail.com

Thais Binow Dias
Thais Binow Dias
thaisbinowdias@gmail.com

André dos Santos Araújo
Universidade do Estado do Pará
andre.araujoamb@gmail.com

Glauber Epifanio Loureiro
Universidade do Estado do Pará
epfanio@uepa.br

Resumo: A compreensão da dinâmica espaço temporal da precipitação pluviométrica constitui uma ferramenta fundamental na gestão dos usos múltiplos dos recursos hídricos. Este estudo objetiva avaliar a variabilidade da precipitação pluviométrica da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (SRHI) no período de

1986 a 2018. Para tanto, os dados pluviométricos foram obtidos por meio do HidroWeb (ANA) e BDMEP (INMET). O método da Ponderação Regional foi utilizado para cobertura de falhas. Estes dados sofreram tratamento estatísticos descritivos (mínimo, máximo, média e coeficiente de variação) e não paramétrico (Mann Kendall, Pettitt e Sen's Slope) sendo especializados. Para determinação dos eventos extremos foi utilizado o Índice de Anomalias de Chuvas (IAC). Os resultados apontaram um regime hidrológico dividido em período mais chuvoso e período menos chuvoso. O IAC apresentou 52% dos anos com índices negativos e 48% com índices positivos. A espacialização revelou uma distribuição heterogênea da precipitação na SRHI, com a região sudeste exibindo os menores valores. A série estudada não apresentou tendência, quando aplicado teste de Mann Kendall de 5% de significância. Conclui-se que o regime hidrológico e IAC são fortemente influenciados por fenômenos meteorológicos de meso e grande escala, bem como a estacionariedade da homogeneidade e tendência. A distribuição espacial pode influenciar na vazão, produção de sedimentos e assoreamento dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Dinâmica Espaço Temporal. Regime Hidrológico. Índice de Anomalia de Chuvas.

Abstract: Understanding the spatial and temporal dynamics of rainfall constitutes a fundamental tool in the management of the multiple uses of water resources. This study aims to evaluate the variability of rainfall in the Itacaiúnas hydrographic sub-region (SRHI) from 1986 to 2018. For this purpose, rainfall data were obtained through HidroWeb (ANA) and BDMEP (INMET). The Regional Weighting method was used to cover failures. These data underwent descriptive statistical treatment (minimum, maximum, mean and coefficient of variation) and non-parametric (Mann Kendall, Pettitt and Sen's Slope) being specialized. To determine the extreme events, the Rainfall Anomalies Index (IAC) was used. The results showed a hydrological regime divided into a rainy period and a less rainy period. The IAC presented 52% of the years with negative indexes and 48% with positive indexes. Spatialization revealed a heterogeneous distribution of precipitation in the SRHI, with the southeast region showing the lowest values. The studied series did not present a tendency, when the Mann Kendall test of 5% of significance was applied. It is concluded that the hydrological regime and IAC are strongly influenced by meso and large scale meteorological phenomena, as well as the stationarity of homogeneity and trend. The spatial distribution can influence the flow, sediment production and silting up of water resources.

Keywords: Space-Time Dynamics; Hydrological Regime; Rainfall Anomaly Index.

Resumen: Comprender la dinámica espacial y temporal de las precipitaciones constituye una herramienta fundamental en la gestión de los múltiples usos de los recursos hídricos. Este estudio tiene como objetivo evaluar la variabilidad de las precipitaciones en la subregión hidrográfica de Itacaiúnas (SRHI) desde 1986 hasta 2018. Para ello, se obtuvieron datos de precipitaciones a través de HidroWeb (ANA) y BDMEP (INMET). Se utilizó el método de Ponderación Regional para cubrir las fallas. Estos datos fueron sometidos a tratamiento estadístico descriptivo (mínimo, máximo, media y coeficiente de variación) y no paramétrico (Mann Kendall, Pettitt y Pendiente de Sen) siendo especializados. Para determinar los eventos extremos se utilizó el Índice de Anomalías de Lluvia (IAC). Los resultados mostraron un régimen hidrológico dividido en un período lluvioso y un período menos lluvioso. El IAC presentó el 52% de los años con índices negativos y el 48% con índices positivos. La espacialización reveló una distribución heterogénea de la precipitación en el SRHI, con la región sureste mostrando los valores más bajos. La serie estudiada no presentó tendencia, cuando se aplicó la prueba de Mann Kendall del 5% de significación. Se concluye que el régimen hidrológico y la IAC están fuertemente influenciados por fenómenos meteorológicos de meso y gran escala, así como la estacionariedad de homogeneidad y tendencia. La distribución espacial puede influir en el flujo, la producción de sedimentos y el aterramiento de los recursos hídricos.

Palabras clave: Dinámica Espacio-Tiempo. Régimen Hidrológico. Índice de Anomalías de lluvia.

Submetido em: 09/09/2022
Aceito para publicação em: 05/07/2023
Publicado em: 15/07/2023

1. INTRODUÇÃO

A água compõe proporções majoritárias da Terra, seu ciclo mantém em funcionamento a sucessão dos ecossistemas, comunidades e populações. Diante disso, tornou-se um dos principais recursos utilizados pela humanidade, todavia com o desenvolvimento da agricultura, indústria e variação dos múltiplos usos da água os seres humanos geraram uma diversidade de usos dos recursos hídricos acarretando estresse hídrico ou a escassez da água (TUNDISI, 2014). Entretanto, as ações antrópicas podem interferir diretamente na dinâmica deste ciclo e na sua variabilidade, como apresenta Ribeiro (1996), Monteiro (2001), Neto (2001), Conti (2011), e Nobre (2014).

Artaxo et al. (2014) nos seus estudos climáticos na Amazônia apontam a vegetação como agente de equilíbrio do ciclo hidrológico, isso se deve pela influência na quantidade de vapor de água, emissão de gases biogênicos, formação de nuvens e entre outros processos físico-químicos. Logo, o ciclo hidrológico vem sendo objeto de estudos recentes, como o de Borges (2014) e Brito et al. (2022) na região amazônica devido a sua grande importância global para estes sistemas de circulação das águas.

A forma como se comporta a ciclagem da água se incorpora ao funcionamento da Bacia Hidrográfica (BH). Ela pode ser compreendida, de maneira geral, como um sistema físico que corresponde a entrada de água, através de precipitações, que formam saídas de água, por meio do escoamento e evapotranspiração. Resumidamente, a BH converte uma entrada concentrada no tempo, a precipitação, em uma saída distribuída no tempo, o escoamento (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Neste contexto, na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA) destacam-se as atividades econômicas de mineração, irrigação, garimpos, aproveitamentos hidrelétricos, urbanização e projetos de assentamentos. Especificamente na região do Tocantins-Baixo, onde a sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (SRHI) é localizada, a mineração, agropecuária e urbanização disputam áreas com unidades de conservação, estas são de extrema importância para as precipitações pluviométricas (MMA, 2006).

Ademais, Souza-Filho et al. (2016); Pontes et al. (2019) expõem as influências das mudanças na cobertura (floresta e savana) e no uso do solo (urbanização, pastagens e mineração) na hidroclimatologia da SRHI, evidenciam que estas modificações resultaram em

condições ambientais mais secas, tais como aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade, apontando uma redução considerável na transferência de água para a atmosfera, influenciando na precipitação da região.

Portanto, principal objetivo dessa pesquisa avaliar a variabilidade da precipitação pluviométrica da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (SRHI) no período de 1986 a 2018, utilizando como base de dados do HidroWeb (ANA) e BDMEP (INMET), com finalidade de identificar eventos extremos aplicando o Índice de Anomalias de Chuvas (IAC).

