ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AURÁ, MARANHÃO

Jorsândy Penha dos Santos [1]; Caren Andreidy Matos Aroucha [2]; Luciene Bastos Pinheiro de Almeida[3] Cláudio José da Silva de Sousa [4] .

RESUMO

O presente estudo analisou o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Aurá, localizada no estado do Maranhão, com base em séries históricas de precipitação diária do período de 1991 a 2020. Toda a área da bacia encontra-se inserida no domínio da estação pluviométrica convencional de São Luís (código 82280), cujos dados foram utilizados como base para a análise. Foram avaliadas a variabilidade da precipitação média mensal, a distribuição de frequência dos totais anuais, as chuvas máximas diárias anuais e a construção das curvas intensidade-duração-frequência (IDF), utilizando dados do INMET e processamento em ambiente SIG e ferramentas computacionais. Os resultados evidenciaram um regime pluviométrico fortemente sazonal, com concentração das chuvas no primeiro semestre do ano e acentuada redução no período seco. Observou-se elevada variabilidade interanual dos totais de precipitação, bem como comportamento irregular das chuvas máximas diárias ao longo da série histórica. As curvas IDF demonstraram que as maiores intensidades ocorrem em curtas durações, com redução progressiva conforme o aumento do tempo de chuva.
Conclui-se que a bacia hidrográfica do Rio Aurá apresenta elevada sensibilidade às variações sazonais da precipitação, refletindo diretamente na dinâmica hidrológica regional. Esses resultados reforçam a importância de estudos hidrológicos para subsidiar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos em bacias sujeitas a forte variabilidade climática.

Palavras-Chave – bacia hidrográfica; variabilidade da precipitação; intensidade-duração-frequência.

ABSTRACT

The present study analyzed the hydrological behavior of the Aurá River watershed, located in the state of Maranhão, Brazil, based on historical daily precipitation series from 1991 to 2020. The entire watershed area is located within the influence domain of the conventional pluviometric station of São Luís (code 82280), whose data were used as the basis for the analysis. The variability of mean monthly precipitation, the frequency distribution of annual totals, annual maximum daily rainfall, and

[1] Discente do Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís – MA, Brasil. Cidade Universitária Paulo VI, Rua da Estação s/n, Tirirical, São Luís – MA, CEP 65055-970. Tel.: (98) 99755544. E-mail: santosjorsandy@gmail.com. [2] Discente do Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís – MA, Brasil. Cidade Universitária Paulo VI, Rua da Estação s/n, Tirirical, São Luís – MA, CEP 65055-970. Tel.: (98) 996064036. E-mail.carenaroucha@gmail.com [3] Discente do Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Penalva – MA, CEP 65213-000. Tel.: (98) 985022123. E-mail: luciene.bast@gmail.com. [4] Docente do Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís – MA, Brasil. Cidade Universitária Paulo VI, Rua da Estação s/n, Tirirical, São Luís – MA, CEP 65055-970. Tel.: (98) 981027807. E-mail: claudio@professor.uema.br

the development of intensity-duration-frequency (IDF) curves were evaluated using INMET data processed in a GIS environment and computational tools. The results revealed a strongly seasonal rainfall regime, with precipitation concentrated in the first half of the year and a marked reduction during the dry period. High interannual variability in total precipitation was observed, as well as irregular behavior of maximum daily rainfall throughout the historical series. The IDF curves showed that the highest rainfall intensities occur over short durations, with a progressive decrease as rainfall duration increases.
It is concluded that the Aurá River watershed exhibits high sensitivity to seasonal precipitation variability, directly influencing regional hydrological dynamics. These findings highlight the importance of hydrological studies to support planning and water resources management in watersheds subject to strong climatic variability.

Keywords – watershed; precipitation variability; intensity-duration-frequency.

1 - INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos principais desafios da atualidade em escala global, devido aos seus impactos sobre os recursos naturais e o desenvolvimento sustentável (Canto, 2025). Além disso, seus efeitos manifestam-se de forma desigual entre as diferentes regiões do planeta, influenciando diretamente a disponibilidade dos recursos hídricos (Dias; Matos, 2023).

