UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

JAMYSON PEREIRA SANTOS JUNIOR

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO PRETO, BAHIA, COM BASE EM ESTUDO HIDROLÓGICO E NAS OUTORGAS DE USO DA ÁGUA.

São Cristóvão/SE

2023

Jamyson Pereira Santos Junior

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO PRETO, BAHIA, COM BASE EM ESTUDO HIDROLÓGICO E NAS OUTORGAS DE USO DA ÁGUA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Sergipe (UFS), para encerramento do componente curricular ENCIV0157 – Trabalho de Conclusão de Curso e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes
Coorientador: Eng. Thiers Pereira de Souza

São Cristóvão/SE
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA

Jamyson Pereira Santos Junior

Análise da disponibilidade hídrica da bacia do rio Preto com base no estudo hidrológico e nas outorgas de uso da água

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: **26 de janeiro de 2023**

Banca Examinadora	**Nota**
Orientador(a): Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes (UFS)	10,0
Coorientador(a): Eng. Civil Thiers Pereira de Sousa	10,0
Examinador(a): Prof. Dr. Alcigeimes Batista Celeste (UFS)	9,0
Examinador(a): Profª. Me. Ana Paula Ávila Macêdo (SEDURBI/SE)	9,0
Média Final:	9,5

Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes (UFS)
Assinatura do(a) Orientadora(a)

Digitalizado com CamScanner

Agradecimentos

“Entregue o seu caminho ao Senhor, confie nEle e o mais Ele fará”. Sou grato a Deus pelo carinho, amor e cuidado que teve por mim durante toda a minha jornada. Ele me fortaleceu nos momentos mais sombrios e difíceis. Ele me guiou nos caminhos mais estreitos que andei. E quando eu não sabia o que fazer, Ele me concedia sabedoria e discernimento para tomar as escolhas corretas. Sem Ele eu, definitivamente, não estaria aqui hoje.

“Eu não tenho planos, não tenho sonhos e de vez quando não tenho força pra prosseguir, mas eu tenho vocês”. Agradeço a toda minha família que sempre me apoiou, me motivou e acreditou em mim, principalmente a minha mãe Eliene e meu pai Jamyson, que se sacrificaram e deram tudo para que eu pudesse estar onde estou. Jamais poderei retribuir todo amor que que vocês me deram e o carinho que tive dos meus avós, tios, tias, primos, primas e dos meus irmãos durante toda minha jornada.

“Quem tem um amigo tem tudo”. Agradeço também a todos amigos que ganhei durante minha trajetória na UFS. Em especial, ao Lucas Mattheus, Luiz Muñoz, Pedro Eric, Josuel Barros, Robert Matheus, Gabriel Gois, Jonas Fernandes, Thadeu Wictor, Ícaro do Amaral e Matheus Tavares. Vocês tornaram minha caminhada muito mais leve.

“Pois tudo que eu vi não é tudo o que eu preciso aprender”. Por fim, não poderia esquecer dos professores que fizeram parte da minha vida estudantil e acadêmica. Em especial ao meu orientador Ludmilson que depositou sua confiança em mim e compartilhou não só seus conhecimentos acadêmicos como também lições para vida, juntamente com meu coorientador Thiers que se dispôs a me dar todo suporte e diversos conselhos e sugestões que contribuíram com a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Nos últimos anos, houve um avanço considerável da ocupação do homem nas bacias hidrográficas a fim de desenvolver atividades de irrigação, indústria, criação animal, entre outras. Por consequência, diversos empregos são gerados, assim como, a produção de alimentos e materiais. Em contrapartida, aumentam-se o consumo e desperdício de água captada nos rios e aquíferos, os quais acarretam mudanças do ciclo hidrológico da região. O presente trabalho tem o intuito de avaliar a disponibilidade hídrica da bacia do Rio Preto, localizada na região oeste do estado da Bahia. Para tais fins, fez-se necessário identificar e delimitar a bacia, por meio do software QGIS, e posteriormente, observar o comportamento das chuvas e vazões ao longo do tempo por meio de testes estatísticos, cujos dados foram obtidos na plataforma do Hidroweb, pertencente à Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). Os testes comprovaram que a vazão vem apresentando uma diminuição significativa independente das precipitações. Nesse contexto, buscou-se avaliar a disponibilidade hídrica da bacia por meio da determinação da vazão de referência $Q_{90\%}$, visto que é utilizado como critério para as outorgas de uso da água emitidas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA). Os resultados mostraram que a irrigação é responsável por 99,34% das vazões captadas superficialmente e por 97,67% das vazões captadas de forma subterrânea. Além disso, as vazões outorgadas acumuladas ao longo do tempo apresentaram um aumento significativo nos últimos 10 anos, sendo capaz de atingir, em 2029, o limite de 80% da vazão de referência, comprometendo a sustentabilidade hídrica da região.

