VARIABILIDADE HIDROLÓGICA E EVENTOS EXTREMOS NO ALTO SOLIMÕES: UMA ANÁLISE DA SÉRIE HISTÓRICA DE TABATINGA (AM), 1994-2024

Fernanda Fraga de Seixas [1];Joecila Santos da Silva[2]; Ieda Hotêncio Batista[3] & Ana Beatriz Oliveira Barreto de Souza[4]

RESUMO – O Rio Solimões é um rio com papel fundamental no ecossistema amazônico, sendo sua dinâmica hidrológica marcada por intensos ciclos de cheia e estiagem. Neste contexto, esse trabalho tem por objetivo analisar tal variabilidade hidrológica existente no Rio Solimões através de dados fluviométricos fornecidos pela estação fluviométrica do município de Tabatinga, Amazonas. A metodologia consistiu na coleta de dados de cotas fluviométricas da estação de Tabatinga, via portal Hidroweb, abrangendo o período de 1994 a 2024 (30 anos), onde foram construídas representações gráficas de cotagrama que possibilitaram a análise para a determinação de picos de cheia e seca, e análise de cotas de mínimas e máximas. Como resultados, constatou-se um regime hidrológico sazonal bem definido, com registros de eventos extremos em alguns anos ao longo do período de análise. Conclui-se que o monitoramento contínuo é fundamental para a compreensão da variabilidade hidrológica do Rio Solimões, possibilitando a criação de políticas públicas para mitigar os impactos ocasionados por eventos extremos.

ABSTRACT– The Solimões River plays a fundamental role in the Amazonian ecosystem, with its hydrological dynamics characterized by intense flood and drought cycles. In this context, this study aims to analyze the hydrological variability of the Solimões River using fluviometric data provided by the gauging station in the municipality of Tabatinga, Amazonas. The methodology consisted of collecting water level data from the Tabatinga station via the Hidroweb portal, covering the period from 1994 to 2024 (30 years). Water level hydrographs (cotagrams) were constructed to enable the analysis and determination of peak floods and droughts, as well as minimum and maximum water levels. As a result, a well-defined seasonal hydrological regime was observed, with records of extreme events in certain years throughout the analysis period. In conclusion, continuous monitoring is essential for understanding the hydrological variability of the Solimões River, enabling the creation of public policies to mitigate the impacts caused by extreme events.

Palavras-Chave – Dinâmica hidrológica. Episódios extremos. Rio Solimões.

[1]) Mestranda ProfÁgua, Universidade do Estado do Amazonas. Av. Djalma Batista, 2470 - Chapada, Manaus, Amazonas, 69050-010, Brasil. Fone: (92) 991154775. E-mail: fernandafraga86@gmail.com

[2]) Professora da Universidade do Estado do Amazonas. Av. Djalma Batista, 2470 - Chapada, Manaus, Amazonas, 69050-010, Brasil. Fone: (92) 991154775. E-mail: jsdsilva@uea.edu.br

[3]) Professora da Universidade do Estado do Amazonas. Av. Djalma Batista, 2470 - Chapada, Manaus, Amazonas, 69050-010, Brasil. Fone: (92) 991154775. E-mail: ibatista@uea.edu.br

[4]) Mestranda ProfÁgua , Universidade do Estado do Amazonas. Av. Djalma Batista, 2470 - Chapada, Manaus, Amazonas, 69050-010, Brasil. Fone: (92) 991154775. E-mail: anabeatrizolibas@gmail.com

1- INTRODUÇÃO

O rio Solimões, localizado na bacia Hidrográfica do Amazonas, apresenta uma dinâmica fluvial classificada com intensa e complexa, já que suas características dependem de fatores como erosão, transporte de sedimentos e eventos de sazonalidade, de acordo com Lopes e Rodrigues (2014). Solimões refere-se aos nomes dos povos que habitavam antigamente suas margens como os Sorimões que também poderiam ser chamados de Joriman ou Sorimão. Este termo deriva da palavra latina solimum, referência ao veneno utilizado nas pontas de flechas e dardos destes povos (IBGE, 2025). É um rio que tem um papel fundamental no ecossistema amazônico, possuindo uma rica fauna e flora, e tem no decorrer de suas margens populações ribeirinhas. Além disso, é muito importante economicamente, já que é uma das principais hidrovias de locomoção e escoamento de cargas na região norte.