Nesse contexto, a água é um recurso indispensável para a manutenção da vida e do equilíbrio ambiental (Netto, 2022). O ciclo hidrológico regula a circulação da água no planeta, sendo a fase líquida fundamental para os ecossistemas e para as atividades humanas (Tundisi, 2003). Por sua vez, a abundância pluviométrica constitui uma das principais características do clima tropical; entretanto, sua distribuição temporal e espacial ocorre de forma irregular. (Terassi; Correa; Galvani, 2017).

A análise da precipitação é fundamental em estudos hidrológicos, caracterizadas por elevados volumes em curtos períodos de tempo, essas chuvas estão associadas a danos ambientais, econômicos e sociais, além de favorecerem processos erosivos e perdas de solo (Bielenki *et al*., 2016). Segundo os autores, sua caracterização depende da intensidade, duração e frequência de ocorrência, parâmetros que originam as curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), amplamente utilizadas em estudos hidrológicos e no dimensionamento de obras hidráulicas. Além disso, a análise de séries históricas permite identificar tendências temporais e avaliar possíveis alterações climáticas (Santos *et al*., 2009), enquanto a análise probabilística possibilita estimar a recorrência de eventos de chuva intensa e subsidiar o planejamento dos recursos hídricos. (Penner; Nascimento, 2018).

Silveira (2015) destaca que a quantificação temporal da precipitação, por meio de parâmetros como médias, variabilidade, assimetria, frequência, intensidade, probabilidade, tempo de retorno e distribuição espacial, permite compreender melhor a distribuição das chuvas ao longo do ano.

As bacias hidrográficas são unidades fundamentais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, uma vez que integram processos relacionados ao escoamento superficial, infiltração e disponibilidade de água. Nesse contexto, a bacia hidrográfica do Rio Aurá possui área aproximada de 1.184,59 km², estando inserida na região do Atlântico Nordeste Ocidental e integrada à Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. Essa região apresenta elevada biodiversidade, o que possibilita múltiplos usos dos recursos hídricos, como recreação, pesca, transporte e atividades agrícolas (Mendes, 2018).

De maneira complementar, Martins, Mendes e Pereira (2017) ressaltam que a bacia do Rio Aurá apresenta elevada relevância ecológica e socioeconômica por estar inserida em uma área ambientalmente protegida. Apesar da existência de estudos voltados à caracterização ambiental e fisiográfica da bacia, ainda são escassos os trabalhos com abordagem hidrológica quantitativa, especialmente aqueles relacionados à análise estatística da precipitação e das chuvas máximas.

Além disso, observa-se que a análise de chuvas máximas anuais na bacia do Rio Aurá ainda apresenta limitações quanto à disponibilidade de estudos comparativos baseados em séries históricas, o que evidencia a necessidade de investigações mais aprofundadas sobre o comportamento das chuvas na região. Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar os dados hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Aurá, com foco nas precipitações médias mensais, distribuição de frequência dos totais anuais, chuvas máximas anuais e construção das curvas de intensidade-duração-frequência, buscando compreender as condições hidrológicas da região e o comportamento das chuvas na bacia.

2 - MATERIAS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Aurá possui área aproximada de 1.184,59 km², estando inserida na região do Atlântico Nordeste Ocidental, localizada na porção norte do estado do Maranhão. A bacia abrange parcialmente diversos municípios, como São Vicente Ferrer, São Bento, Bacurituba, Palmeirândia, Peri Mirim, Alcântara, Bequimão, São João Batista e Cajapió, além de integrar a Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense (Mendes *et al*., 2017).

Os procedimentos metodológicos foram organizados em etapas que envolveram a delimitação da bacia hidrográfica, aquisição e processamento de dados hidrometeorológicos, bem como a análise

estatística das precipitações, considerando o comportamento temporal e espacial das chuvas na área de estudo.

