ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage:https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe

Curva de permanência das vazões via sensoriamento remoto de bacias hidrográficas na região do MATOPIBA

Helio Lopes Araújo[1], Sergio Nascimento Duarte[2], Conan Ayade Salvador[3], Rafael Mingoti[4]

[1] Dr. em Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba – São Paulo. (19) 97132-7303. heliopiassaba@alumni.usp.br (autor correspondente), https://orcid.org/0000-0001-5762-519X. [2] Professor Titular, Departamento de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba – São Paulo. (19) 3447-6028. snduarte@usp.br, https://orcid.org/0000-0002-4139-7097. [3] Professor Dr., Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Km 07 – Zona Rural BR-465, CEP 22890-000, Seropédica – Rio de Janeiro. (21) 2681-4638. conanayade@yahoo.com.br, https://orcid.org/0000-0002-5503-9573. [4] Dr. Pesquisador, Embrapa Territorial, Av. Sd. Passarinho, 303 – Fazenda Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas – São Paulo. (19) 3211-6200. rafael.mingoti@embrapa.br, https://orcid.org/0000-0003-4873-7565.

Artigo recebido em 20/10/2024 e aceito em 24/01/2025

R E S U M O

A escassez hídrica na região do MATOPIBA é agravada por fatores como as mudanças climáticas, aumento da demanda por água e práticas de manejo inadequado dos recursos hídricos. Essa região abrange partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia, e todo o estado do Tocantins; é uma área em crescente importância agrícola e hídrica do Brasil. As bacias hidrográficas selecionadas para o estudo foram analisadas utilizando séries históricas de dados fluviométricos de 2001 a 2020 e dados de sensoriamento remoto do satélite TerraClimate. A metodologia incluiu a coleta de dados fluviométricos de 32 bacias, que foram processados no software R para calcular as vazões mensais e os percentis Q90 e Q95. Foram construídas curvas de permanência, organizando as vazões em ordem decrescente para cada estação, e aplicados testes de aderência para determinar as funções de distribuição de probabilidade mais adequadas. Para complementar as medições, dados do *TerraClimate* juntamente com técnicas do sensoriamento remoto foram utilizados para estimar as vazões de referência e validar a relação entre as medições convencionais e as estimativas. Os resultados mostram uma alta variabilidade nas vazões Q90 e Q95 entre as bacias, refletindo diferenças em tamanho, clima e características fisiográficas. A correlação moderada (R^2 de 0,70 para Q90 e 0,71 para Q95) entre as vazões de referência tradicionais e as estimativas de sensoriamento remoto sugere que este método pode ser útil para complementação na gestão hídrica. A integração do sensoriamento remoto às medições diretas de vazão pode auxiliar na formulação de políticas de manejo hídrico sustentável na região do MATOPIBA, particularmente em áreas vulneráveis a eventos climáticos extremos e variações sazonais de vazão.

Palavras-chave: Regionalização de vazões, outorga de uso da água, Q90, Q95.

Flow duration curve using remote sensing for river basins in the MATOPIBA region

A B S T R A C T

Water scarcity in the MATOPIBA region is aggravated by factors such as climate change, increased demand for water, and inadequate water management practices. This region covers parts of the states of Maranhão, Piauí, and Bahia, as well as the entire state of Tocantins; it is an area of growing agricultural and hydrological importance in Brazil. The river basins selected for the study were analysed using historical series of fluviometric data from 2001 to 2020 and remote sensing data from the TerraClimate satellite. The methodology involved the collection of fluviometric data from 32 basins, which were processed using R software to calculate monthly flows and the Q90 and Q95 percentiles. Flow duration curves were constructed by organising the flows in descending order for each station, and goodness-of-fit tests were applied to determine the most suitable probability distribution functions. To complement the measurements, TerraClimate data, alongside remote sensing techniques, were utilised to estimate reference flows and validate the relationship between conventional measurements and the estimates. The results show high variability in the Q90 and Q95 flows between the basins, reflecting differences in size, climate, and physiographic characteristics. The moderate correlation (R^2 of 0.70 for Q90 and 0.71 for Q95) between traditional reference flows and remote sensing estimates suggests that this method can be useful for complementing water management. Integrating remote sensing with direct flow measurements can aid in formulating sustainable water management policies in the MATOPIBA region, particularly in areas vulnerable to extreme weather events and seasonal flow variations.

Keywords: Regionalisation of flows, water use allocation, Q90, Q95.

Introdução

No Cerrado, o desenvolvimento da agricultura trouxe impactos negativos para a sociedade e para a biodiversidade, resultando em consequências ambientais significativas. A intensificação das práticas agrícolas nessa região, que abriga uma ampla diversidade de espécies e ecossistemas únicos, ameaça não apenas a flora e a fauna locais, mas também a qualidade de vida das comunidades dependentes desses recursos naturais (Lahsen et al., 2016). No contexto do Cerrado, a região do MATOPIBA destaca-se como uma das áreas mais impactadas pela intensificação agrícola, apresentando desafios específicos relacionados à conversão do uso do solo. Monitorar continuamente as áreas de cultivo permite aos agricultores implementar melhorias de forma imediata, preparando sua produção para enfrentar as variações climáticas. Além disso, promove a sustentabilidade, contribuindo para a redução da poluição ambiental e a preservação dos recursos naturais (Totvs, 2024).

Até a década de 1980, a principal atividade econômica na região do MATOPIBA era a pecuária extensiva. Atualmente, a área se transformou em uma fronteira agrícola dominada pelo agronegócio, com monocultivos em larga escala, especialmente de soja, algodão e milho, impulsionados por incentivos estatais. Esse avanço trouxe significativos impactos socioambientais, afetando tanto as comunidades agroextrativistas que praticam agricultura tradicional quanto o bioma Cerrado, que enfrenta perda de biodiversidade, desmatamento intensivo, queimadas e degradação dos recursos naturais, como a água e o solo (Alves, 2020). Essa expansão agrícola não apenas transformou a paisagem, mas também impactou significativamente o ciclo hidrológico na região, como evidenciado por estudos recentes (Alves & Kluck, 2024; Figueredo, 2024; Jesus, 2024).

Segundo Silva (2020), nas últimas três décadas, a expansão agropecuária alterou substancialmente o uso e a cobertura do solo no Cerrado, especialmente na região do MATOPIBA. O autor analisou a relação entre a cobertura vegetal natural e o ciclo hidrológico, observando o impacto do desmatamento e das mudanças de uso do solo com base em dados de 33 anos (1985-2017). Os resultados mostraram uma queda significativa nas precipitações anuais e sazonais em 83 estações pluviométricas, sendo mais pronunciada nas estações chuvosa e de transição seca-chuvas. A perda de 94.000 km² de vegetação natural correlacionou-se estatisticamente com a diminuição da precipitação, sugerindo que o desmatamento tem contribuído para a redução das chuvas na região. Além das alterações nas precipitações, o aumento das áreas irrigadas vem gerando pressões adicionais sobre os recursos hídricos, especialmente nas bacias hidrográficas mais afetadas.

Eger et al. (2021) atribuíram a redução das vazões dos rios à expansão acelerada das áreas de cultivo irrigado nas regiões de Cerrado no oeste da Bahia. A ocupação crescente das bacias hidrográficas para atividades como irrigação, indústrias e criação animal tem gerado um impacto expressivo no ciclo hidrológico, especialmente na bacia do Rio Preto. Esse uso intensivo resulta em uma demanda crescente e, muitas vezes, no desperdício de água, captada tanto dos rios quanto dos aquíferos da região. Com o aumento das atividades humanas, a quantidade de vazão outorgada – a quantidade de água autorizada para uso específico – na bacia do Rio Preto cresceu de maneira significativa nos últimos dez anos, exercendo uma pressão que pode atingir o limite de 80% da vazão de referência até 2029 (Santos Junior, 2023). Esses impactos no MATOPIBA refletem um padrão global de intensificação da escassez hídrica, reforçando a necessidade de planejamento estratégico e uso sustentável dos recursos.

Conforme o estudo de Oliveira & Aquino (2020), a expansão do agronegócio na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, culturas como o milho, feijão e a soja, foram acompanhadas por um desmatamento significativo nas margens do curso do rio. Durante o período analisado, houve uma redução de 31,76% da vegetação nativa, composta majoritariamente por formações típicas do cerrado e da caatinga. Essas alterações na paisagem resultaram em impactos expressivos no comportamento hidrológico da região, desencadeando aumento de processos erosivos, assoreamento dos corpos hídricos e redução das vazões, dentre outras consequências ambientais.