Observa-se que a dinâmica hidrológica desse rio é marcada por intensos ciclos anuais de cheias e estiagens, que historicamente guiam a ocupação e as atividades socioeconômicas locais. O cenário atual de mudanças climáticas impõe mudanças significativas nessa região, onde é possível verificar que a alteração nos regimes de precipitação e temperatura tem potencial para intensificar eventos extremos (Oliveira *et al.* 2020), resultando em secas mais severas ou inundações mais frequentes e catastróficas.

Nesse contexto, este artigo se propõe a analisar a variabilidade hidrológica do Rio Solimões por meio da utilização de dados de cotas fluviométricas da estação do município de Tabatinga (ANA, código 10100000), Amazonas, a fim de compreender os padrões de cheias e vazantes a partir do contexto de mudanças climáticas. Para isto, foram definidos os seguintes objetivos específicos: Elaborar o cotagrama para identificar o regime hidrológico; determinar a ocorrência de picos de cheia e estiagem; analisar a evolução das cotas máximas e mínimas anuais dos últimos 30 anos, compreendendo os anos de 1994 a 2024.

2- MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste artigo é o rio Solimões, que possui sua nascente na Cordilheira dos Andes no Peru e têm em torno de 1630 km de extensão. Em terras brasileiras, segundo o DNIT (2021), ele se desenvolve em sentido oeste-leste, onde no estado do Amazonas passa pela cidade de Tabatinga que é localizada na Tríplice fronteira formada pelo Brasil, Colômbia e Peru, sendo este local classificado como estratégico. Além de Tabatinga, atravessa cerca de mais 12 municípios até chegar em Manaus, onde se encontra com o Rio Negro e passa a se chamar de Rio Amazonas. É um rio classificado como rio de águas brancas, turva, como rico material particulado em suspensão (Molinier

et al., 1997). Possui pH variando entre 6,2 e 7,2, e elevada concentração de eletrólitos e nutrientes (Silva *et al*., 2011).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados de cota da estação fluviométrica de Tabatinga, cadastrada no banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) sob o código 10100000, obtida a partir do Portal Hidroweb (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas), pertencente ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), e que disponibiliza uma gama de dados hidrológicos coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). A escolha da estação considerou como critério principal a quantidade de dados de cota disponíveis pela estação, cujo período de dados compreende de 01/01/1994 a 31/12/2024, onde adotou-se 30 anos como quantidade mínima de anos necessários.

Tabela 1: Informações sobre a estação

Estação	**Código**	**Número de anos de dados de cota disponíveis**
TABATINGA	10100000	30

Fonte: Autores, 2025.

A partir dos dados de cota disponíveis da estação escolhida, procedeu-se com elaboração de três ferramentas gráficas: o cotagrama, ocorrência das máximas e mínimas e cotas máximas e mínimas. Para o desenvolvimento destas foi utilizado o auxílio do software Excel, desenvolvido pela Microsoft (365), como apoio na organização dos dados e geração das curvas. Para o gráfico de cotagrama, houve sua obtenção a partir da ordenação dos dados de cota de forma que cada coluna representasse um ano e cada linha dessa coluna, um dia do ano. Sendo assim, uma matriz de 365 linhas e N_a (número de anos de cotas da amostra) colunas foi formada. De cada linha foi retirado seu valor médio, representando, assim, a cota média daquele dia considerando todos os anos registrados, conforme equação 1, de Montgomery e Runger (2003).

$$C_{md} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{rd}} c_d}{n_{rd}} \quad (1)$$

Onde:

c_{md}: cota média diária [m];

c_d: cota diária [m]; e

n_{rd}: número de registros na data.

O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os dias equivalentes ao período de um ano inteiro, do dia 01/jan ao dia 31/dez. No eixo das ordenadas foram distribuídas as cotas médias diárias considerando todos os anos.

Para ocorrência de cheias e estiagens, utilizou-se da mesma organização dos dados do cotagrama, onde ordenou-se as cotas máximas (pico de cheia) conforme mês de ocorrência, e atribuiu-se a cada mês de cota máxima um percentual correspondente ao total de registros, conforme equação 2, de Montgomery e Runger (2003). Procedendo-se o mesmo para os meses de cotas mínimas (pico de estiagem), utilizando a equação 3, de Montgomery e Runger (2003).

$$\%_{máx} = \frac{n_{cmáx}}{N_a}\ x\ 100 \qquad (2)$$

Onde:

$\%_{máx}$: Percentual de picos de cheia no mês;

$n_{cmáx}$: número de cotas máximas no mês; e

N_a: número de anos de cotas da amostra.

$$\%_{mín} = \frac{n_{cmín}}{N_a}\ x\ 100 \qquad (3)$$

Onde:

$\%_{máx}$: Percentual de picos de estiagem no mês;

$n_{cmín}$: número de cotas mínimas no mês; e

N_a: número de anos de cotas da amostra.