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Aurá foi realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio dos softwares QGIS e HEC-HMS, utilizando como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus Global DSM 30 m, o qual foi reprojetado para o sistema de coordenadas UTM zona 23S (WGS 84). No HEC-HMS, foram executadas etapas fundamentais como preenchimento de depressões, geração da rede de drenagem, identificação dos canais e definição do exutório da bacia, permitindo a modelagem hidrológica e a extração das sub-bacias para análise espacial. A figura 1 apresenta a área delimitada da bacia hidrográfica obtida por meio do HEC-HMS.

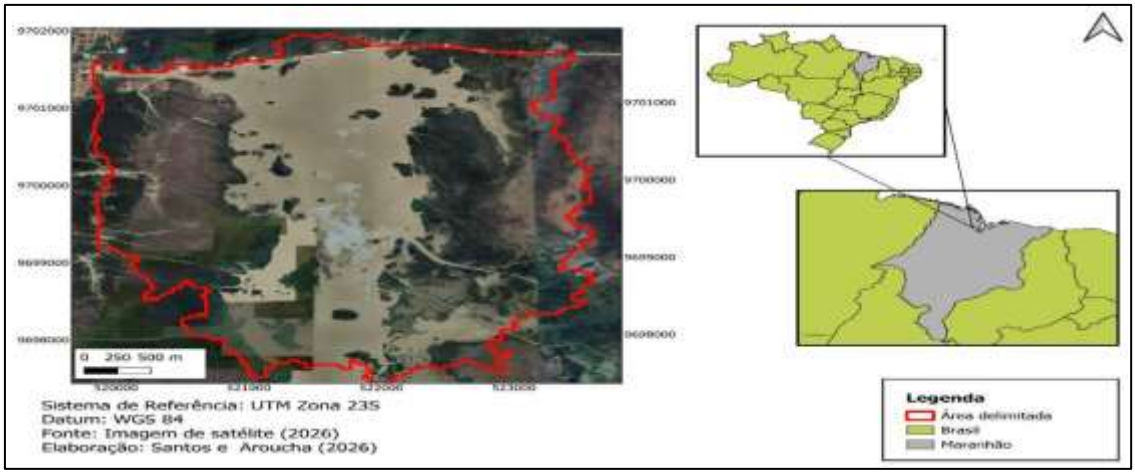


Figura 1: Área de delimitação da bacia hidrográfica

Para definir as áreas de influência das estações pluviométricas, no QGIS, foram definidos os polígonos de Voronoi ou de Thiessen. Para tanto, observou-se que toda a bacia investigada encontra-se totalmente inserida no domínio da estação pluviométrica convencional de São Luís (código 82280). Esse procedimento permitiu estimar a representatividade espacial da estação e sua relação com a distribuição da precipitação média na bacia, possibilitando uma melhor compreensão da variabilidade espacial das chuvas.

Os dados hidrometeorológicos utilizados neste estudo foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo séries históricas de precipitação diária no período de 1991 a 2020. Após a aquisição, os dados foram organizados e processados em ambiente computacional no Google Colab, com o auxílio de ferramentas de inteligência artificial, utilizadas como apoio na organização, correção de inconsistências, estruturação dos dados e melhoria da redação técnica dos procedimentos. Em seguida, os dados foram refinados

no Microsoft Excel, onde foram estruturados em tabelas organizadas por ano e mês, com padronização de unidades, verificação de consistência e ajuste de formatação numérica.

A partir dos dados pluviométricos da estação São Luís, foram calculados os totais mensais, as médias mensais e os totais anuais de precipitação. Para a análise da frequência das precipitações, utilizaram-se os totais anuais de precipitação, sobre os quais foi aplicada a distribuição de frequência pelo Método de Kimball, permitindo determinar a frequência relativa e estimar os respectivos tempos de retorno. Adicionalmente, empregou-se a equação de Ven Te Chow para estimar as precipitações máximas associadas aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, considerando os parâmetros estatísticos da série histórica de precipitações máximas diárias anuais.