A escassez hídrica tem se intensificado em diversas partes do mundo, impulsionada principalmente por mudanças climáticas, crescimento populacional, uso ineficiente dos recursos hídricos e falta de planejamento adequado na gestão da água. Diante desse cenário, é essencial dispor de ferramentas que ofereçam aos gestores informações precisas para apoiar decisões que promovam um crescimento agrícola mais organizado e sustentável. No Brasil, a região do MATOPIBA exemplifica esses desafios globais, sendo um dos principais polos agrícolas e consumidores de água do país. Os resultados do estudo elaborado por Ferreira (2023) apontaram que, em média, nas ottobacias de nível 5 do

Cerrado, a disponibilidade hídrica anual da Q90 foi 8% superior à da Q95 e 22% superior à da Q7,10. Quanto ao potencial de área irrigável, considerando os critérios de outorga para o mês com maior disponibilidade em comparação ao critério anual, houve um aumento de 142,5% na Q7,10, 130% na Q90 e 121,2% na Q95. Os dados revelaram uma alta variabilidade na precipitação anual e na evapotranspiração em todo o território do Cerrado.

A gestão eficiente dos recursos hídricos depende de tecnologias que permitam a disseminação do conhecimento e a compreensão detalhada do espaço geográfico, possibilitando a produção de documentos cartográficos com diversas finalidades. Geotecnologias têm um papel fundamental nesse processo, ao facilitarem análises integradas do ambiente e permitirem a identificação de eventos e fenômenos que, de outra forma, poderiam passar despercebidos (Fitz, 2008; Santos et al., 2023). Diante desses desafios, ferramentas como a análise hidrológica e o uso de geotecnologias emergem como essenciais para entender e mitigar os impactos ambientais decorrentes da expansão agrícola.

Com o aumento da demanda por água nas bacias hidrográficas, surgem conflitos entre os usuários e sérios problemas ambientais. Assim, compreender o comportamento hidrológico das bacias, tanto no presente quanto no futuro, torna-se essencial, especialmente frente às mudanças climáticas globais que intensificam as pressões sobre os recursos hídricos (Cosso, 2021; Ismael, 2022; Notisso et al., 2021; Oliveira, 2021; Santana, 2022). No Brasil, a Lei 9.433 de 1997, conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), sendo o principal instrumento para a gestão e regulação dos recursos hídricos. Entre os instrumentos previstos por essa lei, destaca-se a outorga de direito ao uso da água, que visa garantir o controle quantitativo e qualitativo dos recursos e assegurar o devido acesso aos usuários.

Lima et al. (2021) avaliaram a evolução do uso e cobertura do solo (UCS) e das demandas consuntivas de água e os impactos dessas evoluções nos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (BHSF). Os resultados apontaram uma grande e acelerada expansão da agropecuária na BHSF, destacando a região Oeste do Médio São Francisco (OMSF). A análise de tendência apontou uma ausência de tendência na maioria das estações pluviométricas e a presença de fortes tendências de decrescimento nas estações fluviométricas, principalmente as localizadas no OMSF. Essa divergência nas tendências de precipitação e vazão apontam que a redução de vazão pode não estar ligada a uma redução da precipitação, sugerindo outros mecanismos responsáveis por esse decrescimento como as modificações antrópicas do UCS e o aumento das vazões retiradas para usos consuntivos.

A disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica é medida pelas vazões dos rios. Entre os parâmetros mais usados estão Q90 e Q95, que indicam as vazões que são excedidas ou igualadas em 90% e 95% do tempo, respectivamente. A vazão média de longo período (Qm), por sua vez, é um parâmetro essencial, representando a vazão máxima teórica que pode ser regulada por meio de barragens (Duarte, 2023). O planejamento e o gerenciamento desses dados abrangem um leque de problemas ambientais, sociais e econômicos e são fundamentais para a alocação de outorgas e o planejamento de infraestruturas hídricas. (Pozzi, 2024; Vichete, 2023).

Nos países em desenvolvimento, sistemas de governança enfrentam desafios para lidar com as incertezas relacionadas às mudanças climáticas e às transformações socioecológicas. Nesse aspecto, o poder público desempenha um papel estratégico na coordenação dessas iniciativas e na avaliação integrada dos impactos e benefícios das intervenções. A integração da gestão da água em uma gama de diversidades políticas, sociais, econômicas, legais e ambientais requer uma quantidade considerável de recursos humanos, financeiros e de tempo (Johns & Vannijnatten, 2021).

Segundo Silva & Vianna (2022) a expansão do setor agropecuário e o uso intensivo de recursos naturais têm crescido no Bioma Cerrado de uma forma geral, e em particular na região do MATOPIBA, os resultados apresentados evidenciam potenciais agravamentos em relação ao uso eficiente, equitativo e ambientalmente equilibrado do recurso água em toda esta vasta região de fronteira agrícola

Apesar da importância das vazões de referência, estudos detalhados sobre Q90 e Q95 nas bacias hidrográficas da região do MATOPIBA ainda são escassos. Este estudo busca preencher essa lacuna, analisando as vazões de permanência, Q90 e Q95, em diferentes bacias da região. Com base em um conjunto de dados históricos, pretende-se fornecer informações sobre a variabilidade das vazões, oferecendo uma base sólida para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Esse conhecimento ajudará na formulação de estratégias para a alocação de outorgas e no planejamento de infraestrutura hídrica, visando garantir um uso sustentável dos recursos hídricos da região.

Neste contexto vê-se a importância desse estudo no intuito de obter informações a respeito

das variações da quantidade de água, previsão de cheias, etc. que possam auxiliar na compreensão e gerenciamento das bacias. Para obter tais informações é necessário que se conheça a vazão ao longo da rede hidrográfica através das séries de dados fluviométricos, atrelando a variabilidade, sazonalidade e aleatoriedade do comportamento hidrológico.

Material e métodos

Região de estudo

De acordo com a EMBRAPA (2014) o MATOPIBA é formado por 31 microrregiões e 337 municípios, dos quais 135 estão situados no estado do Maranhão, 139 no estado do Tocantins, 33 no estado do Piauí e 30 no estado da Bahia. Esta região engloba parte dos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e todo o estado do Tocantins, correspondendo a 51% da área dos quatro estados (Miranda et al., 2014). O território abrange majoritariamente o Bioma Cerrado, com 90,94% da área total, seguido pela Amazônia com 7,27% e a Caatinga com 1,64%, sendo a cobertura vegetal natural formada predominantemente por savanas (63,6%), áreas de tensão ecológica (15%) e floresta estacional decidual (10,7%). Em relação ao relevo, 47,9% são áreas planas (até 3% de declividade) e 33,7% são áreas suavemente onduladas (de 3% a 8%), ou seja, com declividade favorável à mecanização das atividades agrícolas (Sousa et al., 2024). As altitudes variam entre 0 e 1244 m acima do nível médio do mar, com as maiores altitudes no extremo oeste da Bahia e as menores no norte do Maranhão (Santiago et al., 2022). O clima do MATOPIBA é tropical úmido com inverno seco (Aw), segundo a classificação de Köppen. As temperaturas médias mensais variam entre 25 e 27°C durante todo o ano. A precipitação média anual varia de 800 a 2.000 mm, distribuída em duas estações bem definidas: a estação seca, que vai de maio a setembro, e a estação chuvosa, de outubro a abril (Alvares et al., 2014). Segundo Reis et al. (2020) as regiões hidrográficas são áreas banhadas pelos principais rios do MATOPIBA: Araguaia, Tocantins, São Francisco, Parnaíba, Itapicuru, Mearim, Gurupi e Pindaré (Figura 1).