O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os meses de registro das cotas máximas e mínimas e no eixo das ordenadas os percentuais de ocorrências dos picos de cheia e estiagem. Para os dados de máximas e mínimas, também se utilizou da organização dos dados do cotagrama para obtenção dos valores das cotas máximas e mínimas, onde foram extraídos os valores das cotas máximas e mínimas de cada ano. O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os anos de registro e no eixo das ordenadas as cotas máximas e as cotas mínimas.

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 apresenta-se o cotagrama elaborado para o rio Solimões (-69,9381°W e -4,2525°S). Este trecho é compreendido como mesorregião do Alto Solimões, com a cidade de Tabatinga localizada na margem esquerda do rio. É possível observar dois períodos hidrológicos bem definidos

ao longo do ano, onde percebe-se as características de sazonalidade do rio Solimões, e a inundação desenvolve-se sobre vários meses e permanece em sua superfície máxima durante alguns dias, dando origem a um cotagrama modal assimétrico, com ascensão lenta e recessão acelerada.

A inundação ocorre durante o período compreendidos entre os meses de maio a início de junho, atingindo uma cota máxima de aproximadamente 1200 cm. Para a estiagem é possível observar que a curva começa a cair rapidamente a partir do mês de julho, onde o nível mínimo é atingido entre os meses de setembro e outubro. Ferreira *et al*. (2025), ao realizarem uma avaliação da variação hidrológica do Rio Purus, estação de Lábrea (AM), nos anos de 1994 a 2024, constataram resultados semelhantes ao observarem que a bacia também dispõe de dois períodos hidrológicos bem definidos, porém o período de cheia compreende os meses de novembro a abril e o período de estiagem os meses de maio a outubro. Essa variação periódica, segundo Junk, Bayley e Sparks (1989), é a principal força responsável pela troca de nutrientes, produtividade e interações bióticas nesses rios de planície de inundação, e é um processo comum durante o ciclo anual.

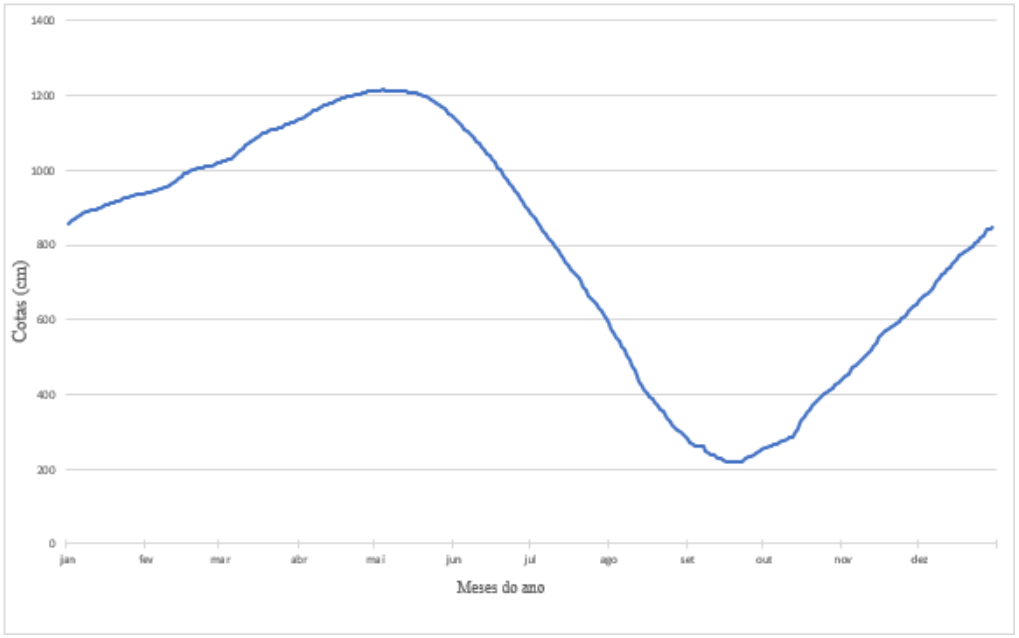


Figura 1 – Cotagrama do rio Solimões, na estação fluviométrica de Tabatinga, para os períodos compreendidos entre os anos de 1994 a 2024. Fonte: Autores, 2025.