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da Área de Estudo

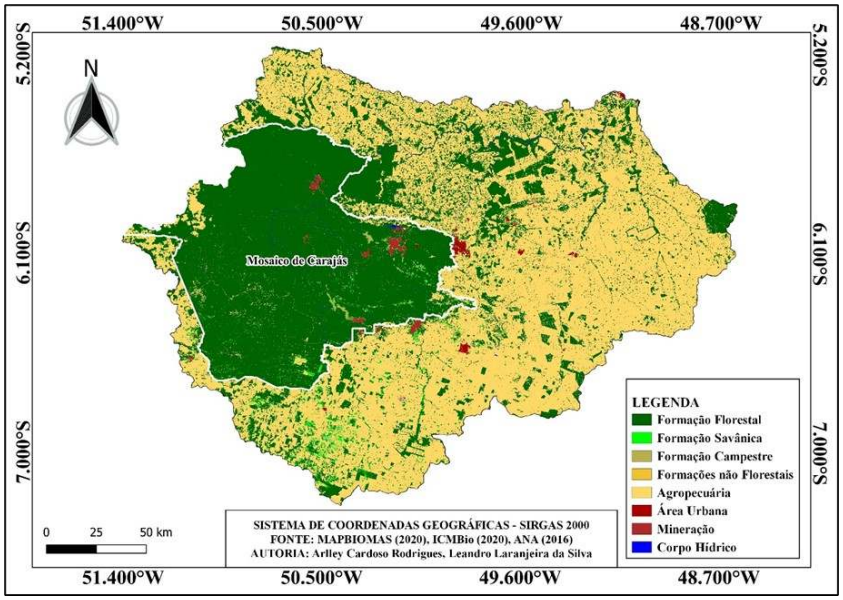
2.1.1 Aspectos Gerais

A SRHI (Figura 1), de acordo com a ANA (2009), possui uma área entorno de 41.342 km^2, localizada 600 km ao sul da linha do Equador. Composta por 11 municípios (Marabá, Água Azul do Norte, São Geraldo do Araguaia, Sapucaia, Xinguara, Piçarra, Parauapebas, Canaã dos Carajás, Curionópolis e Eldorado dos Carajás), o que equivale a um total de 700.000 habitantes e com produto interno bruto (PIB) de 270 bilhões de reais (IBGE, 2018).

2.1.2 Uso e Ocupação do Solo

Majoritariamente a vegetação presente na SRHI é do Bioma Amazônico. Um de seus locais de referência é a Serra dos Carajás que possui altura entre 400 a 900 metros com altitude mínima de 80 metros. A área comporta algumas Unidades de Conservação (UC's) e uma terra indígena demarcada, formando o Mosaico de Carajás, que ocupa 11.700 km^2 da área total da bacia (SOUZA-FILHO et al., 2016). A cobertura de vegetal é formada por floresta tropical e savana encontrada em pequenas áreas, principalmente a sudoeste, porém a predominância é a pastagem na área de estudo e aponta um grau alto de exploração do solo (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da SRHI.



Fonte: Autores (2022).

Outrossim, Eldorado dos Carajás, Água Azul do Norte e Curionópolis, alguns dos municípios que formam a região hidrográfica, são apontados como possuidores de economias fortemente apoiadas na atividade agropecuária (CRUZ, 2010). Segundo dados do IBGE (2010), os municípios de Sapucaia, Piçarra e São Geraldo do Araguaia possuem a agropecuária exercendo, atualmente, grande impacto no produto interno bruto local.

De acordo com Carneiro (2019), a SRHI é também considerada como um grande polo de extração mineral abrigando grande parte de região de carajás, que por sua vez possui um dos maiores projetos de exploração de minério do país: o projeto grande carajás, sendo este responsável pela exploração de ouro, ferro, cobre, manganês, níquel, entre outros minerais presentes no acervo invejável do rico solo da região.

2.1.3 Clima

Segundo Cruz (2010), no território paraense se encontram três distintos tipos climáticos, seguindo a classificação de Köppen-Geiger: Af, Am e Aw. O Af, em termos de abrangência estadual, é a menor dentre os três; não apresenta estação seca, com o mês menos chuvoso registrando precipitação igual ou superior a 60 mm. O Am é considerado um clima intermediário entre o Af e Aw, com estação seca moderada e ocorrência de no mínimo um mês com precipitação média, do período, menor que 60 mm. Já o subtipo climático

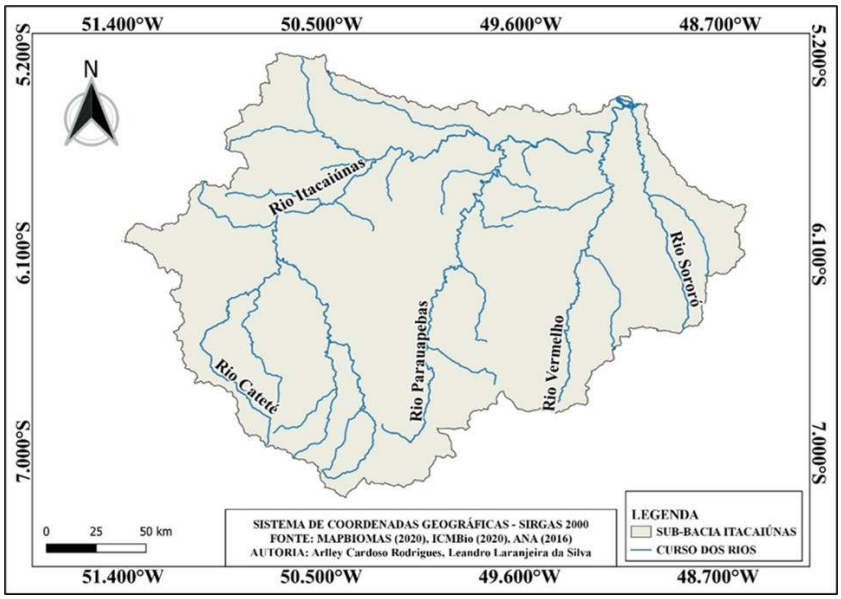
predominante na região é o Aw, com precipitação média mensal inferior a 60 mm. Ele se estende do extremo sudoeste à leste e parte do nordeste paraense.

A partir dessas informações, o clima da região pode se caracterizar como um clima típico monção, possuindo, portanto, períodos de fortes chuvas e períodos longos de seca (SILVA JÚNIOR et al., 2017).

2.1.4 Hidrografia

De acordo com Sampaio (2016) a SRHI é de aproximadamente 41.342 km², tendo como principal ponto de drenagem o Rio Itacaiúnas (Figura 3), nascendo na Serra da Seringa no município de Água Azul do Norte e desemboca na cidade de Marabá, obtendo um ponto de encontro com o rio Tocantins já no núcleo urbano do município. Seus principais afluentes são localizados na margem direita compondo importantes áreas de drenagem, sendo eles: Rio Parauapebas, Rio Cateté, Rio Vermelho e Rio Sororó.

Figura 3 - Mapa da Hidrografia da SHRI.



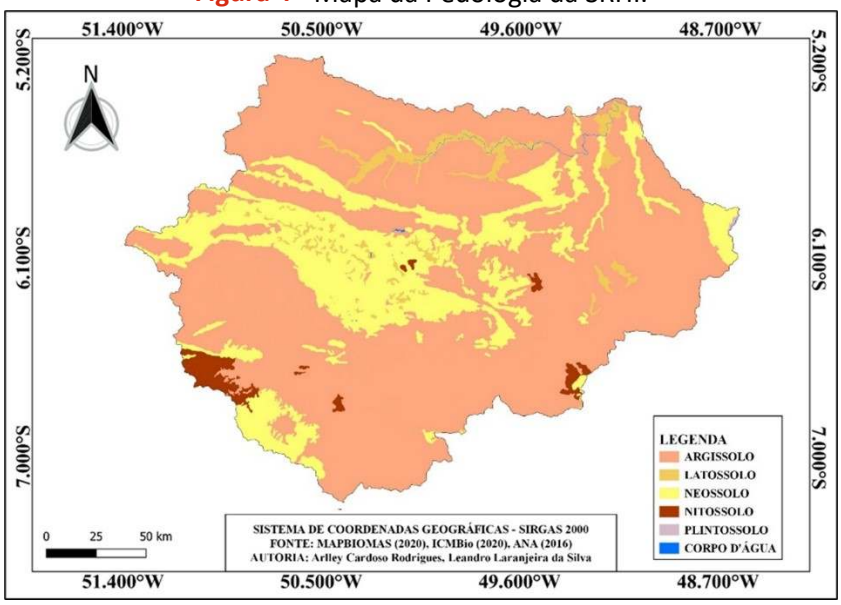
Fonte: Autores (2022).

2.1.5 Pedologia

Segundo o IBGE (2019), a formação do solo da SRHI consiste, em sua maioria, por argissolo referindo-se ao processo de acumulação de argila no mesmo. O neossolo também é

encontrado em maior quantidade e consiste em solos jovens, ainda em processo de formação. Outros tipos de solo também são encontrados como latossolo, nitossolo e uma pequena área de plintossolo (Figura 4).