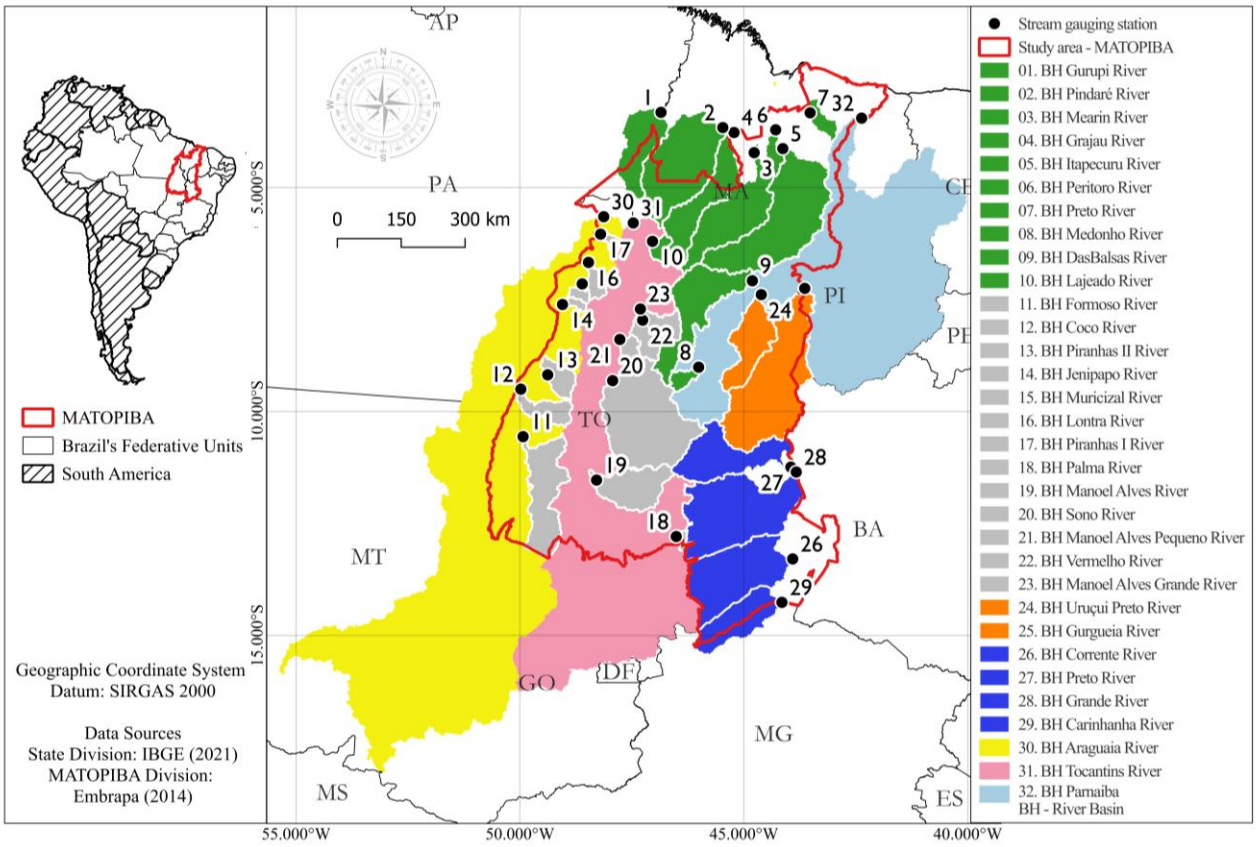

Figura 1. Mapa da localização geográfica das bacias hidrográficas na região do MATOPIBA, Brasil

A obtenção dos dados foi realizada por intermédio das séries históricas das estações fluviométricas consistidas, disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por intermédio da plataforma *HidroWeb* no endereço eletrônico https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. O período selecionado para o estudo foi de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com 20 anos de dados consistidos e sem falhas. Com isso, foram selecionadas 32 bacias hidrográficas em toda a região do MATOPIBA.

Os dados de satélite foram adquiridos por intermédio da plataforma *Google Earth Engine* do satélite *TerraClimate* no endereço (https://app.climateengine.org/climateEngine), que produz conjuntos de dados mensais de balanço hídrico superficial utilizando um modelo de balanço que incorpora evapotranspiração de referência, precipitação, temperatura e água do solo extraível das plantas; possui dados mensais a partir de 01-01-1958 (Abatzoglou et al., 2018).

Etapas do trabalho

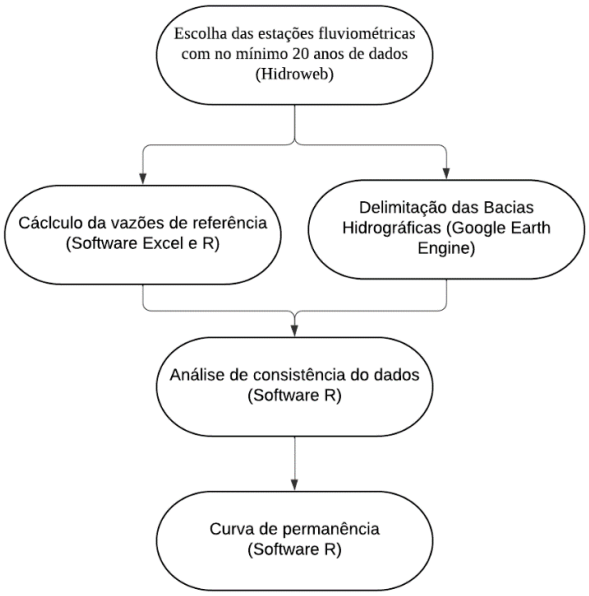

Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas para o estudo das bacias hidrográficas na região do MATOPIBA

Para a estimativa das vazões via sensoriamento remoto foi utilizado o modelo do balanço hídrico simplificado em bacias hidrográficas. Esse modelo é calculado considerando um sistema onde a precipitação (PPT) é a principal entrada de água, enquanto a vazão (Q), a evapotranspiração (ET) e o armazenamento positivo de água no solo (Δs) constituem a saída de água na bacia hidrográfica (Eq. 1). Em escala mensal, anual e de longo período, a mudança do Δs no armazenamento de água pode ser considerada insignificante nas bacias hidrográficas (Liu et al., 2015). Para o cálculo do volume do balanço hídrico para estimar a Q é utilizado a Eq. 2:

$$PPT = ET + Q + \Delta s \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$Q = PPT - ET \quad \text{(Eq. 2)}$$

Em que: PPT - Precipitação (mm), ET - Evapotranspiração (mm), Q = Vazão (mm), Δs - Variação do volume armazenado de água na bacia

A seleção das bacias foi baseada em critérios de representatividade geográfica e disponibilidade de dados fluviométricos consistentes. A área de estudo abrangeu as bacias hidrográficas de maior relevância para a região do MATOPIBA, considerando sua importância para a agricultura e a disponibilidade hídrica. A diversidade climática e geográfica da região foi considerada para incluir bacias com diferentes características hidrológicas.

A partir das séries históricas de vazões diárias foram feitos os cálculos das vazões médias mensais para cada bacia hidrográfica (estação) com auxílio do *software R.* Já em posse dos valores médios mensais, os mesmos foram colocados em ordem decrescente e feito o ajuste de probabilidade da curva de permanência de cada posto (estação) e identificados os valores de Q90 e Q95.

Os dados de vazão foram organizados em ordem decrescente para cada estação fluviométrica, e as curvas de permanência foram construídas associando as vazões às suas respectivas probabilidades de excedência. As vazões Q90 e Q95 foram determinadas a partir das probabilidades de excedência de 90% e 95%, respectivamente, conforme a metodologia padrão para análise de curvas de permanência. A elaboração das curvas de permanência envolve a organização de vazões em ordem decrescente, em seguida, faz-se as atribuições de probabilidades de superação a elas. Existem ainda outros estimadores que podem ser utilizados para esse propósito, sendo que o mais comum deles é o que se baseia na posição de plotagem da função de distribuição de Weibull (Vogel & Fennessey, 1994), no qual define essas probabilidades da seguinte forma:

$$p = \frac{i}{n+1} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Em que: *i* denota o número de ordem das vazões tabuladas em ordem decrescente e *n* o número total de dados utilizados.

A estimação das vazões de referência Q90 e Q95 é um procedimento essencial para a avaliação da disponibilidade hídrica e a gestão dos recursos hídricos. A análise estatística foi realizada utilizando o software R, com pacotes específicos para a modelagem hidrológica. As vazões foram analisadas individualmente para cada bacia hidrográfica, e comparadas entre si para identificar padrões regionais e locais. Mapas e gráficos foram gerados para ilustrar a distribuição espacial das vazões e as variações ao longo do tempo.

Cada conjunto de dados foi organizado em uma tabela, na qual cada linha representa uma observação de vazão associada a uma data específica e à bacia correspondente. A análise foi executada no *software R* (R Core Team, 2024), sendo os dados carregados em uma *data frame* utilizando a função *read_excel*. Em seguida, os percentis Q90 e Q95 foram calculados usando a função *quantile* do pacote *dplyr*, após agrupar os dados por bacia. Dessa forma, a função *quantile* calculou os valores dos percentis Q90 e Q95, que representam as vazões que são excedidas em 90% e 95% do tempo, respectivamente, para cada bacia.