A figura 2 apresenta os meses de ocorrência dos picos de cheia e estiagem para os períodos compreendidos entre os anos de 1994 a 2024, do rio Solimões, na estação fluviométrica de Tabatinga, onde em azul apresentam-se os meses de ocorrência das cotas máximas (pico de cheia) e em laranja os meses de ocorrência das cotas mínimas (pico de estiagem). Adicionalmente, é possível identificar que 67% dos anos tiveram pico de cheia no mês de maio, 23% em abril e 3% em fevereiro e março. Já para o período de estiagem, observa-se que 60% dos anos tiveram o pico de estiagem no mês de setembro, 30% em outubro e 10% em agosto.

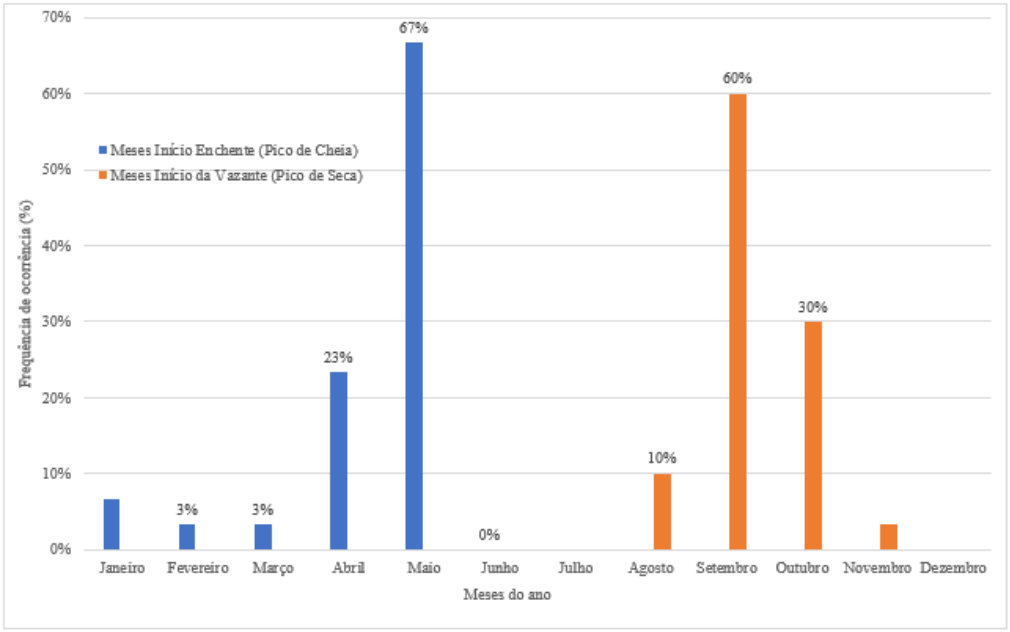


Figura 2 – Ocorrência das cheias e estiagens do rio Solimões, em Tabatinga, para os períodos compreendidos entre os anos de 1994 a 2024. Fonte: Autores, 2025.

A Figura 3 apresenta a magnitude dos eventos de máximas e mínimas anuais, observadas ao longo da série histórica, na estação de Tabatinga, em azul contínuo apresentam-se os valores de cotas máximas e em laranja contínuo os valores de mínimas, as linhas pontilhadas em vermelho e preto, representam as médias das cotas máximas e mínimas, respectivamente.