Por fim, foram aplicados fatores de desagregação para diferentes durações de chuva, incluindo 24 horas, 12 horas, 6 horas, 1 hora, 30 minutos e 10 minutos, permitindo o cálculo das intensidades pluviométricas. A partir desses resultados, foram construídas as curvas intensidade-duração-frequência (IDF), utilizadas para representar o comportamento das chuvas extremas na bacia hidrográfica do Rio Aurá, sendo fundamentais para a análise hidrológica da região.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da precipitação média mensal da bacia hidrográfica do Rio Aurá (Figura 2) demonstrou um regime pluviométrico com forte sazonalidade. Os maiores registros de precipitação foram observados entre janeiro e maio, com destaque para março, que apresentou a média mensal de 452,0 mm. Em abril, os valores permaneceram elevados, mantendo comportamento semelhante ao mês anterior. Em contrapartida, no período seco observou-se redução acentuada das precipitações, com registros próximos de 0,0 mm entre agosto, setembro e outubro, caracterizando o período de estiagem. Já em novembro e dezembro, observa-se aumento gradual das chuvas, indicando a transição para um novo ano hidrológico.

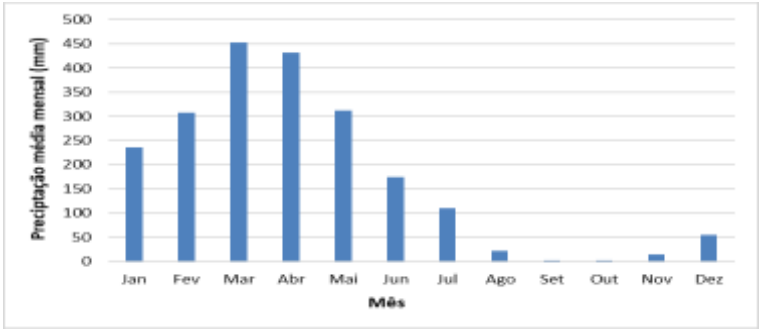


Figura 2 - Precipitação média mensal da bacia hidrográfica

A análise da frequência relativa (%) em relação à precipitação total anual (Figura 3) demonstrou que os menores volumes de chuva apresentam maior frequência de ocorrência na bacia do rio Aurá, no Maranhão, enquanto os maiores totais pluviométricos ocorrem com menor frequência. Observa-se uma relação inversa entre a precipitação anual e a frequência relativa, indicando que eventos extremos de chuva são mais raros na série analisada. Os valores variaram aproximadamente entre 1.133 mm e 2.847 mm anuais, evidenciando a amplitude dos totais anuais na região.

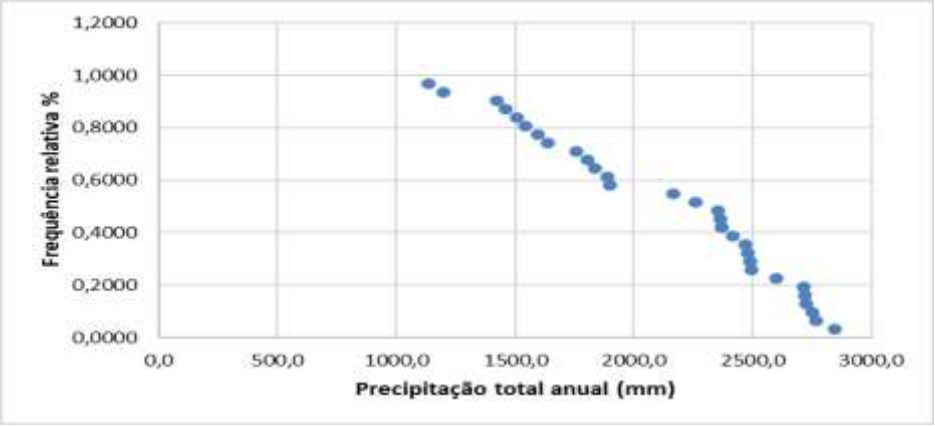


Figura 3 - Gráfico de Frequência relativa (%) x Precipitação total anual (mm)

Em relação à precipitação máxima diária anual (Figura 4), observou-se elevada variabilidade ao longo da série histórica, com alternância entre períodos de maior e menor ocorrência de chuvas máximas. O maior valor foi registrado em 2019 234,4 mm, enquanto o menor ocorreu em 2005 65,6 mm. Entre 2006 e 2011, verificou-se tendência de aumento dos valores máximos diários, com destaque para os anos de 2011, 2014 e 2019, que apresentaram eventos mais intensos, evidenciando a ocorrência de chuvas intensas na bacia. De modo geral, os dados apresentaram comportamento irregular, característica comum em séries hidrológicas influenciadas pela variabilidade climática.