Palavras-chaves: Irrigação; Disponibilidade hídrica; Vazão de Referência; Outorga.

ABSTRACT

In the last few years, there has been a considerable advance in the occupation of man in hydrographic basins in order to develop irrigation, industry, animal husbandry activities, among others. As a result, several jobs are generated, as well as the production of food and materials. On the other hand, the consumption and waste of water captured in rivers and aquifers increases, which leads to changes in the region's hydrological cycle. The present work aims to carry out a hydrological study in the Rio Preto basin, located in the western region of the state of Bahia. For such purposes, it was necessary to identify and delimit the basin, using the QGIS software, and later, observe the behavior of rainfall and streamflow over time through statistical tests, whose data were obtained on the Hidroweb platform by the National Water Agency (ANA). The tests proved that the flow has been showing a significant decrease regardless of precipitation. In this context, an attempt was made to assess the water availability of the basin by determining the reference flow Q90% as a criterion for water use permits issued by the Institute of the Environment and Water Resources of Bahia (INEMA). The results showed that irrigation is responsible for 99.34% of the flows captured superficially and for 97.67% of the flows captured underground. In addition, the granted flows accumulated over time showed an significant increase in the last 10 years, being able to reach, in 2029, the limit of 80% of the reference flow, compromising the water sustainability of the region.

Keywords: Irrigation; Water availability; Reference flow; Water rights permits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desertificação no semiárido brasileiro..... 16
Figura 2 - Comparação entre zona rural e cidades..... 17
Figura 3 - Região do MATOPIBA. 18
Figura 4 - Sistema de Irrigação por meio de Pivô Central. 20
Figura 5 - Aquíferos do Estado da Bahia. 23
Figura 6 - Bacia do Rio Preto com a Localização dos Postos Pluviométricos e Fluviométricos. 26
Figura 7 - Mapa com a localização das Outorgas de Captação Superficial e Subterrânea na bacia do Rio Preto. 30
Figura 8 - Áreas de Influência dos Postos Pluviométricos..... 33
Figura 9 – Gráfico de Vazão Máxima Diária (m³/s) versus Tempo (anos)..... 35
Figura 10 - Gráfico de Vazão Média Anual (m³/s) versus Tempo (anos)..... 36
Figura 11 - Gráfico de Vazão mínima anual (m³/s) versus Tempo (anos). Menor média das vazões de: A) 7 (sete) dias consecutivos. B) 15 (quinze) dias consecutivos. C) 30 (trinta) dias consecutivos. 37
Figura 12 - Gráfico de Coeficiente de Escoamento versus Tempo (Formosa do Rio Preto)... 40
Figura 13 - Gráfico de Coeficiente de Escoamento versus Tempo (Bacia do Rio Preto)..... 42
Figura 14 - Gráfico Vazão Diária *versus* Permanência. Referente à Estação Fazenda Porto Limpo, considerando o período de 1977-2021..... 44
Figura 15- Gráfico de 80% da Q90 (m³/s) versus Períodos de 1977-2000 a 1977-2021..... 45
Figura 16 - Número de Outorgas emitidas para captação superficial. 47
Figura 17 - Número de Outorgas emitidas para captação subterrânea. 48
Figura 18 - Gráfico de Vazão Acumulada (m³/s) versus Tempo (anos) 48
Figura 19 - Gráfico de Vazão (m³/s) versus Tempo (anos), com respectivas equações e linhas de influência 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Precipitação Anual, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 31
Tabela 2 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de trimestre mais seco, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 32
Tabela 3 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de trimestre úmido, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 32
Tabela 4 - Áreas de Influência das estações pluviométricas. 33
Tabela 5 - Precipitação Média na Bacia do Rio Preto, no período de 1978 a 2018. 34
Tabela 6 - Valor-p obtido nos testes de estacionariedade (α=5%) de Vazão Máxima Diária.. 35
Tabela 7 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Vazão Média Anual, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 36
Tabela 8 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Vazão Mínima Anual, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 38
Tabela 9 - Área da bacia referente ao posto Formosa do Rio Preto e o Tempo em segundos. 38
Tabela 10 - Determinação do Volume Precipitado, Volume Escoado e Coef. de Escoamento para Formosa do Rio Preto. 39
Tabela 11 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Coef. de Escoamento, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 40
Tabela 12 - Área da bacia do Rio Preto e o Tempo em segundos. 41
Tabela 13 - Determinação do Volume Precipitado, Volume Escoado e Coeficiente de Escoamento para a Bacia do Rio Preto (Fazenda Porto Limpo). 41
Tabela 14 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Coef. de Escoamento para a Bacia do Rio Preto, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência. 43
Tabela 15 - Valores do coeficiente de escoamento do método racional (C) para diferentes tipos de cobertura da bacia. 43