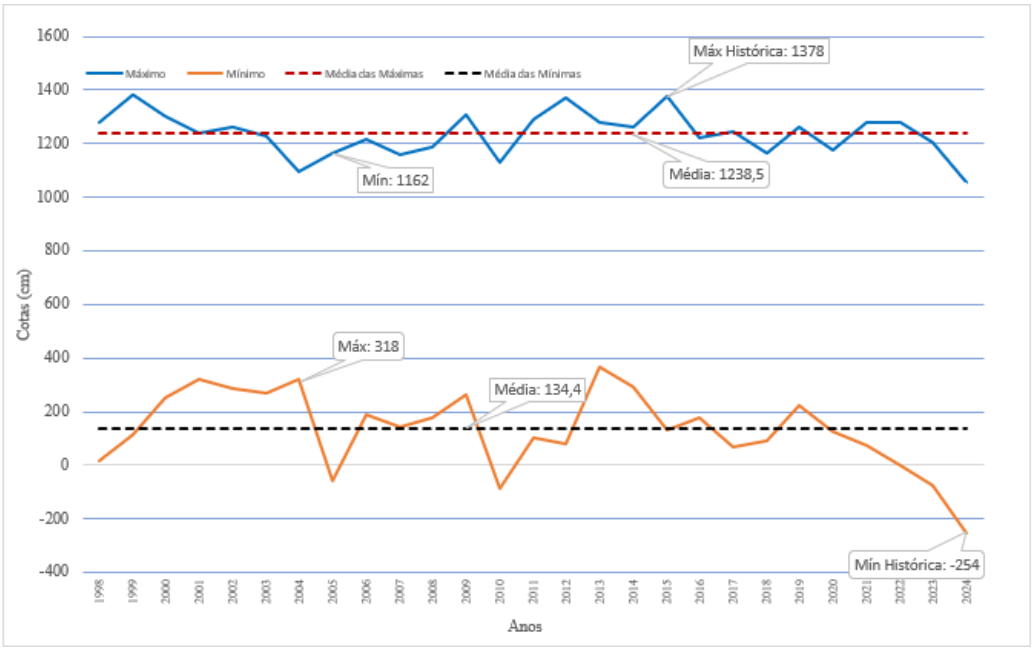


Figura 3 – Cotas máximas e mínimas anuais do rio Solimões, em Tabatinga (1994 – 2024). Fonte: Autores, 2025.

A máxima histórica no valor de 1378 cm ocorreu no ano de 2015, a média das cotas máximas é de 1238 cm e a mínima dentre as cotas máximas, do período histórico analisado, corresponde ao

registro de 1162 cm, no ano de 2005. A mínima histórica apresentada na série temporal é de -254 cm, que ocorreu no ano de 2024. A média das cotas mínima equivale a 134,4 cm e a máxima dentre as cotas mínimas anuais, registradas para período de análise, foi de 318 cm, no ano de 2004.

Ao longo da série histórica de 1994 a 2024, constatou-se a ocorrência de 3 eventos máximos com valores correspondentes a 1378 cm, 1373 cm e 1372 cm, registrados nos anos 2015, 2012 e 1999, respectivamente, bem como a ocorrência de 3 eventos mínimos com que obtiveram valores negativos correspondentes a -74 cm, -86 cm e -254 cm, nos anos de 2023, 2010 e 2024, respectivamente, onde o ano de 2024 apresentou o mínimo histórico de todo o período com a seca mais severa e atípica registrada. A diferença entre o nível máximo da cheia e o nível mínimo da seca pode ser superior 10 metros.

Esses resultados corroboram com Souza *et al*. (2025) e Gato *et al*. (2025), que identificaram 3 eventos de máxima (2015, 2009 e 1999) e 3 eventos de mínima (2024, 2005 e 2023) no rio Jutaí, estação de Porto Seguro (AM) na série de 1994 a 2024. Gato *et al*. (2025) também identificaram 3 eventos de máxima (2014, 1997 e 2019) e mínima (1995, 2004 e 2024) no Rio Madeira, estação de Manicoré (AM) ao analisarem a série de 1993 a 2024. Observa-se que a ocorrência desses eventos extremos tem se intensificado nas últimas 3 décadas, não só no Rio Solimões, mas também em outros rios amazônicos.

Embora seja comum a variação periódica nos rios amazônicos, a grande problemática está na ocorrência de eventos extremos. Segundo Gomes *et al*. (2022), tal intensificação ocorre muito por conta dos fenômenos climáticos intensos que por sua vez são potencializados pelas interferências antrópicas ambientais. Fenômenos como o El Niño e La Niña ocasionam “mudanças significativas no regime das chuvas diárias, e podem aumentar ou diminuir o volume de precipitação” (Moreira *et al*. 2018), afetando a dinâmica climática amazônica, que por consequência afeta diretamente o regime hidrológico dos rios. De acordo com Brandão, Arieira e Nobre (2024), as secas intensas registradas, especialmente as dos anos de 2023 e 2024, decorreram do aquecimento superficial do Oceano Atlântico Tropical Norte e do Oceano Pacífico Equatorial.

Esses eventos extremos impactam diretamente o ecossistema local, ocorrendo assim alteração no ciclo biogeoquímico, mudanças nos padrões de reprodução de espécies aquáticas (Gato *et al*. 2025), comprometendo a biodiversidade, baixa disponibilidade hídrica, ocasionada nas secas extremas, mudanças drásticas na paisagem, além de impactos econômicos. Essas alterações afetam diretamente a fauna, flora e a população da região, principalmente as populações ribeirinhas, que necessitam de políticas públicas adequadas para mitigar os problemas gerados nessas ocasiões.