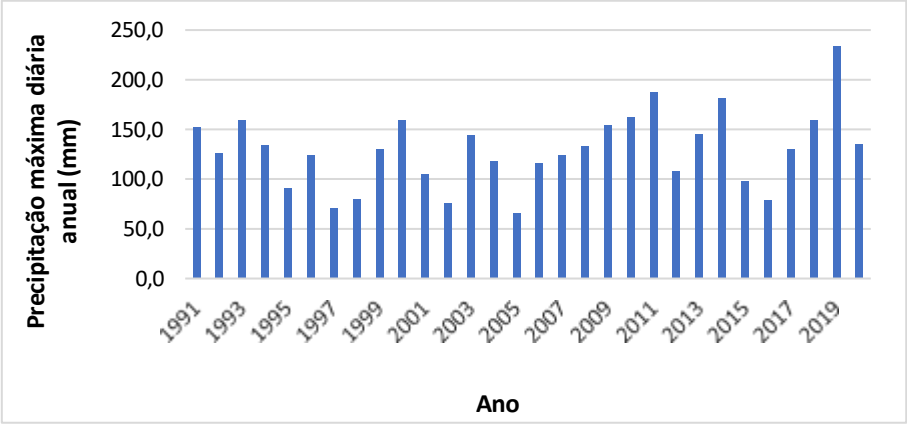


Figura 4 - Precipitação máxima diária anual na bacia hidrográfica

A análise das curvas intensidade-duração-frequência (Figura 5) evidenciou que as maiores intensidades de precipitação ocorrem nos menores intervalos de duração, principalmente entre 5 e 10 minutos. À medida que a duração da chuva aumenta, a intensidade diminui gradualmente em todos os tempos de retorno analisados. Observou-se ainda que os maiores valores de intensidade estão associados ao tempo de retorno de 100 anos, enquanto os menores correspondem ao tempo de retorno de 5 anos. Esse comportamento indica que eventos extremos, embora menos frequentes, apresentam maior potencial de impacto hidrológico, como aumento do escoamento superficial e risco de alagamentos.

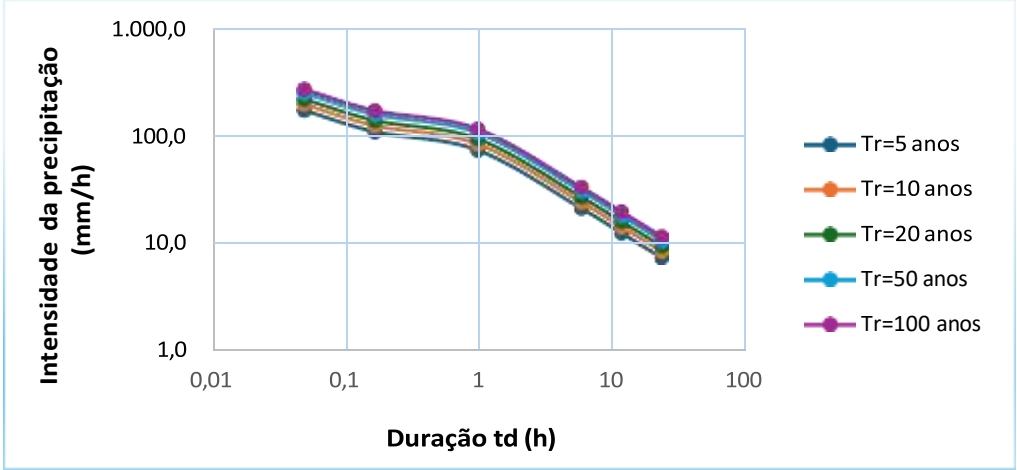


Figura 5 - Curvas de intensidade-duração-frequência das precipitações máximas na bacia hidrográfica

O comportamento hidrológico da bacia do Rio Aurá é regulado pelas precipitações pluviométricas. Associado a isso, o regime intermitente dos cursos d'água intensifica a vulnerabilidade hídrica da região, especialmente durante o período de estiagem, conforme destacado por (Mendes *et al*. 2017), o que se reflete nos baixos índices de precipitação observados na série analisada, com registros próximos de 0,0 mm em determinados meses.