Figura 4 - Mapa da Pedologia da SRHI.



Fonte: Autores (2022).

2.2 Procedimentos Metodológicos

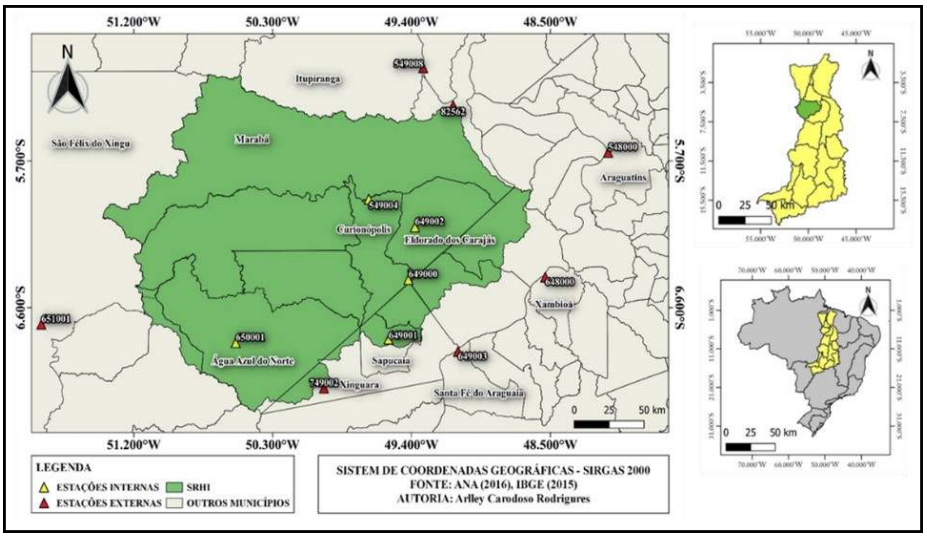
Para caracterização da área de estudo foi feita delimitação da SRHI, curso dos rios e seus municípios formadores a partir do QGIS.org (2021) confeccionando, assim, o mapa de localização. Em seguida, foi realizado o levantamento de dados meteorológicos para obtenção da localização das estações na SRHI, e, posteriormente, avaliá-las de acordo com as exigências propostas pela Word Meteorological Organization (WMO).

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos junto aos bancos de dados HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram identificadas 40 estações pluviométricas dentro dos limites do SRHI, destas apenas 5 apresentaram dados disponíveis de 33 anos, no período de janeiro de 1986 a dezembro de 2018.

Para realizar a interpolação dos dados pluviométricos foram identificados pontualmente 7 estações externas a SRHI, com o mesmo período de dados das estações internas, totalizando, portanto, 12 estações pluviométricas com dados disponíveis para

compor a rede pluviométrica da área de estudo, distribuídas conforme Figura 05 e descritas no Quadro 01.

Figura 5 - Rede pluviométrica da área de estudo.



Fonte: Autores (2022).

Quadro 1 - Rede pluviométrica da área de estudo.

Código	Estação	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Responsável
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS EXTERNOS A SRHI					
651001	Boa Esperança	S. Félix do Xingu	-6,7025	-51,7986	
548000	Araguatins	Araguatins	-5,6483	-48,125	
648000	Xambioá	Xambioá	-6,4131	-48,5333	
649003	Porto Lemos	S. Fé do Araguaia	-6,8692	-49,0986	ANA
749002	Xinguara	Xinguara	-7,0947	-49,9672	
82562	Marabá	Marabá	-5,3661	-49,1252	INMET
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS INTERNOS DA SRHI					
549004	Serra Pelada	Marabá	-5,9347	-49,6767	
649000	Faz. Surubim	Marabá	-6,4278	-49,4197	
649001	Fazenda S. Elisa	Sapucaia	-6,7947	-49,5486	ANA
649002	Eldorado	Marabá	-6,1053	-49,3775	
650001	Fazenda Caiçara	Marabá	-6,8153	-50,5389	

Fonte: Autores (2022), adaptado de ANA (2020); INMET (2020).

A WMO (2008) recomenda um período mínimo de 30 anos de dados pluviométricos para assegurar uma interpolação entre agrupamento dos dados de distintas estações para caracterizar os elementos hidrológicos e climatológicos básicos de uma região (WMO, 2008), sendo assim, a rede pluviométrica da SRHI atende os requisitos básicos para a realização do

estudo.

Posteriormente a coleta dos dados, foi realizada a cobertura das falhas. Este procedimento é necessário devido à falta de dados em certos períodos encontrados no conteúdo das séries históricas das estações pluviométricas, sendo assim a uniformização e consistências são adquiridos por meio do método de Ponderação Regional (SILVA; JARDIM, 2017).

A escolha pelo método de ponderação regional para o preenchimento de falhas por acreditar que esse permite incorporar elementos importantes da análise geográfica, cita-se, a localização e as características do local onde a estação ou posto utilizado se encontra (AMADOR; SILVA, 2020).

Como deu-se à coleta de dados quantitativos, fez-se necessário a realização de análises estatísticas para que esses dados pudessem ser interpretados e houvesse a caracterização da sub-região hidrográfica, logo, a análise foi feita a partir de estatística descritiva, realizada utilizando o Microsoft Excel® (2016), segundo Naghettini; Pinto (2007) este método aplica várias técnicas para descrever e sumarizar um conjunto de dados, fornecer cálculos de média, máxima, mínima e coeficiente de variação (C.V.) para os índices de chuva em cada ano do período do estudo em todas as estações.

Já a estatística não paramétrica, feito a partir do Addinsoft (2021), tem como objetivo comparar duas ou mais amostras que não possuem um padrão definido, obteve-se a partir do teste de Mann-Kendall, apresentado na fórmula (1), método que se baseia em rejeitar ou não a hipótese considerada nula (H0), de que não exista tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância de 5% (α=0,05). O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a H0 quando esta for verdadeira. (PENEREIRO; FERREIRA, 2017).

(1) $$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} sing(Xj - Xi)$$

Onde:
N- Número de anos da série
Xj- Primeiro valor após Xi

A estimativa de magnitude da tendência foi obtida pelo método do Sen's Slope, neste método computam-se todas as curvaturas de todos os pares dos valores apresentados em

determinada série temporal (ALCÂNTARA et al., 2019).

Foram também feitos teste de Pettitt run test (PENEREIRO et al., 2016), ele permite confirmar a estacionariedade da série histórica, ou seja, excetuando as flutuações aleatórias, as observações são invariantes com relação à cronologia de suas ocorrências. Outros autores também utilizaram o respectivo método nas análises estatísticas, como Brito et al., (2022) que realizou estudos sobre índice de Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação na Amazônia Central e Silva (2021) que analisou séries históricas de precipitação e curva de permanência de vazão no município Cachoeira do Piriá no estado do Pará.

Em seguida, foi traçada de forma gráfica pelo Microsoft Excel ® (2016) a base de dados mensais da área de estudo, para a análise do comportamento das chuvas e verificar seu regime hidrológico. Posteriormente as estatísticas, esses dados foram espacializados através do Golden Software® (2019) com formato de mapas de isoieta, em que para cada parâmetro e respectivo ano de estudo foi utilizado um variograma ajustado ao modelo Gaussiano com remoção de tendência linear.

Para a estatística descritiva, foram espacializados os dados dos parâmetros média, máxima, mínima e Coeficiente de Variação, já para a estatística não paramétrica foram interpolados dados dos valores gerados pelo teste de Mann-Kendall e Pettitt run test.

A caracterização da bacia foi realizada tendo em vista as características climáticas (El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico), a situação e saúde do solo, vegetação a partir do avanço do desmatamento para a formação de pastagem, além de analisar informações de mudanças na área do período escolhido.