Tabela 16 - Vazão de Referência Q90% para as séries de Fazenda Porto Limpo..... 44
Tabela 17 - Vazão de Referência Q90 para diferentes períodos em Fazenda Porto Limpo, com seus respectivos valores a 80%..... 45
Tabela 18 - Vazão Média de Longo Termo (QMLT) determinado para os dois postos fluviométricos..... 46
Tabela 19 - Finalidades do uso da água, com suas respectivas quantidades e volumes anuais outorgados para captação superficial..... 47
Tabela 20 - Finalidades do uso da água, com suas respectivas quantidades e volumes anuais outorgados para captação subterrânea..... 47
Tabela 21 - Vazão Outorgada com relação à Q_{MLT}, $Q_{90\%}$, Q_7 Q_{15} e Q_{30}, em porcentagem (%). 49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

2 OBJETIVOS 13

2.1 Objetivo Geral 13

2.2 Objetivos Específicos 13

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14

3.1 Disponibilidade de Água 14

3.2 Alterações no Ciclo Hidrológico 15

3.2.1 Impacto das Mudanças Climáticas 15

3.2.2 Impactos da Urbanização 16

3.3 Expansão Agrícola no Brasil 17

3.3.1 Ocupação Antrópica na Região do MATOPIBA 17

3.3.2 Agricultura Irrigada 19

3.4 Evolução da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Brasil 20

3.4.1 Breve Histórico 20

3.4.2 Tipos de Outorga 21

3.4.3 Vazão de Referência 22

3.4.4 Critérios Legais e Técnicos para Análise de Outorga no Estado da Bahia 23

4 METODOLOGIA 25

4.1 Área de Estudo 25

4.2 Obtenção dos Dados Hidrológicos 26

4.3 Delimitação das Bacias de Contribuição e Determinação da Precipitação Total Anual . 27

4.4 Análise dos Dados Hidrológicos 29

4.5 Análise dos Dados de Outorga 30

5 RESULTADOS 31

5.1 Testes Estatísticos com os Dados de Chuva 31

5.2 Precipitação Média na Bacia do Rio Preto 32

5.3 Testes Estatísticos com os Dados de Vazão 35
5.4 Coeficiente de Escoamento 38
5.5 Determinação da Vazão de Referência ($Q_{90\%}$) e da Vazão Média de Longo Termo (Q_{MLT}) 43
5.6 Vazões Outorgadas na Bacia do Rio Preto 46
6 CONCLUSÃO 51
REFERÊNCIAS 52
APÊNDICES 57
APÊNDICE A – GRÁFICOS CHUVA X TEMPO 58
APÊNDICE B – SÉRIES DE VAZÃO: FAZENDA PORTO LIMPO (46870000) 60
APÊNDICE C – SÉRIES DE VAZÃO: FORMOSA DO RIO PRETO (46790000) 61
APÊNDICE D – TABELA DE VAZÃO ACUMULADA ANUAL PARA AS OUTORGAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL 62