Resultados e Discussões

A maior área de drenagem medida entre as bacias do estudo foi a Bacia do Rio Araguaia com cerca de 381.428,47 km^2 e a medição fluviométrica ocorreu na estação 28850000, localizada no município de Araguatins – TO. Já a menor área de drenagem foi na Bacia do Rio Palma, com cerca de 1.271,76 km^2 medidos na estação 21750000, localizada no município de Paranã - TO.

As funções de densidade de probabilidade (fdp) que melhor se ajustaram às curvas de permanência foram obtidas para as séries de dados das estações fluviométricas. As curvas de permanência foram utilizadas para obtenção das vazões de referências (Q90 e Q95) que apresentaram melhores ajustes a 58 distribuições ao aplicar os testes de aderência de Aderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado, como segue na Tabela 1, que representa o melhor ajuste obtido para cada bacia.

Tabela 1. Funções de distribuição de probabilidade das curvas de permanência utilizadas na obtenção das vazões de referência em função do teste de aderência.

Bacia	Melhor função de distribuição de probabilidade	Anderson-Darling	Kolmogorov-Smirnov	Qui-Quadrado
1	Student's t	60	60	52
2	Student's t	57	57	51
3	Student's t	58	58	53
4	Chi-Squared	55	56	50
5	Student's t	57	57	49
6	Chi-Squared	51	51	47
7	Student's t	57	57	52
8	Student's t	60	60	56
9	Student's t	59	59	54
10	Student's t	57	57	51
11	Student's t	57	57	49
12	Student's t	56	56	48
13	Chi-Squared	58	57	51
14	Student's t	58	58	50
15	Student's t	59	59	56
16	Student's t	59	59	54
17	Student's t	58	58	52
18	Error Function	60	60	54
19	Dagum	55	56	52
20	Student's t	60	60	58
22	Student's t	59	59	56
23	Student's t	60	60	54
24	Student's t	60	60	57
25	Student's t	51	51	47
26	Student's t	60	60	50
27	Student's t	60	60	54
28	Student's t	60	60	55
29	Student's t	60	60	57

30	Chi-Squared	57	56	48
31	Dagum	56	57	53
32	Student's t	58	58	50

As curvas de permanência das vazões foram elaboradas para as diferentes localidades estudadas, revelando variações significativas entre as bacias hidrográficas da região do MATOPIBA. Os resultados obtidos para as vazões de permanência Q90 e Q95 demonstram uma grande variabilidade, refletindo as diferentes áreas da bacia, condições climáticas e características fisiográficas das bacias analisadas. Na Figura 3, são apresentadas as curvas de permanência para as estações fluviométricas estudadas.

A distribuição que apresentou um maior número de ajustes para as curvas de permanência foi a distribuição de probabilidade de *Student's t*, seguida das distribuições *Chi-Squared* e *Dagum*, respectivamente, que apresentaram melhor adequabilidade das funções de densidade de probabilidade (fdp) para os testes de aderência Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. As análises foram elaboradas individualmente para cada bacia hidrográfica. Com isso, foram identificados as fdp's convergentes com cada estação fluviométrica com base nos testes de aderência. Destacam-se cinco das 32 bacias: bacia hidrográfica do Rio Araguaia: a vazão Q90 foi de 813,64 $m^3 s^{-1}$ e a vazão Q95 foi de 708,85 $m^3 s^{-1}$, mostrando uma variabilidade maior e sem uma estabilização clara ao longo do tempo; bacia hidrográfica do Rio Sono: a vazão Q90 foi de 271,65 $m^3 s^{-1}$ e a Q95 foi de 247,93 $m^3 s^{-1}$ observou-se uma relativa estabilidade nas vazões a partir de 30% do tempo excedido; bacia hidrográfica do Rio Grajaú: a vazão Q90 foi de 3,88 $m^3 s^{-1}$ e a Q95 foi de 2,98 $m^3 s^{-1}$, cuja a curva de permanência mostrou uma tendência de estabilização a partir de 35% do tempo, indicando uma maior consistência nas vazões mais baixas; bacia hidrográfica do Rio Manoel Alves: a vazão Q90 foi de 24,54 $m^3 s^{-1}$ e a Q95 foi de 21,58 $m^3 s^{-1}$, com estabilidade observada a partir de 25% do tempo; e a bacia hidrográfica do Rio Palma: a vazão Q90 foi de 29,89 $m^3 s^{-1}$ e a Q95 foi de 25,01 $m^3 s^{-1}$, sendo que a curva de permanência apresentou tendência de estabilização a partir de 30% do tempo. Silva Junior et al. (2021) encontraram alto grau de correlação da curva de permanência entre os dados observados e os dados preditos para a Bacia de Camargos. Barreiros (2023) obteve bom desempenho nas curvas de permanência para algumas regiões homogêneas do MATOPIBA, utilizando regionalização hidrológica através de interpolação espacial. Já Lacerda et al. (2022) encontraram vazões outorgáveis registradas pela curva de permanência nos postos estudados de 29,68 $m^3 s^{-1}$ no afluente Itacaiúnas e 2,525 $m^3 s^{-1}$ no Rio Parauapebas no Pará. Gonzaga et al. (2022) concluem em seu trabalho que as estimativas de disponibilidade hídrica feitas com a curva de permanência anual, assim como os intervalos de confiança foram robustas, pois não estão excessivamente suscetíveis à presença de anos secos ou muito chuvosos na série histórica.

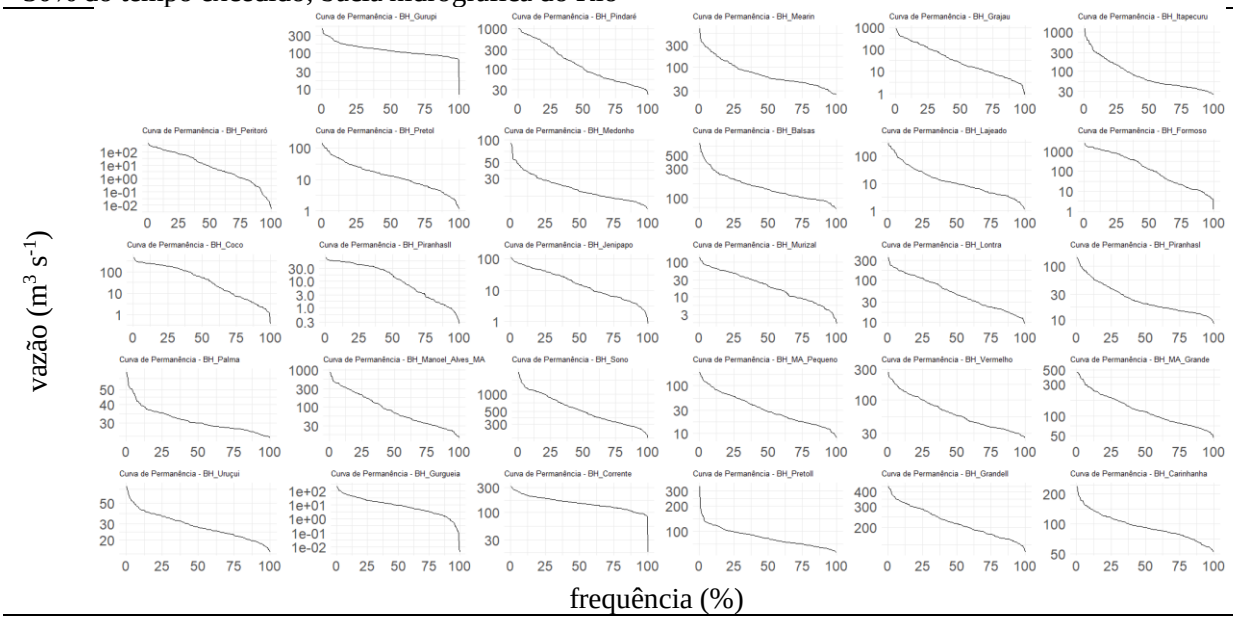

Figura 3. Curvas de permanência das bacias hidrográficas na região do MATOPIBA

Os dados hidrológicos foram utilizados para elaborar o histograma de barras apresentado na Figura 4, permitindo visualizar a distribuição de frequência ao longo do período analisado, bem como identificar as variações presentes nessa distribuição. É apresentado um conjunto de histogramas representando a distribuição das vazões nas bacias hidrográficas estudadas, demostrando seu padrão de frequência e exibindo diferentes padrões de distribuição de vazão, bacia hidrográfica do Rio Corrente e a bacia hidrográfica do Rio Grajaú, mostraram uma concentração mais baixa; isso indica uma menor disponibilidade de água ou uma maior regularidade em volumes menores. Collares et al. (2021), descreve em sua pesquisa que o aumento populacional, a expansão industrial e o desenvolvimento do agronegócio têm gerado impactos significativos nos rios da bacia do Rio Grajaú, contribuindo para diversas formas de contaminação. Lima et al. (2020) descreve em seus estudos na bacia do Rio Corrente que a exploração contínua e indiscriminada de novas áreas pode resultar, no futuro, em um colapso ambiental, comprometendo a diversidade de espécies e a qualidade dos recursos naturais, sendo fundamental priorizar a otimização do uso das terras já aptas e atualmente utilizadas para cultivo e pecuária nas propriedades.