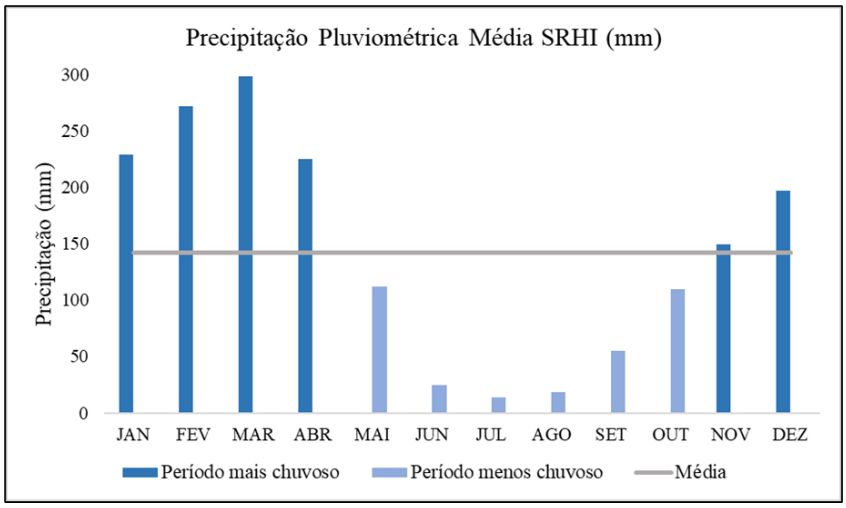
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2 Regime Hidrológico da SRHI

A Figura 6 apresenta o regime hidrológico da SRHI durante a série histórica estudada, do qual foi elaborado por meio dos totais mensais obtendo, assim, a precipitação média da área de estudo. Neste sentindo, foi exibido uma média de 141,84 mm, sendo o mês de março o mais chuvoso e, por conseguinte, apresentou a maior média de precipitação mensal com índice pluviométrico de 297,85 mm. Por outro lado, o mês de julho expôs a menor média de precipitação pluviométrica mensal sendo, portanto, o mês mais seco, no qual apresentou

13,52 mm.

Figura 6 - Comportamento sazonal da precipitação pluviométrica da SRHI.



Fonte: Autores (2022).

A sazonalidade do regime hidrológico da SRHI é bem definida, nota-se dois períodos climáticos distintos. Logo, o período mais chuvoso compreende os meses de novembro a abril, apresentando altos índices pluviométricos sendo que os meses de janeiro, fevereiro e março formam o trimestre mais chuvoso com índices pluviométricos de 228,70 mm, 271,67 mm e 297,85 mm, respectivamente. Acresce que a precipitação nestes três meses corresponde a 47% da média total precipitada anualmente.

Contudo, o período menos chuvoso é representado pelos meses de maio a outubro, sendo que os meses de junho, julho e agosto formam o trimestre menos chuvoso, expondo índices pluviométricos de 24,65 mm, 13,52 mm e 18,59 mm, respectivamente.

O resultado apresentado é semelhante aos índices encontrados por diversos pesquisadores. Filho et al. (2020) analisaram o comportamento das precipitações pluviométricas no estado do Pará no período de 1986 a 2015, registrando os meses de fevereiro e março com maiores precipitações e os meses de agosto e setembro com os menores acúmulos.

Lopes et al. (2013) analisaram uma série histórica de 30 anos de dados pluviométricos de 150 estações no estado do Pará, ao regionalizar a caracterização pluviométrica encontrou dados semelhantes, atestando os meses de fevereiro e março para os mais chuvosos e julho e agosto para os mais secos no sudeste paraense.

Comparativamente, Hoffmann et al. (2018) em seu estudo determinaram a variabilidade anual e mensal das chuvas para a região sudeste da Amazônia oriental no Pará no período de 1973 a 2015, verificaram a distribuição sazonal das chuvas em quatros períodos: período seco de junho a setembro, transição entre período seco e chuvoso de outubro a novembro, período chuvoso de dezembro a abril e período de transição do chuvoso para o seco em maio, confirmando assim os dados encontrados na SRHI.

Por conseguinte, Grimm (2011) explica que a ZCAS, no final da primavera e nos meses de verão do hemisfério sul, desempenha uma influência preponderante no regime de chuvas, acarretando altos índices pluviométricos na América do Sul, sendo, em muitos casos, responsáveis pela variabilidade no clima regional, mostrando que a precipitação inclina-se a aumentar sobre o sul da Amazônia no fim da primavera austral, no mês de dezembro.

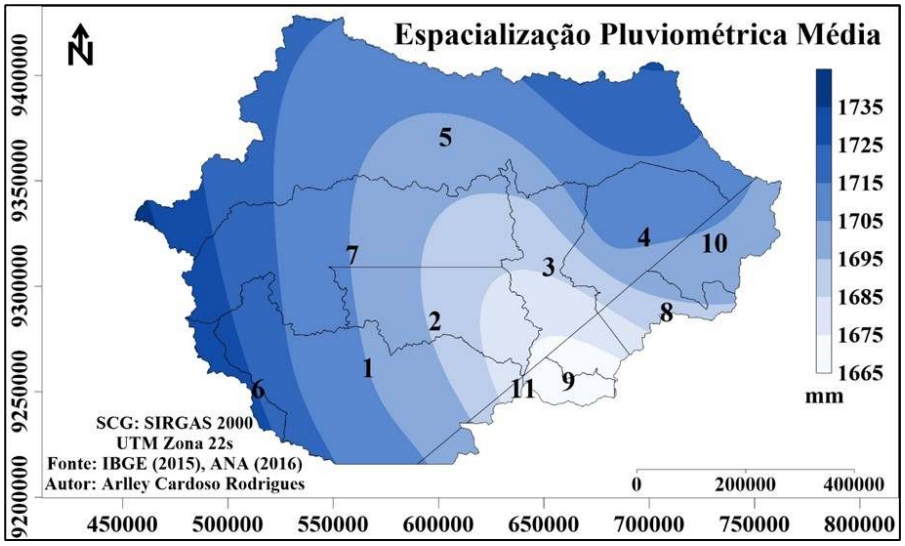
Neste cenário, o sudeste do Pará também está sujeito aos efeitos da ZCAS tendo a sua maior frequência nos meses de verão, exatamente no período mais chuvoso encontrado na SRHI, influenciando assim nos índices de precipitação pluviométrico (LOPES et al., 2013; DE SOUZA et al., 2017).

Já para o período menos chuvoso são escassas as pesquisas, principalmente no sudeste paraense, que abordam os fenômenos meteorológicos que os influenciam. Sendo assim, as presenças das precipitações nestes períodos são atribuídas a fenômenos de mesoescala tais como as LI (LOPES et al., 2013; DE SOUZA et al., 2017) e complexos convectivos associados aos sistemas frontais na região sul/sudeste brasileiro que consequentemente interage com a região amazônica (FISCH et al., 1998; AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

3.3 Análise Espacial Descritiva

De acordo com a Figura 7 possível inferir um padrão de precipitação média anual crescente que se inicia na região sudeste da SRHI, observando um contorno crescente para as demais regiões.

Figura 7 - Distribuição Espacial Média de Precipitação da SRHI.



Legenda: 1: Água Azul do Norte, 2: Canaã dos Carajás, 3: Curionópolis, 4: Eldorado dos Carajás, 5: Marabá, 6: Ourilândia do Norte, 7: Parauapebas, 8: Piçarra, 9: Sapucaia, 10: São Geraldo do Araguaia, 11: Xinguara.

Fonte: Autores (2022).

Neste cenário é possível perceber que a região sudeste da sub-região hidrográfica exibe os menores índices de precipitação pluviométrica média anual, especificamente nos municípios de Sapucaia, Xinguara, Piçarra, Canaã dos Carajás e Curionópolis, encontrando valores de 1665 mm. Esta região tem fortes atividades agropecuária, tendo o uso do solo majoritariamente composto por pastagens (CRUZ, 2010; IBGE, 2010), tendo, também, a nascente do Rio Vermelho (SAMPAIO, 2016), recurso hídrico importante para a drenagem da bacia.

Não obstante, os maiores valores de precipitação média anual encontram-se nas bordas da sub-região hidrográfica, distribuídos nas regiões sudoeste, oeste e nordeste notadamente nas áreas dos municípios de Ourilândia do Norte, Parauapebas e Marabá, onde exibe valores em torno de 1735 mm. Interessante observar que o Rio Itacaiúnas localiza-se nesta região, recebendo, portanto, grandes quantitativos de precipitação, aumentando sua vazão e consequentemente acrescendo os episódios de enchentes e inundações no município de Marabá, como apontam Dias et al. (2021) e Almeida (2011).