4- CONCLUSÃO

Foi possível analisar a variabilidade hidrológica do Rio Solimões através dos dados de cotas da estação fluviométrica do município de Tabatinga (ANA, código 10100000). Observou-se que há um período de cheia bem definido com o pico de inundação entre maio e início de junho, e um pico de estiagem nos meses de setembro e outubro. Ao analisar os eventos extremos, foi possível perceber a ocorrência de picos de máxima de cheia nos anos de 1999, 2012 e 2015, enquanto picos de mínima em 2010, 2023 e 2024, evidenciando assim que houve uma intensificação desses episódios ao longo dos anos, principalmente em relação aos dados de secas em anos mais recentes.

Esses dados buscam fornecer informações cruciais que auxiliem na formulação de estratégias de gestão dos recursos hídricos, demonstrando a importância do monitoramento para melhor compreensão da grande variabilidade hidrológica que ocorre nessa área de estudo, fornecendo dados para a construção de novas políticas públicas que auxiliem na mitigação dos problemas gerados por eventos fluviométricos extremos.

5- AGRADECIMENTOS

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradecimentos à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pela cessão de dados hidrológicos distribuídos gratuitamente, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua (Mestrado Profissional em Rede Nacional) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro em forma de bolsa. Por fim, reconhecemos o apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por meio dos projetos PARHINTINS e GRHAMA.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, D. O.; ARIEIRA, J.; NOBRE, C. A. (2024). *Impactos das mudanças climáticas na sociobioeconomia da Amazônia*. Estudos Avançados 38 (112): 249-270. Nov., 2024. DOI: 10.1590/s0103-4014.202438112.014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). (2021). *Hidrovia do Solimões*. Brasília, DF, 19 nov. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-

br/assuntos/aquaviario/intervencao-em-hidrovias/hidrovias-1/hidrovia-do-solimoes. Acesso em: 18 out. 2025.

FERREIRA, A. S. *et al*. (2025). *Mudanças climáticas e variações hidrológicas no Rio Purus: análise de séries temporais (1994–2024) e desafios para a gestão dos recursos hídricos*. Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v. 18, n. 10, p. 01-23, 2025.

GATO, R.P. et al. (2025). *Influência das mudanças climáticas sobre eventos extremos na Bacia do Rio Madeira: evidências hidrológicas da Estação Manicoré (1993–2024).* Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v. 18, n. 10, p. 01-20, 2025.

GOMES, D. J. *et al.* (2022). *Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 1, p. 50-067.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2025). *Rio Solimões : Careiro (AM)*. [1957]. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=41266&view=detalhes. Acesso em: 19 out. 2025.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. (1989). *The flood pulse concept in river-floodplain systems*. In: DODGE, D. P. (Ed.). Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). [S.l.]: Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. pp. 110-127.

LOPES, I. R.; RODRIGUES, F. G. S. (2014) *Análise das terras caídas nas margens do Rio Solimões em Tabatinga, AM*. Revista Geonorte, Manaus, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p. 55-59, 2014.

MOLINIER, M. *et al*. (1997). *Hydrologie du bassin amazonien, in Environnement et développement en Amazonie brésilienne*. THÉRY, H. Paris, França: Editions Belin, pp. 24-41. 1997.

MOREIRA, S.F. *et al*. (2018). *A Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. Multidisciplinary Reviews*, [S. l.], v. 1, p. e2018014, 2018. DOI: https://doi.org/10.29327/multi.2018014.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. (2003). *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003 (2ª Ed).

OLIVEIRA, L. L. de *et al*. (2020). *Efeitos dos eventos extremos climáticos na variabilidade hidrológica em um rio de Ecossistema Tropical Amazônica*. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, [São Fidélis, RJ], v. 11, n. 4, p. 145-153, jun. 2020.

SILVA, M. S. R. da *et al*. (2011). *Química das águas de superfície dos rios da bacia Amazônica: uma contribuição para classificação de acordo com seus usos preponderantes*. In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=11568. Acesso em: 18 out. 2025.

SOUZA, L. P. B. de. (2025). *Mudanças climáticas e sua influência sobre eventos extremos e o regime hidrológico do Rio Jutaí.* Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v. 18, n. 10, p. 01-20, 2025.