1 INTRODUÇÃO

Na contemporaneidade, a diminuição da disponibilidade hídrica é um dos maiores impasses enfrentados pela sociedade brasileira. Um levantamento feito pelo Projeto MapBiomas em 2021 revela que o Brasil perdeu 15,7% de superfície de água nos últimos 30 anos, o equivalente a 3,1 milhões de hectares de superfície hídrica. Isso se deve, sobretudo, à intensa e desenfreada ocupação do homem nas bacias hidrográficas. Diversas atividades antrópicas, como construção de barragens e de hidrelétricas, despejo de esgoto e de resíduos sólidos de forma irregular e a irrigação em atividades agrícolas, caso não sejam devidamente fiscalizadas, trazem impactos irreversíveis aos rios.

Atualmente, a irrigação é a atividade que mais consome água no planeta. Santos (1998) demonstra que 70% do total de água é utilizada na irrigação, seguido pelo setor industrial, com 21% e pelo consumo doméstico, com somente 9%. Bernardo (1989) explica que, embora esta atividade proporcione diversos benefícios para o setor da agricultura, como o aumento da produtividade e da economia local, ela também pode trazer impactos ao meio ambiente. Nesse mesmo estudo, o autor cita os possíveis danos ecológicos que podem ser causados por uma má aplicação dessa técnica na agricultura, dentre eles, a modificação do meio ambiente, a salinização do solo, a contaminação dos recursos hídricos, o consumo exagerado da disponibilidade hídrica da região, o consumo elevado de energia e os problemas de saúde pública.

Consequentemente, surge a necessidade de pesquisas e programas de planejamento e gestão de recursos hídricos, que sejam capazes de estabelecer um aproveitamento racional dos recursos com o mínimo dano ao ambiente (TUCCI, 2001). Nesse contexto, o conhecimento de dados hidrológicos constitui um elemento fundamental para identificar cenários críticos, sendo necessário analisar inicialmente os dados históricos de chuvas e vazões, as quais são captadas e registradas por meio de estações estrategicamente posicionadas ao longo da bacia. No entanto, redes hidrométricas e pluviométricas nem sempre abrangem todas as regiões de interesse necessárias para gestão dos recursos hídricos, de modo que é possível existir lacunas temporais e espaciais que necessitam ser preenchidas com base em métodos estatísticos que busquem melhor estimativa dos dados em seções que não possuem medições (TUCCI, 2001).

Visando, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabelece alguns instrumentos para auxiliar no planejamento e gestão desses recursos. O principal instrumento estabelecido pela PNRH é a outorga de direito do uso da água, a qual concede, por um período

determinado, o direito de uso de uma quantidade definida de água, de forma que assegure ao órgão gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo em que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível (Moreira, 2006). De acordo com a Lei nº 9.433/1997, a competência para a emissão das outorgas pode ser delegada aos Estados e ao Distrito Federal. No Estado da Bahia, por exemplo, a outorga é de responsabilidade do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), órgão gestor de recursos hídricos estadual, criado pela Lei nº 12.212, sancionada em 04 de maio de 2011.

Dentro do processo de outorga, são avaliados inúmeros aspectos de natureza hídrica, ambiental, social ou econômica, além das diversas finalidades de uso, como o abastecimento humano e industrial, geração de energia elétrica, irrigação, pecuária, aquicultura, dentre outros que também devem ser observados. Nesses casos, um fator importante é o estudo do regime dos rios de uma bacia. Para rios perenes, a outorga geralmente é feita com base na vazão de referência, a qual representa um valor de vazão mínima limite para utilização da água em um curso d'água. Para Cardoso da Silva et al. (2001), essa metodologia garante uma condição segura para os usuários outorgados ao possibilitar a retirada da água mesmo em períodos sem chuva. No Brasil, cada estado tem adotado parâmetros específicos para o estabelecimento das vazões de referência. Com relação ao estado da Bahia, é adotado limites variáveis para a vazão de outorga, entre 80% a 95% da vazão regularizada com permanência de 90%, dependendo do manancial (Cruz, 2001).