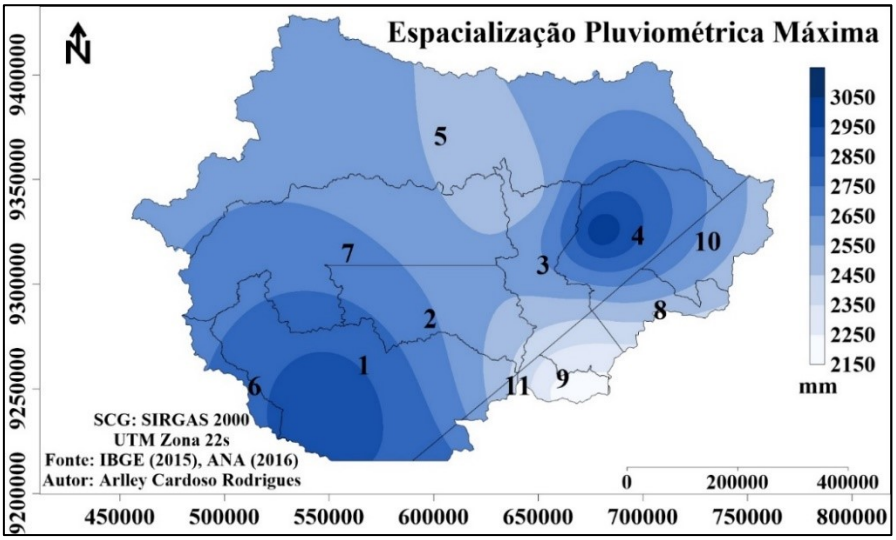
De maneira geral a distribuição das precipitações pluviométricas média anual, que variam de 1685 mm a 1725 mm, acontece contornando a região de menor precipitação, obedecendo um padrão crescente, desta maneira abrange áreas majoritárias dos municípios de Água Azul do Norte, Parauapebas, Marabá, Eldorado dos Carajás e uma pequena área de São Geraldo do Araguaia.

É importante apontar a relação uso e cobertura do solo no ciclo hidrológico da região das sub-bacias dos Rios Parauapebas, Vermelho e Sororó, localizada a sul da SRHI. Nesta região é registrado os menores valores de precipitação média, aliado a isso sofreu, ao longo da série temporal, intenso desflorestamento para a atividade de pastagens (SOUZA-FILHO et al., 2016).

Contrariamente, a sub-bacia do Rio Cateté apresenta maiores fragmentos de formação florestal, bem com as unidades de conservação, causando, portanto, uma melhor interceptação da precipitação ocasionando uma boa drenagem e menor produção de sedimentos para o recurso hídrico, uma vez que esta região exibe os maiores valores de precipitação média.

A análise da distribuição pluviométrica máxima anual nos permite identificar as regiões e os municípios que apresentam episódios de chuvas com maior intensidade (Figura 8), variando de 2150 mm a 3050 mm. Neste cenário, os anos de 2009, 2000, 1999 e 2008 apresentaram, em ordem decrescente, os maiores índices de precipitação pluviométrica anual, é possível observar a distribuição espacial no apêndice.

Figura 8 - Distribuição Espacial Máxima de Precipitação da SRHI.



Legenda: 1: Água Azul do Norte, 2: Canaã dos Carajás, 3: Curionópolis, 4: Eldorado dos Carajás, 5: Marabá, 6: Ourilândia do Norte, 7: Parauapebas, 8: Piçarra, 9: Sapucaia, 10: São Geraldo do Araguaia, 11: Xinguara.
Fonte: Autores (2022).

Sendo assim, visualmente nota se um padrão heterogêneo de distribuição, onde os menores valores de precipitação máxima anual são encontrados na região sudeste da sub-região hidrográfica, similarmente ao padrão da precipitação média anual, e os maiores valores

são encontrados em duas regiões, leste e sudoeste da sub-região hidrográfica.

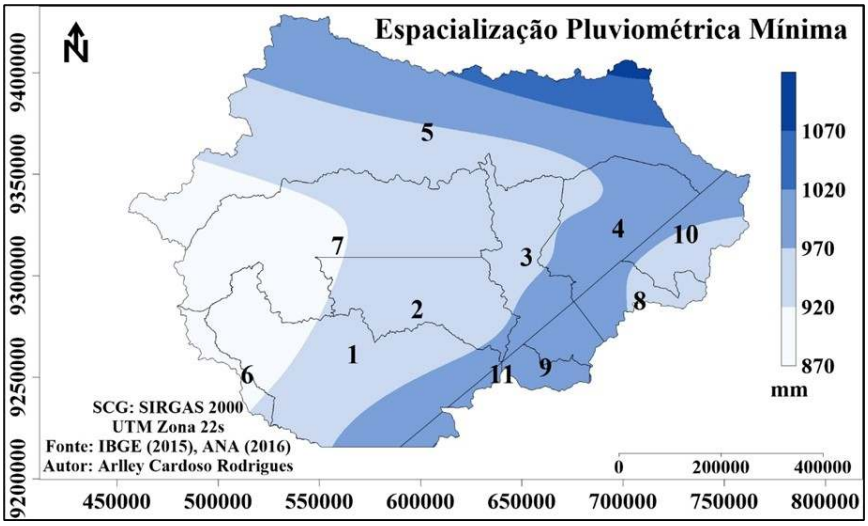
É possível observar que os municípios de Sapucaia, Xinguara e pequenas áreas de Curionópolis, Piçarra e Canaã dos Carajás, apresentam os menores máximos anuais de precipitação, 2150 mm.

Já os maiores índices de precipitação pluviométrica máxima anual (acima de 2650 mm) é encontrado em duas regiões distintas da sub-região hidrográfica, na região sudoeste compreendendo os municípios de Água Azul do Norte, Ourilândia do Norte, Parauapebas e Canaã dos Carajás.

Similarmente a região leste recebe, também, os maiores índices de precipitação máxima anual, especificamente nos municípios de Eldorado dos Carajás e pequenas áreas de Curionópolis, Marabá e São Geraldo do Araguaia, aumentando a vazão dos Rios Caeteté e Itacaiúnas.

A análise da precipitação mínima anual nos permite identificar as regiões e os municípios que exibem os menores episódios de intensidade das chuvas (Figura 9) variando de 870 mm a 1070 mm. Sendo que os anos de 2015, 1992, 2016 e 1993 apresentam, respectivamente, os menores índices de chuvas, conforme pode ser observado no apêndice.

Figura 9 - Distribuição Espacial Média de Precipitação da SRHI.



Legenda: 1: Água Azul do Norte, 2: Canaã dos Carajás, 3: Curionópolis, 4: Eldorado dos Carajás, 5: Marabá, 6: Ourilândia do Norte, 7: Parauapebas, 8: Piçarra, 9: Sapucaia, 10: São Geraldo do Araguaia, 11: Xinguara.

Fonte: Autores (2022).

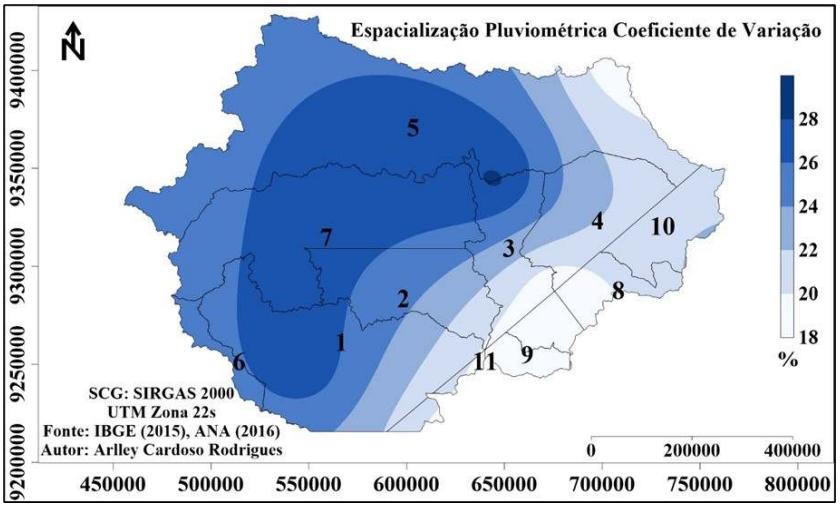
Nota se um panorama homogêneo na distribuição da precipitação mínima anual na

sub-região hidrográfica que inicia se nas regiões noroeste, oeste e sudoeste (870 mm) observando um contorno crescente para as demais regiões. É importante ressaltar que o Mosaico de Carajás e os maiores projetos de mineração do estado localiza se na região oeste da sub-região hidrográfica.