A bacia hidrográfica do Rio Grande II e a bacia hidrográfica do Rio Manoel Alves Grande, apresentaram picos de frequência em intervalos específicos de vazão, sugerindo que determinados valores são mais comuns. Por outro lado, a bacia hidrográfica do Rio Gurupi e a bacia hidrográfica do Rio Lajeado exibiram uma frequência mais distribuída, indicando a ocorrência de vazões variáveis ao longo do período analisado.

As bacias com maior concentração em faixas específicas de vazão foram a bacia hidrográfica do Rio Formoso e a bacia hidrográfica do Rio Uruçuí; essas podem estar sujeitas a sazonalidade, pois há maior regularidade em suas vazões anuais. Borges et al. (2023) fizeram análises de documentos e processos relacionados ao Comitê da Bacia do Rio Formoso e revelou desvios na atuação, participação desigual e domínio dos interesses do agronegócio, resultando em discussões pouco qualificadas, falta de soluções para crises hídricas e necessidade de intervenção, comprometendo a democratização do uso da água com justiça social e equilíbrio ambiental. Em contraste, a bacia hidrográfica do Rio Preto I e a bacia hidrográfica do Rio Mearim mostraram uma dispersão mais ampla, sugerindo variação da vazão ao longo do tempo; isso pode ter ocorrido devido a eventos extremos ou alterações climáticas.

Cerqueira et al. (2024) observaram que os impactos sociais e econômicos de eventos críticos na bacia do rio Mearim podem ser reduzidos por meio de medidas de planejamento urbano, como o disciplinamento do uso do solo e a elaboração de planos diretores adaptados às particularidades locais. As bacias com grande dispersão nas vazões exigem monitoramento constante para prever a mitigação dos eventos extremos, enquanto aquelas com padrões mais estáveis podem requerer estratégias diferentes de manejo, focadas em otimizar o uso da água disponível.

Alguns histogramas apresentaram distribuições assimétricas, com maior frequência de valores baixos em direção aos valores mais altos. Isso é indicativo de dados de vazões, que tendem a apresentar muitos períodos de vazões menores e menos eventos extremos. Também observamos que a densidade de barras em algumas bacias (ex.: Bacia Hidrográfica do Rio Manoel Alves e Bacia Hidrográfica do Rio Formoso) refletem séries temporais mais densas ou características de vazão com grande variabilidade.

As Bacias Hidrográficas do Rio Formoso, Bacia Hidrográfica do Rio Sono, Bacia Hidrográfica do Rio Manel Alves, mostram valores máximos bem superiores, indicando eventos extremos de vazão ou características fisiográficas e climáticas específicas dessas bacias. Silva et al. (2023), avaliaram o modelo WRF-Hydro na simulação de vazões em rios do MATOPIBA, destacando REFKDT e OVROUGHRTFAC como os parâmetros mais influentes. O melhor ajuste ocorreu com REFKDT = 0,6, resultando em NSE = 0,69, R = 0,83 e PBIAS = 4,99. Os resultados confirmam a eficácia do WRF-Hydro e apontam para melhorias futuras com inteligência artificial e variáveis adicionais.

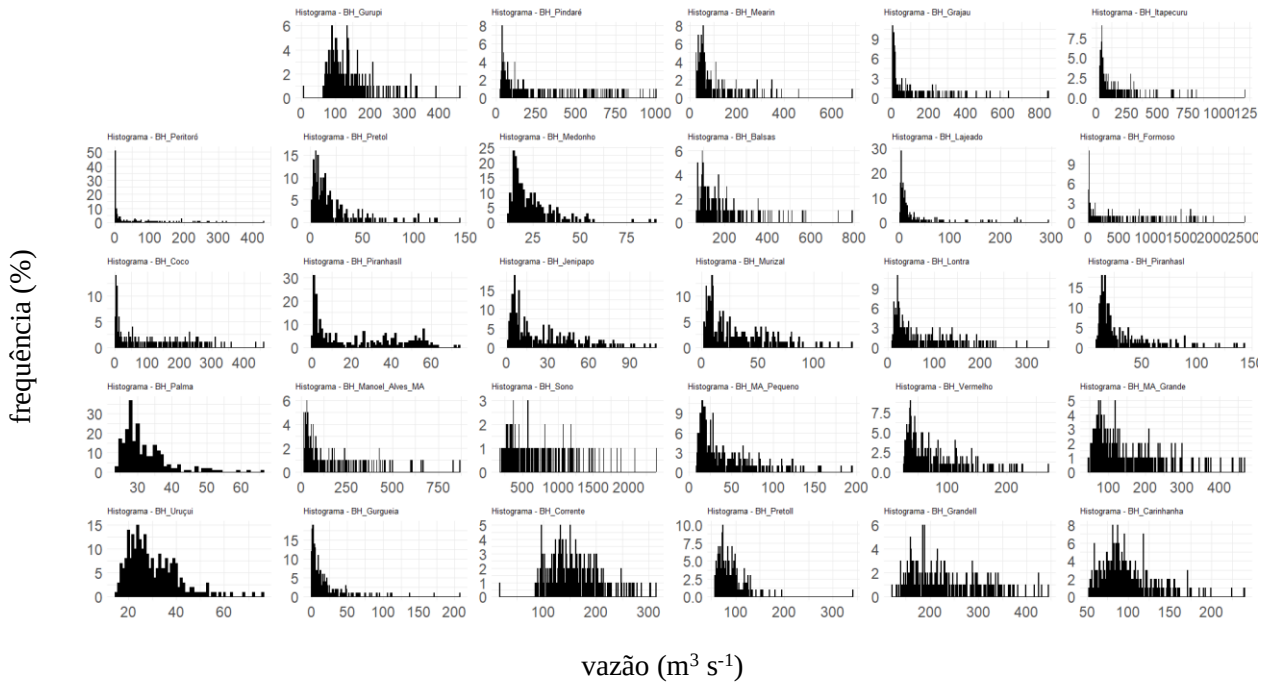

Figura 4. Histograma das principais vazões das bacias hidrográficas da região do MATOPIBA

Na série temporal original da vazão de longo período, de 2000 a 2020, foi observado uma variação significativa nos picos anuais, indicando forte componente sazonal. A tendência (Figura 5) mostra a variação de longo prazo da vazão, suavizando as flutuações em um prazo curto. Há também evidências na queda da vazão por volta do ano de 2005, seguida de um aumento por volta do ano de 2010, e depois um outro aumento contínuo após o ano de 2015. Com isso, pode-se evidenciar mudanças nas condições climáticas, práticas de uso da terra ou gestão de recursos hídricos ao longo do período.

A componente sazonal mostrou um padrão repetitivo anual da vazão, na qual observa-se um ciclo sazonal claro, com picos que ocorrem aproximadamente na mesma época todos os anos, provavelmente refletindo padrões sazonais de precipitação e evapotranspiração. Os resíduos representam a parte da série temporal que não é explicada pela tendência ou pela sazonalidade; houve flutuações irregulares que podem ser atribuídas a eventos extremos. Esses picos significativos nos resíduos podem indicar eventos anômalos, como enchentes ou secas, que não seguem o padrão sazonal ou tendência de longo prazo.