Nesse contexto, o presente trabalho buscou avaliar a disponibilidade hídrica da bacia do Rio Preto, localizada na região oeste da Bahia, conhecida por suas atividades agropecuárias de alta escala. Para isso, fez-se necessário a análise dos dados históricos de chuva e vazão e dos dados de outorga de direito de uso da água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a disponibilidade hídrica da Bacia do Rio Preto, tendo em vista a interferência humana ao longo do tempo, por meio da realização de estudo hidrológico e levantamento das outorgas de direito do uso da água na região.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o comportamento das chuvas e das vazões ao longo do tempo, por meio de testes estatísticos;
- Analisar a relação entre o volume escoado e o volume precipitado (Coeficiente de Escoamento) ao longo do tempo na bacia;
- Determinar as vazões de referência para outorga ($Q_{90\%}$);
- Estimar o tempo durante o qual será possível emitir outorgas de captação superficial na bacia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

A água é o elemento mais importante para a preservação da natureza e para a qualidade de vida humana, e o acesso deste recurso é um direito fundamental a todos, excedendo qualquer realidade econômica, social ou política nacional e internacional. No entanto, a situação mundial atualmente se mostra cada vez mais crítica. Aproximadamente, 35% da população mundial não tem acesso a água tratada e 43% não contam com serviços de saneamento básico (Unicef, 2019). Além disso, de acordo com esse mesmo estudo, a irrigação é responsável por 73% do consumo de água, enquanto que a indústria consome 21% e somente 6% destina-se ao uso doméstico.

Diante deste contexto, o Brasil é um dos países que possui uma posição bastante favorável. O estudo realizado pela UNESCO em 2003 revela que o Brasil aparece na 25ª posição dentre os 182 países analisados quanto à disponibilidade de recursos hídricos. São aproximadamente 48.314 $m^3\ ano^{-1}\ hab^{-1}$ de volume disponível, superando em 28 vezes o valor mínimo necessário para garantia de uma qualidade de vida saudável definido pela UNESCO. No entanto, 68,5% dessa quantidade de água disponível se encontra na bacia amazônica, onde se concentra apenas 7% da população brasileira (Euclydes et al., 2005).

Com relação a bacia do rio São Francisco, a qual abrange 7,5% do território brasileiro, tem-se uma disponibilidade hídrica de 7.024 $m^3\ ano^{-1}\ hab^{-1}$. É a partir deste recurso que esta região hidrográfica apresenta um importante papel na geração de energia elétrica para a região Nordeste, assim como, no fornecimento de água para consumo humano e para atividades agropecuárias. Apesar dessas contribuições, a precipitação média anual na região é abaixo da média nacional, justificando alguns problemas frequentes de escassez de água e, como consequência, a alteração no ciclo hidrológico da região (ANA, 2004).