No contexto socioambiental, a escassez hídrica associada à distribuição sazonal das chuvas e à ocorrência de longos períodos secos, conforme identificado no estudo de Martins, Mendes e Pereira (2018), A gestão municipal adota medidas como a construção de açudes para armazenamento de água no período chuvoso, destinados à dessedentação animal, e a perfuração de poços para abastecimento humano, ações que influenciam a economia local, especialmente na redução de atividades como a pecuária e a piscicultura, conforme discutem Martins, Mendes e Pereira (2018). Essas ações estão relacionadas à necessidade de adaptação às variações pluviométricas e às condições de vulnerabilidade hídrica da região.

O maior valor de precipitação máxima diária anual foi observado em 2019, com 234,4 mm, evidenciando a variabilidade interanual dos eventos extremos na bacia do Rio Aurá. Segundo Mendes (2018), a dinâmica pluviométrica da região é influenciada principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e por fenômenos climáticos de grande escala, como El Niño e La Niña, que podem provocar alterações significativas no comportamento das precipitações. Assim, o valor registrado em 2019 demonstra a ocorrência de um evento pluviométrico extremo em relação aos demais anos da série histórica analisada.

Apesar da ocorrência de El Niño em 2019, Andrade, Godoi e Aravéquia (2023) destacam que o norte do Nordeste registrou precipitações acima da média devido à combinação de fatores atmosféricos e oceânicos, como a fraca intensidade do El Niño, a fase negativa do Modo Meridional do Atlântico (AMM) e a atuação da Oscilação Madden-Julian (MJO), que intensificaram as chuvas da Zona de Convergência Intertropical. Os autores ainda apontam que estações no Maranhão, incluindo São Luís, registraram altos volumes pluviométricos nas últimas décadas, sugerindo que o elevado total de 2019 pode estar associado à atuação conjunta desses mecanismos climáticos.

O menor valor de precipitação máxima diária anual foi registrado em 2005, com 65,6 mm, caracterizando um período com menor ocorrência de chuvas intensas na série histórica analisada. Zeng *et al*. (2008) identificaram condições de seca em diversas regiões da América do Sul, incluindo o Nordeste brasileiro, associadas ao aquecimento anômalo do Atlântico Norte tropical. Segundo os autores, esse cenário favoreceu o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para latitudes mais ao norte, contribuindo para a redução das precipitações na região.

Essas condições influenciam a dinâmica econômica regional, com redução de atividades como pecuária e piscicultura em períodos de déficit hídrico, além de impactarem a subsistência de populações rurais e aumentarem a vulnerabilidade dos rebanhos. A presença de barragens na bacia pode alterar as características hidrológicas e o comportamento do escoamento superficial (Mendes, 2018), enquanto os eventos de alta intensidade pluviométrica identificados nas curvas IDF podem intensificar os impactos hidrológicos na região.

Em síntese, os resultados obtidos evidenciam a forte relação entre a variabilidade das precipitações, a ocorrência de chuvas médias, totais anuais, máximas diárias para diferentes tempos de retorno e a vulnerabilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Aurá, demonstrando um sistema hidroclimático sensível às variações sazonais e às mudanças nos padrões de chuva.

4 - CONCLUSÃO

A análise do comportamento hidrológico da bacia do Rio Aurá evidenciou um regime sazonal bem definido, com chuvas concentradas no primeiro semestre e redução no período seco, além de forte variabilidade anual associada a eventos de chuva intensa, indicando a influência de fatores climáticos de maior escala.