A componente sazonal é bem definida e repetitiva, indicando que a sazonalidade foi um fator importante para explicar a vazão do rio. Isso é comum em regiões onde a precipitação e a evapotranspiração têm um padrão anual claro. A queda na vazão até 2005, seguida de um aumento, sugere possíveis intervenções humanas ou mudanças climáticas que afetaram a disponibilidade de água no rio. A análise de tendência pode ajudar a entender os impactos de políticas de gestão de recursos hídricos ou mudanças no uso da terra. A análise dos resíduos pode ser importante para identificar eventos extremos e melhorar os modelos de previsão. Picos nos resíduos podem indicar a necessidade de atenção a eventos não capturados pela sazonalidade ou tendência, como secas extremas ou enchentes.

Na Figura 5, os gráficos de decomposição das séries temporais fornecem uma visão detalhada dos componentes que influenciam a vazão de longo período, destacando a importância de entender tanto a sazonalidade quanto as tendências de longo prazo e os eventos extremos na gestão de recursos hídricos. Oliveira et al. (2021), verificaram tendências temporais significativas de redução da precipitação e da vazão entre 1995 e 2011, indicando aumento da probabilidade de escassez de água na região da Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí, Minas Gerais. Em análises de tendência para algumas bacias do Estado de São Paulo estudadas por Groppo et al. (2005), feitas com as séries no período entre 1970 e 1997, a análise estatística mostrou tendências positivas significativas em 3 postos de medidas, e alguns períodos secos que se tornaram significativos por alguns anos. Já Grangeiro Sousa et al. (2024) analisaram as tendências em todas as microrregiões do MATOPIBA e identificaram tendências decrescentes significativas, acarretando no aumento dos eventos de secas na região durante os anos avaliados. De acordo com o INPE (2021), as

tendências de precipitação observadas e as projeções de mudanças climáticas no Brasil apontam que diversos setores da sociedade apresentam uma alta vulnerabilidade potencial aos impactos dessas mudanças.

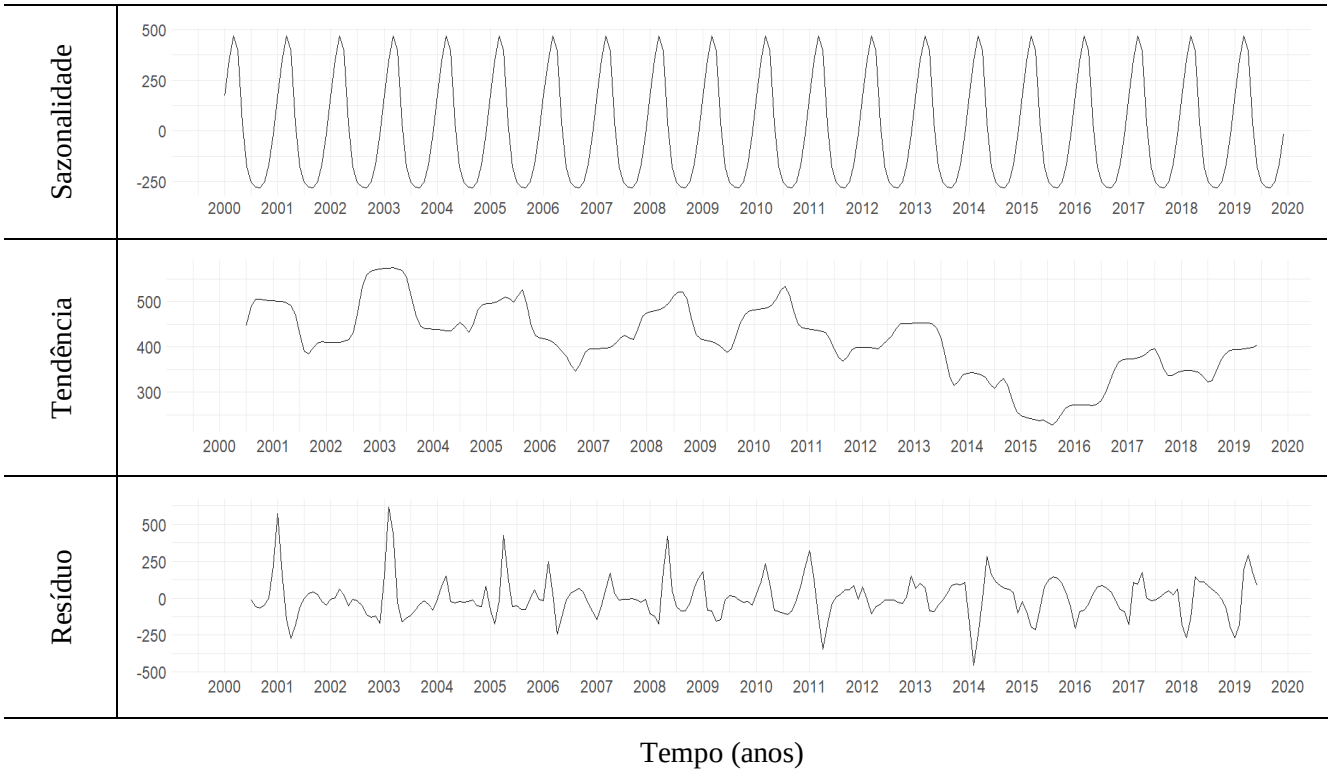

Figura 5. Análise de tendência das vazões observadas nas bacias hidrográficas da região do MATOPIBA

Na Figura 6 é indicada uma relação positiva e moderadamente forte entre a vazão média medida por sensoriamento remoto e os valores de Q90 e Q95 dos postos fluviométricos. No entanto, é importante considerar as limitações do modelo e realizar análises mais detalhadas para uma interpretação completa dos resultados. O comparativo entre as vazões tradicionais de referência (Q90 e Q95) e as estimativas obtidas por sensoriamento remoto (Qmédia_SR), a qualidade do ajuste linear, medida pelo R^2, e a proximidade dos pontos em relação à linha de identidade são indicadores da precisão e aplicabilidade das estimativas de sensoriamento remoto. Os resultados mostraram um bom ajuste e proximidade com a linha de identidade; isso valida o uso de dados de sensoriamento remoto para complementação de medições diretas em estudos hidrológicos. Observou-se tendência linear entre a vazão média via sensoriamento remoto e os valores de Q90 e Q95 medidos; isso indica que, à medida que a vazão média aumenta, os valores de Q90 e Q95 também tendem a aumentar. Os valores de R^2 (0,70 para Q90 e 0,71 para Q95) indicaram que aproximadamente 70% e 71% da variabilidade nos valores de Q90 e Q95, respectivamente, podem ser explicados pela variabilidade na vazão média, ou seja, a relação entre as variáveis é moderadamente forte. A dispersão dos pontos em torno das retas de regressão indica que existem outros fatores, além da vazão média, que influenciam os valores de Q90 e Q95, ou seja, o gráfico mostra uma boa correspondência entre as vazões estimadas pelo sensoriamento remoto e as medidas pelos postos fluviométricos para Q90 e Q95, com R^2 próximos de 0.70. No entanto, observa-se subestimativa em baixas vazões e superestimativa em altas, além de maior dispersão nos valores extremos. Apesar disso, o método se mostra eficaz para regiões remotas, embora melhorias no modelo e maior base de dados possam aumentar a precisão. Em suas avaliações do regime de vazões com a utilização de indicadores hidrológicos na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Lima et al. (2024) concluíram que em alguns postos (médio Tocantins) apresentaram maior disponibilidade hídrica e em outros (médio Araguaia) apresentaram baixos rendimentos e que a região hidrográfica utilizou 70% da Q95 para usos múltiplos. De acordo com a Base de Dados de Desastres Internacionais Em-Dat (2024), tem-se observado um aumento nos eventos climáticos extremos nos últimos anos. Entre esses eventos, as secas extremas se destacam, como apontado por Blain et al. (2023), apresentando uma

maior frequência de ocorrência nas últimas décadas em várias regiões.