3.2 ALTERAÇÕES NO CICLO HIDROLÓGICO

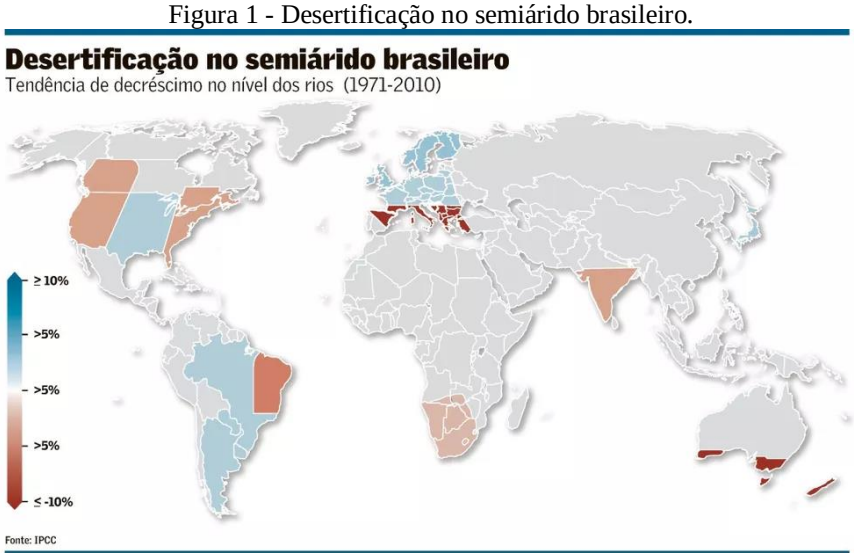
3.2.1 Impacto das Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas são um dos fatores que mais podem influenciar no ciclo hidrológico de uma região. Essa variação no clima pode ocorrer tanto de forma global quanto local, e pode ser influenciado por eventos naturais ou por efeitos antrópicos, segundo evidências científicas mais recentes (Marengo, 2001). Atualmente, muitos países têm adotado planos e medidas para reverter ou conter o aumento da temperatura da terra. O mais recente tratado internacional é o Acordo de Paris de 2015, assinado e aprovado por 195 países, o qual visa a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Dentre as diversas consequências já visíveis do aquecimento global no Brasil, pode-se observar as alterações na distribuição das chuvas na parte oeste da região Sul do país, enquanto na região litorânea do Nordeste e litoral Sul, percebe-se um aumento expressivo das chuvas, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,2022). Não obstante, mudanças na chuva podem afetar consideravelmente a produção de *commodities* agrícolas tais como o milho, a soja, o algodão, a cana de açúcar, dentre outros que são fundamentais para a economia do país e para o mercado internacional (CAMARGO, 2009).

Além disso, de acordo com o relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) emitido em 2022, o Nordeste do Brasil é uma das três regiões do mundo que se encontram no processo de secagem dos rios, conforme a Figura 1. Neste documento é apresentado um mapa global da tendência do fluxo médio anual dos rios feito por mais de 7.200 observatórios no período entre 1971 e 2010, o qual conclui que o processo de secagem está diretamente ligado, principalmente, com as mudanças em grande escala na precipitação. Por consequência, o IPCC ainda relata que o aumento da frequência e intensidade das secas pode fazer com que rios perenes se tornem intermitentes e que rios intermitentes deixem de existir (IPCC, 2022).

Figura 1 - Desertificação no semiárido brasileiro.



Fonte: IPCC (2022).

3.2.2 Impactos da Urbanização

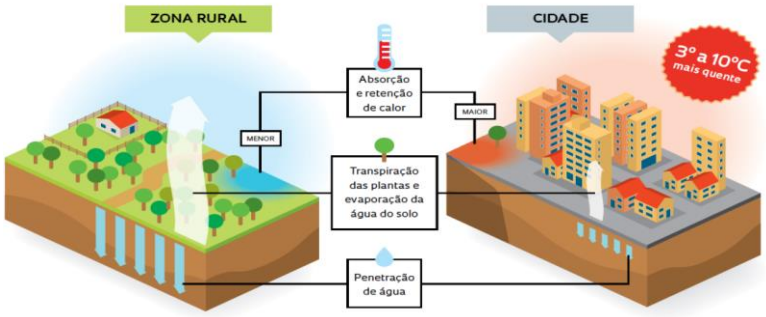
Durante os anos 70, a produção agrícola no Brasil começou a se desenvolver de forma mais intensa com o surgimento de novas tecnologias. Essa mecanização ocasionou o processo de êxodo dos trabalhadores rurais para as cidades em busca de novas oportunidades. O IBGE (2022) apresentou um estudo com números absolutos e relativos da população urbana e rural durante o período de 1950 a 2010, onde é possível observar que os habitantes na área urbana passaram de 35% para 85% da população total do país.