Os resultados de precipitações médias mensais, totais anuais, máximas diárias e curvas IDF mostram um regime irregular, com eventos mais intensos em curtos períodos, o que aumenta a vulnerabilidade hídrica, especialmente nas estiagens, quando há queda expressiva na disponibilidade de água superficial. Observa-se ainda a relação direta entre as condições hidrológicas e o uso dos recursos hídricos, levando a estratégias de adaptação, como construção de açudes e perfuração de poços, que garantem o abastecimento, mas podem alterar o funcionamento natural dos cursos d'água.

Diante disso, conclui-se que a bacia do Rio Aurá é sensível às variações climáticas e hidrológicas, reforçando a necessidade de estudos contínuos para apoiar o planejamento, reduzir riscos e promover o uso sustentável da água na região.

5 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio técnico e científico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES, Código de Financiamento 001), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023, e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade Estadual do Maranhão.

6 – REFERÊNCIAS

ANDRADE, Felipe M. de; GODOI, Victor A.; ARAVÉQUIA, José A. Por que houve chuvas acima da média no norte do Nordeste do Brasil durante o El Niño de 2019? **Meteorology**, Basel, v. 2, n. 3, p. 307–328, 2023. DOI: 10.3390/meteorology2030019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2674-0494/2/3/19. Acesso em: 14 jun. 2026.

CANTO, Elaine Aparecida. Impacto das mudanças climáticas na disponibilidade de recursos naturais e implicações para o desenvolvimento sustentável. **International Integralize Scientific**, v. 5, n. 52, 2025. DOI: https://doi.org/10.63391/a27ktn04. Disponível em: arquivo PDF local. Acesso em: 28 maio 2026.

DA COSTA SILVEIRA, Paola. Médias e variabilidade dos totais mensais e anuais de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí, RS. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 32, n. 3, 2015. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229120. Acesso em: 14 jun. 2026.

MARTINS, Bruno Neves; MENDES, Jonas Jansen; PEREIRA, Regina Célia de Castro. Problematização dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Aurá e subterrâneos

da bacia hidrográfica do Rio Bacanga – Maranhão – Brasil. In: **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: UNICAMP, 2017. DOI: https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1787. Disponível em: https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1787. Acesso em: 27 maio 2026.

MENDES, Jonas Jansen. **Dinâmica da paisagem na bacia do rio Aurá: um estudo a partir do modelo GTP**. 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018. Disponível em: https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/1398. Acesso em: 28 maio 2026.

MENDES, Jonas Jansen *et al*. Aspectos fisiográficos da bacia do Rio Aurá para fins de planejamento ambiental. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 30, n. 2, p. 17–29, 2018. Disponível em: https://www.ceuma.br/revista/index.php/ceumaperspectivas/article/view/XXXX. Acesso em: 27 maio 2026.

NETTO, Joviniano Pereira da Silva. Panorama da gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 241–258, 2022. DOI: https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e22022241-258. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8812/7816. Acesso em: 25 maio 2026.

SILVA, G. A. M.; AMBRIZZI, T.; DRUMOND, A.; TASCHETTO, A. S. **The extreme drought over the Brazil during Dec-Feb 2005 and the relationship with the Atlantic Ocean**. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335796170_The_extreme_drought_over_the_Brazil_during_Dec-Feb_2005_and_the_relationship_with_the_Atlantic_Ocean. Acesso em: 14 jun. 2026.

TERASSI, Paulo Miguel; CORREA, Márcio Greyck Guimarães; GALVANI, Emerson. Caracterização espacial da precipitação pluviométrica em bacias hidrográficas do leste do Estado do Paraná. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 39, p. 125–141, 2017. DOI: 10.5902/2179460X27417. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/27417. Acesso em: 27 maio 2026.

TUNDISI, José Galizia. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31–33, 2003. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252003000400018&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 26 maio 2026.

ZENG, Ning *et al*. Causas e impactos da seca amazônica de 2005. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 014002, 2008. DOI: 10.1088/1748-9326/3/1/014002. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/3/1/014002. Acesso em: 14 jun. 2026.