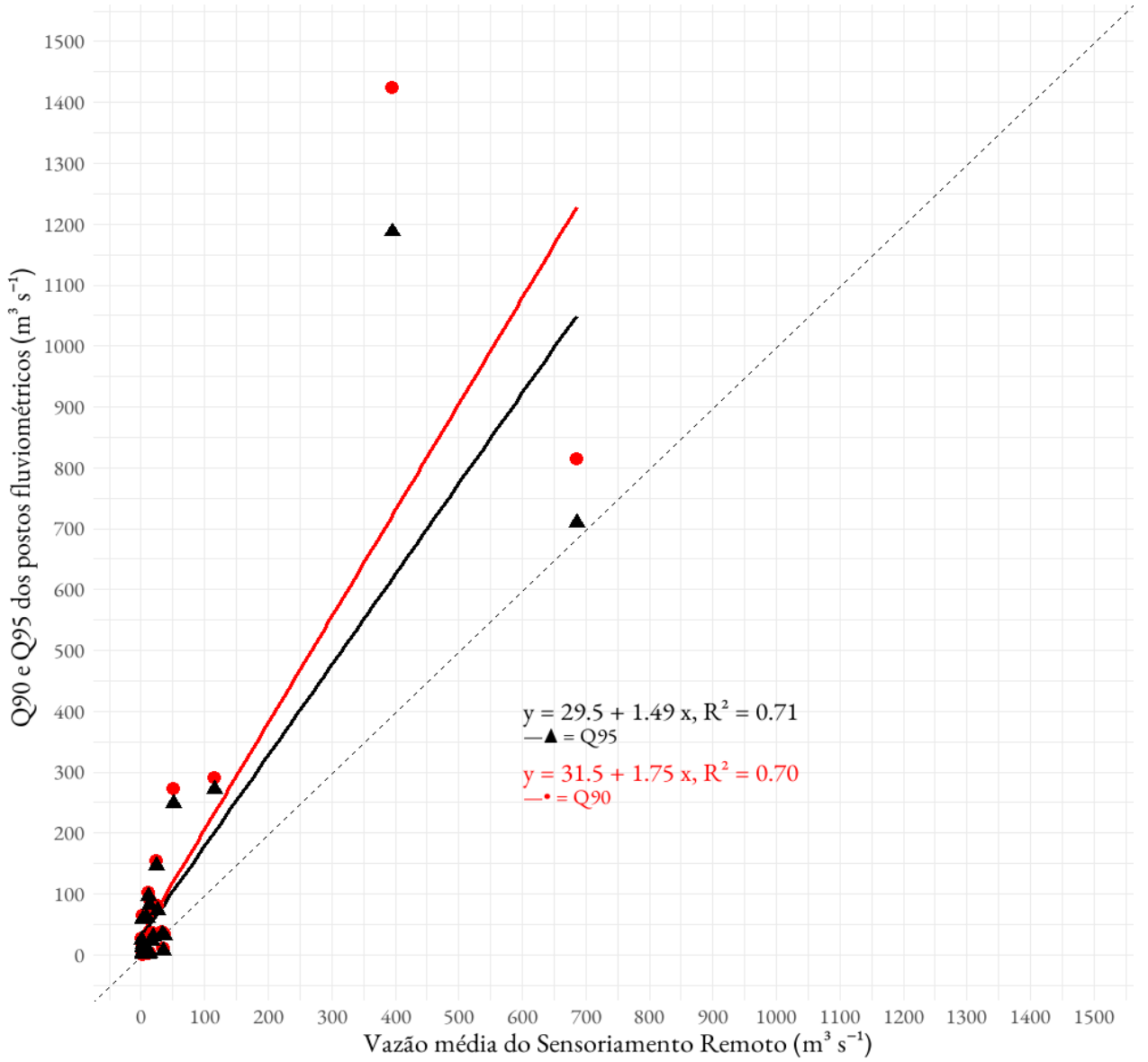

Figura 6. Relação entre as vazões Q90 e Q95 obtidas por sensoriamento remoto e os postos fluviométricos da ANA

Conclusões

As vazões medidas revelaram uma variação anual bem definida, com ciclos regulares e eventos extremos notáveis. A periodicidade anual foi evidente, associada a padrões de precipitação e evapotranspiração. As flutuações irregulares identificadas sugerem ocorrências de eventos atípicos, como secas ou inundações, que não são capturados apenas pelas tendências ou ciclos sazonais.

A diversidade hidrológica entre as bacias hidrográficas analisadas, evidenciou tanto padrões estáveis quanto variações nas vazões. Graficamente, quando se analisou o R^2, foi possível observar que os valores da bacia hidrográfica do Rio Araguaia e da bacia hidrográfica do Rio Tocantins foram discrepantes quando comparadas às outras bacias, que apresentam uma boa correlação e proximidade com a linearidade, indicando valores próximo ao real.

Houve relação positiva e moderadamente forte entre a vazão média estimada por sensoriamento remoto e os valores de Q90 e Q95 medidos nas estações fluviométricas da ANA. Isso sugere que o sensoriamento remoto foi uma ferramenta eficaz para estimar vazões de referência, complementando as medições. No entanto, a dispersão dos pontos em relação às retas

de regressão indica que outros fatores também influenciam os valores de Q90 e Q95. Portanto, é importante considerar essas variáveis adicionais e realizar análises mais detalhadas para aprimorar a precisão das estimativas hidrológicas.

Ressaltamos que é importante considerar essas variáveis adicionais e realizar análises mais detalhadas para aprimorar a precisão das estimativas hidrológicas. Integração de variáveis adicionais, como o uso do solo e características geomorfológicas, podem melhorar a robustez das estimativas, especialmente em cenários de extremos hidrológicos.

Agradecimentos

Universidade de São Paulo (USP) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ);
Laboratório de Hidrologia do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LABHA);
Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ);
Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.
Este estudo foi financiado em parte pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Processo: 2021/03539-4.

Referências

Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific Data 2018 5:1*, *5*(1), 1–12. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Leonardo, J., Gonçalves, M., & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrif*, *22*(6), 711–728. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

Alves, L. V. E. L. (2020). Expansão do Agronegócio e os Impactos Socioambientais na Região de Cerrados do Centro-Norte do Brasil (MATOPIBA). *Http://Journals.Openedition.Org/Confins*, *45*(45). https://doi.org/10.4000/CONFINS.28049

Alves, V. E. L., & Kluck, E. G. J. (2024). O espaço do centro-norte do Brasil (MATOPIBA): o avanço da economia agropecuário-energética e as ameaças aos territórios das populações agroextrativistas. *Revista Territorial*, *13*(2). https://www.revista.ueg.br/index.php/territorial/article/view/16032

Barreiros, V. C. (2023). *Regionalização hidrológica para o MATOPIBA, Brasil*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo.

Blain, G. C., Sobierajski, G. da R., & Martins, L. L. (2023). Elevações na frequência de ocorrência de secas meteorológicas no Estado de São Paulo sob condições de mudanças climáticas. *Derbyana*, *44*. https://doi.org/10.14295/DERB.V44.789

Borges, M. S., Sousa, E. S. de, Pereira, F. A. A., Santos, M. G. dos, & Oliveira, L. A. de. (2023). Conflitos e contradições na governança da Bacia do Rio Formoso - Tocantins, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, *19*(3), 148–172. https://doi.org/10.54399/RBGDR.V19I3.6607

Cerqueira, A. H. M. dos S., Bezerra, V. L. A. R., Dias, C. W. S., Fialho, M. R. B., Menezes, R. H. N. de, & Cerqueira, H. D. V. (2024). A influência da precipitação pluviométrica nos níveis do Rio Mearim-MA, Brasil, e seus impactos sociais em 2009. *REVISTA DELOS*, *17*(55), e1420–e1420. https://doi.org/10.55905/RDELOSV17.N55-002

Collares, M. F. A., Silva, L. F. da, Barbosa, R. B. G., Dourado, A. C. C., Rezende, B. N., & Nascimento, J. A. C. do. (2021). Evaluation of the water quality of the Pardo River (MG) based on physical, chemical and microbiological parameters. *Research, Society and Development*, *10*(5), e60010515532–e60010515532. https://doi.org/10.33448/RSD-V10I5.15532

Cosso, S. P. de A. (2021). *Sustentabilidade e Gestão de Recursos Hídricos: contribuição da Economia Comportamental para a formulação de Políticas Públicas nos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí* [Pontifícia Universidade Católica de Campinas]. https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/16483

Duarte, S. N. (2023). *Regionalização de vazões*. Wikirriga. https://wikirriga.com.br/regionalizacao-de-vazoes/

Eger, G. Z. S., Silva Junior, G. C., Marques, E. A. G., Leão, B. R. C., da Rocha, D. G. T. B., Gilmore, T. E., do Amaral, L. G. H., Silva, J. A. O., & Neale, C. (2021). Recharge assessment in the context of expanding agricultural activity: Urucuia Aquifer System, western State of Bahia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, *112*, 103601. https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2021.103601

Embrapa. (2014). Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA. In *GITE - Embrapa*. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1037313/1/NT1DelimitacaoMatopiba.pdf

Em-Dat. (2024). *EM-DAT - The International Disaster Database*. https://www.emdat.be/

Ferreira, F. L. V. (2023). *Disponibilidade hídrica e aptidão da agricultura de sequeiro e irrigada no Cerrado*. https://doi.org/10.47328/UFVBBT.2023.782

Figueredo, E. da S. (2024). *Estrangeirização de terras no Matopiba: os atores invisíveis do território*. https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/58358

Fitz, P. R. (2008). *Geoprocessamento sem complica*. Oficina de Textos.