Neste cenário, parte dos municípios de Parauapebas, Marabá, Canaã dos Carajás e Ourilândia do Norte exibem os menores índices anuais, inferiores a 920 mm. Já na região norte da sub-região hidrográfica, precisamente no município de Marabá está presente os maiores mínimos anuais, superior a 1020 mm.

A distribuição espacial da variabilidade temporal da precipitação anual da SRHI está ilustrada na Figura 10, apresentando um coeficiente de variação de 18% a 28%, exibindo, portanto, uma variabilidade temporal média. Nota se visualmente um padrão decrescente da variabilidade temporal partindo da região central, oeste e noroeste para as demais regiões da sub-região hidrográfica.

Figura 10 - Distribuição Espacial de Coeficiente de Variação de Precipitação da SRHI.



Legenda: 1: Água Azul do Norte, 2: Canaã dos Carajás, 3: Curionópolis, 4: Eldorado dos Carajás, 5: Marabá, 6: Ourilândia do Norte, 7: Parauapebas, 8: Piçarra, 9: Sapucaia, 10: São Geraldo do Araguaia, 11: Xinguara.

Fonte: Autores (2022).

Neste contexto, a região sudoeste, especificamente os municípios de Xinguara, Sapucaia e pequenas áreas de Curionópolis, Piçarra e Eldorado dos Carajás apresentam índices de 18% de variabilidade, notadamente no nordeste da sub-região hidrográfica, precisamente no município de Marabá, também exibe o menor valor de variabilidade temporal da precipitação.

O maior índice de variabilidade temporal, 28%, localiza em uma pequena área na região central, especificamente na divisa dos municípios de Marabá e Eldorado dos Carajás. Enquanto que grandes áreas dos municípios de Marabá, Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte, região centro-sudoeste, apresentam variabilidade temporal de acima de 26%.

É interessante notar que os municípios de Curionópolis e Marabá apresentam, em seu território, coeficiente de variação de 18% a 28%, enquanto que o município de Sapucaia apresenta apenas o menor índice de variabilidade temporal registrado para a SRHI.

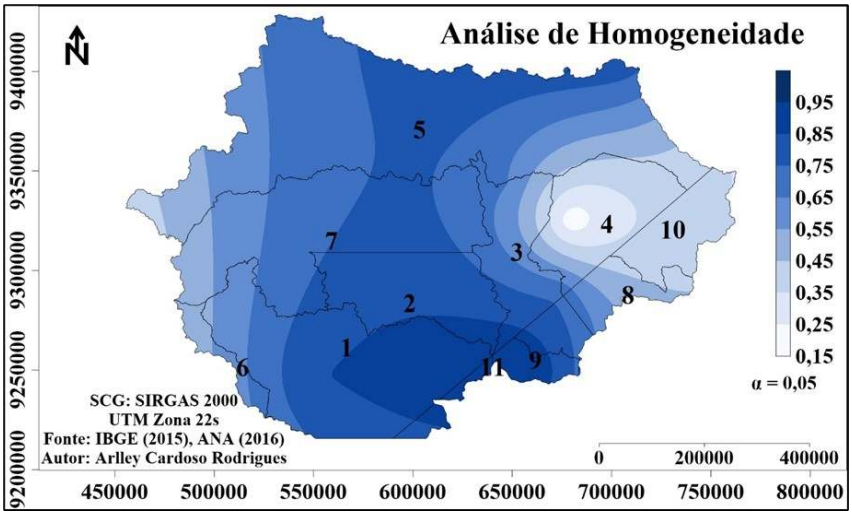
3.4 Análise de Homogeneidade e Tendência

Para análise de homogeneidade da série obtivemos resultados que variaram de 0,03 a 0,85, de maneira geral, as estações internas não mostram modificações bruscas na série temporal estudada, indicando, portanto, uma homogeneidade da variabilidade temporal da precipitação pluviométrica.

Portanto, a estação pluviométrica de Araguatins exibe uma serie temporal com dois períodos, o período de janeiro/1986 a abril/2014 apresentou precipitação média de 133,10 mm, já o período de maio/2014 a dezembro/2018 exibe precipitação média de 109,58 mm, indicando um decréscimo. Enquanto que a estação pluviométrica de São Félix do Xingu apresenta o período de janeiro/1986 a maio/2006 uma média de 170,80 mm já o período de junho/2006 a dezembro/2018 mostra uma média de 134,25 mm.

De acordo com o Figura 9 observa se o padrão espacial da homogeneidade da variação temporal da precipitação da SRHI, nota se uma região de menor crescimento no leste da sub-região hidrográfica, compreendendo os municípios de Eldorado dos Carajás e pequenas áreas de São Geraldo do Araguaia e Curionópolis indicando os menores valores. Enquanto que na região sul da bacia, especificamente nos municípios de Sapucaia, Xinguara, Água Azul do Norte e uma pequena área de Canaã dos Carajás, apresentam os maiores valores, exibindo assim uma homogeneidade mais robusta.

Figura 9 - Distribuição Espacial da Análise Homogeneidade de Precipitação da SRHI.



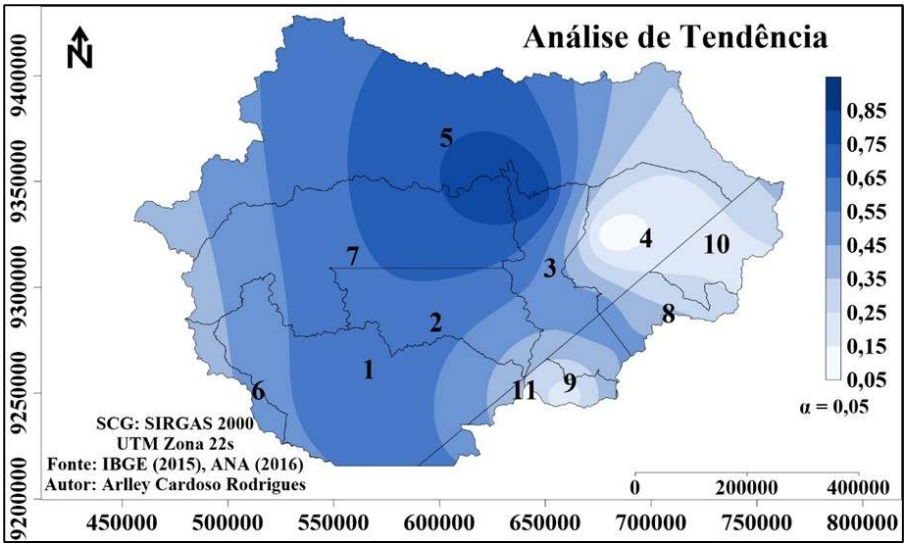
Legenda: 1: Água Azul do Norte, 2: Canaã dos Carajás, 3: Curionópolis, 4: Eldorado dos Carajás, 5: Marabá, 6: Ourilândia do Norte, 7: Parauapebas, 8: Piçarra, 9: Sapucaia, 10: São Geraldo do Araguaia, 11: Xinguara.

Fonte: Autores (2022).

A forma estacionaria da variabilidade temporal da precipitação pluviométrica observada no Pettitt run test é corroborada no teste de Mann Kendall. O teste de Mann Kendall não mostrou aumento ou diminuição da variabilidade da precipitação durante a serie temporal estudada. Desta forma, não foi observada uma tendência significativa, quando aplicado um teste de 5% de significância nas estações pluviométricas internas da SRHI, isto provaria um acréscimo ou decréscimo do volume de chuva na sub-região hidrográfica. Portanto o volume de chuvas na SRHI durante a série estudada manteve constante apesar da intensa dinâmica de desflorestamento e de uso e ocupação do solo que a bacia sofreu durante a serie temporal estudada. Lira (2019) aponta a origem destas mudanças relacionadas tanto a ações antrópicas quanto as ações climáticas.

A distribuição espacial na Figura 10 nos mostra três zonas: duas de menor crescimento e uma de maior crescimento, indicando o quantitativo do teste de Mann Kendall. Desta forma, é evidenciado na região leste, notadamente nos municípios de Eldorado dos Carajás e São Geraldo do Araguaia, e região sul, no município de Sapucaia, uma zona de menor crescimento. Enquanto que se observa na região central da bacia, especificamente na divisa dos municípios de Marabá, Curionópolis e Parauapebas uma zona de maior crescimento.