Gonzaga, V. N. B., De Mello, E. L., Gomes, B. M., Boas, M. A. V., & Pansera, E. W. A. (2022). A curva de permanência de vazões e a disponibilidade hídrica para outorga no Estado do Paraná. *IRRIGA*, *27*(4), 757–768. https://doi.org/10.15809/IRRIGA.2022V27N4P757-768

Grangeiro Sousa, W., Silva, M. T., Siqueira, M. da S., Gomes, H. B., Oliveira, G., Silva, T. G. F., & Cavalcanti, E. P. (2024). Variabilidade espaço temporal da seca meteorológica nas microrregiões do MATOPIBA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 01–21. https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p01-21

Groppo, J. D., Moraes, J. M., Beduschi, C. E., & Martinelli, L. A. (2005). Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do Estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. *Geociências*, *24*(2), 181–193. https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/164

Ismael, L. L. (2022). *Análise de conflitos hídricos nas vilas produtivas rurais do eixo norte da integração do São Francisco no sertão paraibano*. http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/28852

Jesus, J. N. de. (2024). *A Monopolização da Renda da Terra e os Conflitos Agrários na Fronteira Agrícola do MATOPIBA*. Editora Dialética.

Johns, C., & Vannijnatten, D. (2021). Using indicators to assess transboundary water governance in the Great Lakes and Rio Grande-Bravo regions. *Environmental and Sustainability Indicators*, *10*, 100102. https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2021.100102

Lacerda, I. de O., Lima, S. S., & Loureiro, G. E. (2022). Permanence curve and water availability for grant in The Itacaiúnas Hydrographic Sub-Region (SRHI). *Research, Society and Development*, *11*(14), e51111435983–e51111435983. https://doi.org/10.33448/RSD-V11I14.35983

Lahsen, M., C Bustamante, M. M., Dalla-Nora, E. L., & Myanna Lahsen, C. (2016). *Undervaluing and Overexploiting the Brazilian Cerrado at Our Peril*. https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537

Lima, C. E. S., Magalhães, J. H. F., Silva, M. V. M., Silva, G. K. da S., Marcos Junior, A. D., & Silveira, C. da S. (2021). *Dinâmica do uso e cobertura do solo e evolução das demandas consuntivas d´água e seus impactos nas vazões da bacia hidrográfica do Rio São Francisco*. http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/63626

Lima, S. S., Araújo, A. dos S., & Loureiro, G. E. (2024). Indicadores hidrológicos para gestão de recursos hídricos na região hidrográfica Tocantins-Araguaia - RHTA. In *Amazônia: Portos, Rios e Clima em pesquisa* (pp. 50–64). Editora Científica Digital. https://doi.org/10.37885/240115472

Lima, T. P., França, L. C. de J., Ferraz, F. T., Aguiar Júnior, A. L., Silva, D. P., & Acerbi Junior, F. W. (2020). Space-temporal dynamics of soil coverage in a watershed of the matopiba region, brazil. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, *43*(1), 162–170. https://doi.org/10.11137/2020_1_162_170

Liu, M., Xu, X., Sun, A. Y., Wang, K., Yue, Y., Tong, X., & Liu, W. (2015). Evaluation of

high-resolution satellite rainfall products using rain gauge data over complex terrain in southwest China. *Theoretical and Applied Climatology*, *119*(1–2), 203–219. https://doi.org/10.1007/S00704-014-1092-4

Miranda, E. E. de, Magalhães, L. A., & Carvalho, C. A. de. (2014). *Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA*. http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1037313

Notisso, P. F., Teodomiro, K., & Formiga, M. (2021). Avaliação da demanda futura de água na bacia hidrográfica do rio Umbeluzi em Moçambique. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, *01*(01), 98–111. https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3622-3634

Oliveira, G. D. (2021). *Abordagem sócio hidrológica para assistência técnica de projetos hídricos na agricultura* [Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"]. https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/92ab55e7-c192-4092-8d50-6f6aa623ffc4/content

Oliveira, L. N., & Aquino, C. M. S. de. (2020). DINÂMICA TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO MATOPIBA: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. *REVISTA EQUADOR*, *9*(1), 317–333. https://doi.org/10.26694/EQUADOR.V9I1.9461

Oliveira, P. H. F., Vieira, F. R., Christofaro, C. R. W. W., & Silva, A. (2021). Vista do alterações no regime de vazão e precipitação em trecho da Bacia do Rio Araçuaí, Minas Gerais: caminhamos para a escassez hídrica? *Revista Espinhaço*, *10*(2). https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.5502194

Pozzi, H. B. (2024). *Variabilidade climática na análise da vazão na bacia hidrográfica do Córrego Rico*. https://doi.org/10.17616/R31NJN39

Reis, L. C. dos, Santos e Silva, C. M., Bezerra, B. G., & Spyrides, M. H. C. (2020). Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. *Revista Brasileira de Geografia Física*, *13*(4), 1425–1441. https://doi.org/10.26848/RBGF.V13.4.P1425-1441

Santana, P. L. (2022). *Avaliação do impacto da urbanização sobre o regime fluviométrico de vazões na bacia hidrográfica do Rio do Meio - Florianópolis/SC*. https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/241061

Santiago, D. de B., Barbosa, H. A., Correia Filho, W. L. F., & Oliveira-Júnior, J. F. (2022). Interactions of environmental variables and water use efficiency in the Matopiba Region via multivariate analysis. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 8758*, *14*(14), 8758. https://doi.org/10.3390/SU14148758

Santos, J. de J., Silva, H. C. dos S., & Zebende, G. F. (2023). Uso de geotecnologia no estudo de vazões na bacia hidrográfica do Rio Pojuca. *Sitientibus*, *1*(64). https://doi.org/10.13102/SITIENTIBUS.V1I64.10340

Santos Junior, J. P. (2023). *Análise da disponibilidade hídrica da bacia do rio Preto, Bahia, com base em estudo hidrológico e nas outorgas de uso da água*. https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17774

Silva, D. G., Silva Junior, J. R. D. da, Souza, F. M. de, Ramos, D. N. da S., Silva, A. R., Santos, T. S. dos, & Moreira, D. M. (2023). WRF-Hydro for Streamflow Simulation in the MATOPIBA Region within the Tocantins/Araguaia River Basin—Brazil: Implications for Water Resource Management. *Water 2023, Vol. 15, Page 3902*, *15*(22), 3902. https://doi.org/10.3390/W15223902

Silva Junior, L. C. S., Azevedo, J. P. S., & Rottuno Filho, O. C. (2021). Determinação da curva de permanência através de modelagem hidrológica na Bacia de Camargos. *XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1–10. http://www.abrhidro.org.br/xxivsbrh

Silva, P. R. de F. (2020). *A expansão agrícola no cerrado e seus impactos no ciclo hidrológico: estudo de caso na região do MATOPIBA* [Universidade de Brasília]. http://repositorio.unb.br/handle/10482/38445

Silva, P. R., & Vianna, J. N. S. (2022). Water-Energy-Food Nexus in the MATOPIBA Region (Brazil). In *Desenvolvimento e Meio Ambiente* (Vol. 59, pp. 338–353). Universidade Federal do Parana. https://doi.org/10.5380/DMA.V59I0.78325

Sousa, W. G. de, Silva, M. T., Siqueira, M. da S., Gomes, H. B., Oliveira, G. de, Silva, T. G. F.

da, & Cavalcanti, E. P. (2024). Variabilidade espaço temporal da seca meteorológica nas microrregiões do MATOPIBA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, *17*(1), 1–21. https://doi.org/https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p01-21

Totvs. (2024). *Agricultura digital: benefícios, desafios e tecnologias usadas*. https://www.totvs.com/blog/gestao-agricola/agricultura-digital/

Vichete, W. D. (2023). *Modelo de hidrossustentabilidade econômica como suporte à decisão na alocação de água em sistemas de recursos hídricos complexos.* https://doi.org/10.11606/T.3.2023.TDE-13122023-112018

Vogel, R. M., & Fennessey, N. M. (1994). Flow-duration curves I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *120*(4), 485–504. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1994)120:4(485)