Figura 10 - Espacialização do Teste de Mann Kendall por estação pluviométrica da SRHI.



Legenda: 1: Água Azul do Norte, 2: Canaã dos Carajás, 3: Curionópolis, 4: Eldorado dos Carajás, 5: Marabá, 6: Ourilândia do Norte, 7: Parauapebas, 8: Piçarra, 9: Sapucaia, 10: São Geraldo do Araguaia, 11: Xinguara.

Fonte: Autores (2022).

Apesar das estações pluviométricas não apresentar uma tendência significativa para o nível de significância considerado, o estimador Sen's (índice presente no teste do Mann Kendall) dá indícios de uma pequena diminuição de precipitação ao longo do estudo. Sendo assim, as estações pluviométricas 649000, 649001, 651001,64800, 549008 e 82562 apresentaram um decréscimo que varia de -0,001 km^3/mm a -0,003 km^3/mm.

Neste cenário, as tendências encontradas neste estudo corroboram com os resultados de estudos anteriores. Salviano et al. (2016) em seu estudo analisaram as tendências temporais de precipitações no Brasil durante os anos de 1961 a 2011, os resultados evidenciaram tendências não significativas em 70% do território brasileiro em todos os meses, incluindo a Mesorregião Sudeste Paraense.

Já Loureiro et al. (2015) analisaram as precipitações pluviométricas na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, no período de 1977 a 2006, os resultados não demonstraram tendências significativas na sub-bacias do Tocantins Baixo, onde a SRHI está localizada, corroborando, assim, com os resultados encontrados. Penereiro et al. (2015); Penereiro et al. (2016) em seu estudo apontam, também, para uma tendência não significativa para esta região, pontuando, inclusive, a complexidade para apontar as causas antrópicas e variações naturais do clima a esse fenômeno.

Ishihara et al. (2014) estudaram o comportamento das precipitações na Amazônia

Legal no período de 1978 a 2007, os resultados exibiram uma diminuição acentuada na região sudeste, no entanto não demonstra uma tendência significativa, atribuindo essa redução à retirada da cobertura vegetal, uma vez que essa região está no arco do desmatamento.

As tendências de precipitação pluviométricas no estado do Pará, conforme estudos de Menezes; Fernandes (2016); De Souza et al. (2017), confirmam que não houve acréscimo ou decréscimo da variabilidade temporal da precipitação na Mesorregião Sudeste Paraense, indicando uma tendência não significativa. Comparativamente, Neves et al. (2021) analisaram a precipitação pluviométrica do sudeste paraense, no período de 1986 a 2015, demostrando que não houve tendência significativa, indicando, também, redução nas oscilações pluviométricas.

É interessante ressaltar as alterações na cobertura vegetal, bem como no uso e ocupação do solo, na SRHI e suas prováveis relações na variabilidade temporal da precipitação, uma vez que esta sub-região hidrográfica se localiza no arco do desmatamento onde há forte influência das atividades agropecuárias e de mineração, em contrapartida as análises demonstraram uma homogeneidade e tendência não significativa. Sendo assim, algumas pesquisas apontam a influência dos fenômenos atmosféricos (ALBUQUERQUE et al., 2010) e outros pesquisadores sinalizam a influência do desmatamento (LEITE-FILHO et al., 2021) na tendência e homogeneidade de uma série temporal.

Neste contexto, Souza-Filho et al. (2015) relatam a alteração da cobertura vegetal e uso e ocupação do solo na Bacia do Itacaiúnas, no período de 1984 a 2013, os resultados mostraram uma conversão da floresta e savana para diferentes uso da terra, especificamente a floresta foi convertida em, aproximadamente, 1,7 milhão ha em pastagens, menos de 9.000 ha em mineração e aproximadamente 6.000 ha em áreas urbanas, já a savana teve 1.400 ha convertidos em área de mineração.

Neste cenário, Souza-Filho et al. (2016) expõem as mudanças na cobertura vegetal da SRHI durante quatro décadas, 1973 a 2013, os resultados demonstraram que 48% da floresta permanece inalterado enquanto que 50% da área é ocupada por pastagem, os pesquisadores ressaltam que não há evidencia que relacione a conversão da floresta em pastagens nas modificações hidroclimatologicas da SRHI, observando ainda que as condições ambientais mais secas são provenientes de aumento na temperatura do ar, diminuição da umidade relativa e aumento da vazão no rio.

Por fim, Cavalcante et al. (2019) avaliaram os efeitos da variabilidade climática e das atividades antrópicas no balanço hídrico anual da SRHI, as análises evidenciaram um aumento significativos na vazão média anual do rio e na evapotranspiração anual durante anos após os episódios de desmatamentos na região, todavia não encontraram aumentos na precipitação.

4. CONCLUSÃO

A SRHI apresenta um regime hidrológico bem definido, período mais chuvoso, de novembro a abril, e período menos chuvoso, de maio a outubro. A análise espacial revelou que a região sudeste da SRHI apresenta os menores índices de precipitação, exibidos na média, máxima e mínima. Enquanto que os maiores índices demonstram uma espacialização maior na área da SRHI;

O coeficiente de variância evidenciou uma variabilidade da precipitação pluviométrica de baixa intensidade, exibindo, portanto, uma relativa estacionariedade na variação temporal da série estudada;

O teste de Pettitt não mostrou mudanças abruptas na série temporal, sendo assim a série é caracterizada como homogênea. Similarmente, o teste de Mann Kendall demonstrou que não há tendência significativa, ao nível de 5% de significância. Neste cenário, considerando a intensa dinâmica de desmatamento que aconteceu na região durante a série estudada, é possível apontar que esse fenômeno estacionário pode ter relação com os fenômenos climáticos que mantem constante a variabilidade temporal na série de dados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M.; SOUZA, E.; OLIVEIRA, M.; JÚNIOR, J. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 6, n. 6, p. 151–168, 2010. Disponível em: https://locus.ufv.br//handle/123456789/25589. Acesso em: 7 dez. 2021.

ALCÂNTARA, L. *et al.* Análise de tendência para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, *[S. l.]*, v. 4, n. 2, p. 130–139, 2019. Disponível em: https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/2377. Acesso em: 21 jan. 2021.

ALMEIDA, José. Os Riscos Naturais e a História: o caso das enchentes em Marabá (PA). **Tempos Históricos,** *[S. L.],* v. 15, n. 2, p. 205–238, 2011. Disponível em: https://e-

revista.unioeste.br/index.php/temposhistoricos/article/view/7205. Acesso em: 6 jul. 2023.

AMADOR, Maisa; SILVA, Charlei. O Preenchimento de Falhas de Séries Históricas de Precipitação: o método de ponderação regional associado ao hidroplu e o hidroweb. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas,** *[S. L.]*, v. 1, n. 31, p. 178-202, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/9699. Acesso em: 6 jul. 2023.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, *[S. L.]*, v. 27, n. 4, p. 423–434, 2012 Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/4Zvns7Sc8f3qtKPTK4Qd9yb/?lang=pt#ModalTutors. Acesso em: 6 jul. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **HIDROWEB.** Brasília. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao. Acesso em: 6 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia.** Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília. 2009. Disponível em: https://www.sena do.gov.br/comissoes/CDR/AP/AP20090528_ANA-Jos%C3%A9Lu izZobiRioTocantins-Araguaia.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

ARTAXO, P. *et al*. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. **Ciência e Cultura.** São Paulo v. 66 n. 3. 2014. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252014000300014. Acesso em: 25 jun. 2022.

BORGES, T. C. **Gestão de Recursos Hídricos na Amazônia:** uma análise do uso múltiplo da água na região e suas implicações socioambientais. 2019. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/157/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Gest%C3%A3oRecursosH%C3%ADdricos.pdf. Acesso em: 14 jun. 2022.

BRITO, A.P. *et al.* Analysis of the Rain Anomaly Index and Precipitation Trend for Pluviometric Stations in Central Amazonia. **Revista Brasileira de Mereoroligia,** v. 37, n. 1, 2022. . Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/CjnMcYLcgF894p8RKBFfn9K/abstract/ ?lang=em. Acesso em: 25 jun. 2022.

CARNEIRO, M. S. Mineração, Siderurgia e Desenvolvimento na Amazônia Oriental: um Balanço da Experiência do Programa Grande Carajás. *in:* CONGILIO, C. R., BEZERRA, R., MICHELOTTI, F. (org.). **Mineração, trabalho e conflitos amazônicos no sudeste do Pará**, Marabá: Iguana, 2019. p.98-121.

CAVALCANTE, R. B. L.; PONTES, P. R. M.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE SOUZA, E. B. Opposite Effects of Climate and Land Use Changes on the Annual Water Balance in the Amazon Arc of Deforestation. **Water Resources Research,** v. 55, n. 4, p. 3092–3106, 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019WR025083. Acesso em: 16 dez. 2021.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2013. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&LIVRO=216&TITULO=hidrologia_para_engenharia_e_ciencias_ambientais. Acesso em: 16 dez. 2021.

CONTI, José Bueno. **Clima e Meio Ambiente.** São Paulo. Atual, 1998. Disponível em: https://www.coletivoleitor.com.br/wp-content/uploads/2020/01/clima-e-meio-ambiente.pdf. Acesso em: 16 dez. 2021.

CRUZ, F. M. **Avaliação geoambiental e hidrológica da bacia do rio Itacaiunas**, **PA**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém. 2010. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/10980/1/Dissertacao_AvaliacaoGeoambientalHidrologica.pdf. Acesso em: 7 dez. 2021.

DIAS, M. B.; GALINA, N. R.; ALVES, C. N. Mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas: estudo de caso no município de Marabá, Sudeste do estado do Pará, Região Norte do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais,** v.12, n. 6, p. 347-359, 2021.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica,** v. 28, n. 2, p. 101–101, 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/j/aa/a/NVRbNSn7P5z4hjtFNmMjLjx/abstrac t/?lang=pt. Acesso em: 7 dez. 2021.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America : impacts on seasonal precipitation , extreme events , and possible effects of climate change. **Stoch Environ Res Risk Assess,** v. 25, p. 537–554, 2011. Disponível em:https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1375208. Acesso em: 7 dez. 2021.

HOFFMANN, E. L. *et al.* Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazôniparaense, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 11, n. 4, p. 1251–1263, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234327. Acesso em: 2 dez. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/?1=. Acesso em: 14 dez. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios Paraenses,** 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/ economicas/contas-nacionais/9088-produto interno-bruto-dos-municipios.html?t=pib-por-municipio&c=1504208. Acesso em: 14 dez. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Macrocaracterização dos recursos naturais do Brasil:** províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos, regiões fitoecológicas e outras areas. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET.** Brasília. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 6 dez. 2021.

ISHIHARA, J. *et al.* Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** v. 19, n. 1, p. 29–39,

2014. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east1.amazonaws.com/Sumarios/161/0564516a6acd33f30e2e3acd87d6f1f2_251f311210a9854bfc25cff6396fd759.pdf. Acesso em: 6 dez. 2021.

LEITE-FILHO, A. T. *et al*. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications** *2021 12:1*, v. 12, n. 1, p. 1–7, 2021. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41467-021-22840-7. Acesso em: 16 dez. 2021.

LIRA, R. B. P. **Avaliação do comportamento e da tendência pluviométrica na Amazônia Legal no período de 1986 a 2015.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/11985. Acesso em: 3 dez. 2021.

LOPES, M. N. G. Climatologia Regional da Precipitação no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 1, p. 84–102, 2013. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/31402. Acesso em: 3 dez. 2021.

LOUREIRO, G. E.; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H. Acta Scientiarum Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. **Acta Scientiae,** v. 37, n. 1, p. 89–98, 2015. Disponível em: https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/20778. Acesso em: 3 dez. 2021.

MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L. Análise de Tendência e Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará**. Enciclopédia Biosfera,** Goiânia, v. 13, n. 24, p. 1580–1591, 2016. Disponível em: https://www.conhecer.org.br/enciclop/2016b/sociais/analise%20de%20tendencia.pdf. Acesso em: 3 dez. 2021.

MICROSOFT EXCEL. **Versão 2016**. Microsoft Corporation. , 2016. [S. l.].

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia.** Brasília: MMA, 2006.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e Excepcionalismo:** Conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NETO, J.L.S. Por uma geografia do clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, São Paulo, v. 2, n. 20, p. 49-62, 2015. Disponível em: https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/339. Acesso em: 6 jul. 2023.

NEVES, R. R.; MENDES, M. L.; TEIXEIRA, L. C. G. M. Aplicação de técnicas estatísticas para identificação de tendência pluviométrica no sudeste Paraense. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica,** v. 14, n. 2, p. 846–859, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.60838. Acesso em: 7 dez. 2021.

NOBRE, A. D. O futuro climático da Amazônia. *In:* NOBRE, A. D. **Relatório de Avaliação Científica**, 2014.

PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L. Ensino de aspectos da climatologia aplicados à engenharia ambiental apoiado por métodos estatísticos. **Revista Tecnologia e Sociedade,** v. 13, n. 27, p. 76–96, 2017. Disponível em:https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article /view/4473. Acesso em: 7 dez. 2021.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L. S.; BERETTA, V. Z. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 219–241, 2016. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13882. Acesso em: 15 nov. 2021.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L.; BERETTA, V. Identificação de Tendências Sazonais dos Regimes Climático e Hidrológico Na Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica,** v. 9, n. 1, p. 52–72, 2015. Disponível em: https://revista.ufrr.br/rga/article/view/2930. Acesso em: 3 dez. 2021.

PONTES, P. R. M. *et al.* The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management,** v. 235, p. 489–499, 2019. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov /30711834/. Acesso em: 3 dez. 2021.

QGIS.ORG. **QGIS Geographic Information System.** , 2021. QGIS Association.

RIBEIRO, C. M. A variabilidade do clima: Um fenômeno natural? **Cad. Geogr.** Belo Horizonte, v 6, n 8, p. 71- 77, 1996.

SALATI, E.; VOSE, P.; LOVEJOY, T. **Amazônia:** desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense; Brasília: Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983.

SALVIANO, M. F.; GROPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia***,* v. 31, n. 1, p. 64–73, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/j/rbmet/a/QDKzpZxkPwWVxbnr5NZDRSB/abstract/?lang=pt. Acesso em: 14 dez. 2021.

SAMPAIO, J. B. P. **Análise Ambiental da Área de Preservação Permanente (APP) da Margem Esquerda do Baixo Curso do Rio Itacaiúnas, Marabá-PA.** In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS: A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia, 2016, São Luís. *Anais* [...]. São Luís, 2016.

SILVA JÚNIOR, R. O. *et al.* Estimativa de precipitação e vazões médias para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1638–1654, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234039. Acesso em: 14 dez. 2021.

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Aplicação de técnicas de preenchimentode falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais - Brasil . **Geografias,** v. 15, n. 2, p. 83–106, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/16058. Acesso em: 14 dez. 2021.

SILVA, G. R. A; SILVA, F.S.; DUARTE, M. J.; TAVARES, A. R. F. Analysis of trends in the historical series of precipitation and flow stay curve in Cachoeira do Piriá, Pará. **Research, Society and**

Development, v. 10, n. 6, 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15850/14223. Acesso em: 14 dez. 2021.

SOUZA-FILHO, P. W. M. *et al.* Changes in the land cover and land use of the Itacaiúnas River watershed, ARC of deforestation, Carajás, Southeastern Amazon. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives,** v. 40, n. 7W3, p. 1491–1496, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275969081_Changes_in_the_land_cover_and_land_use_of_the_Itacaiunas_River_watershed_ARC_of_deforestation_Carajas_Southeastern_Amazon. Acesso em: 14 dez. 2021.

SOUZA-FILHO, P. W. M. *et al.* Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management,** v. 167, p. 175–184, 2016.

TUNDISI, J. A. **Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. Disponível em: https://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf. Acesso em: 14 dez. 2021.

VIEIRA, B. M. **Entenda por que está chovendo menos no Brasil e se há risco de nova crise hídrica em SP.** *g1*, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/06/14/por-que-esta-chovendo-menos-e-sao-paulo-pode-viver-nova-crise-hidrica.ghtml>. Acesso em: 4/9/2021.

WMO. Guide to Hydrological Practices. **Volume I: Hydrology–From Measurement to Hydrological Information.** Geneva: WMO, 2008.