Esse intenso crescimento urbano traz consigo diversos impactos para o ciclo hidrológico da região e pode causar agravos à saúde humana (TUNDISI, 2003). Os pavimentos impermeáveis e os canais de concreto projetados para drenagem acabam impossibilitando a infiltração da água da chuva no solo. Dessa forma, o escoamento superficial tende a aumentar sua velocidade ao longo dos canais, de forma que problemas ambientais sejam mais frequentes e que o sistema de drenagem seja comprometido, intensificando o potencial para a ocorrência das inundações e deslizamentos (OHNUMA JR, 2005).

Tucci (2003) ressalta que além dos impactos citados anteriormente, a urbanização pode acarretar na redução do escoamento subterrâneo, o qual gera o rebaixamento do nível do lençol freático. Além disso, o avanço da construção civil nas áreas urbanas proporciona o fenômeno das ilhas de calor, ou seja, o aumento da temperatura média anual nas cidades que pode atingir 10 ºC em comparação às áreas rurais (OKE, 1987). Vale salientar que essa elevação na

temperatura em áreas urbanas pode alterar o regime das precipitações (Figura 2). Pivetta (2012) apresenta um estudo comparando Manaus e Belém com a capital paulista, e é possível observar que a chuva média anual na cidade de São Paulo apresentou um aumento de 30% nos últimos 80 anos, comprovando a hipótese de que a urbanização é um dos fatores possíveis para esta elevação.

Figura 2 - Comparação entre zona rural e cidades.



Fonte: Pivetta (2012).

3.3 EXPANSÃO AGRÍCOLA NO BRASIL

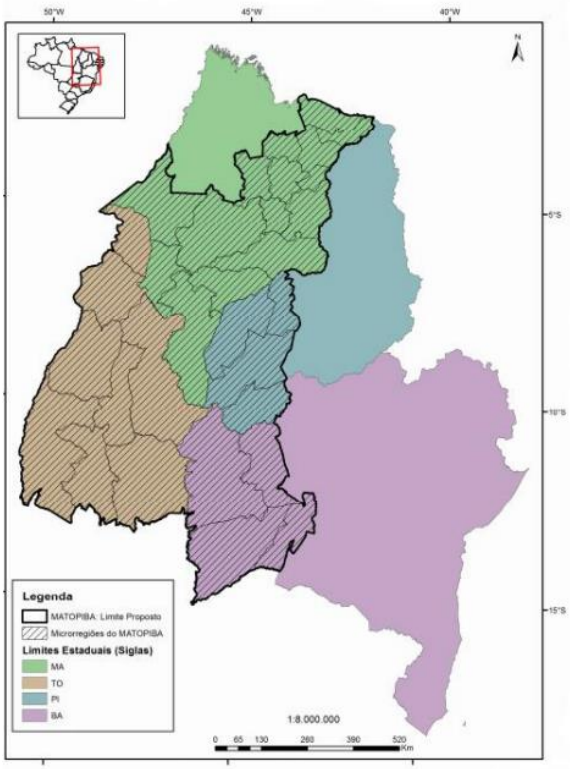
3.3.1 Ocupação Antrópica na Região do MATOPIBA

A agricultura é um dos setores que mais contribui para o crescimento econômico do Brasil. Apesar dos diversos benefícios que a produção agrícola traz para o desenvolvimento do país, como a geração de empregos, de alimentos e de riquezas, esta atividade também traz consigo inúmeros desafios. Observa-se uma grande concentração de riqueza para pequenas parcelas de propriedades rurais, assim como existem milhões de hectares de solos degradados. Além disso, há um enorme desperdício de água na irrigação, e um uso inadequado de agrotóxicos, os quais oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. (PARIZOTTO e COELHO, 2018).

Um dos principais polos nacionais de produção agrícola se encontra dentro do Cerrado brasileiro, o qual vem sofrendo com um intenso processo de conversão de sua cobertura vegetal por atividades produtivas de elevada escala, ocasionando mudanças bruscas nas características da cobertura do solo e alterações significativas no seu ciclo hidrológico (KLINK, 2013). Dentro

deste contexto, a região do MATOPIBA, composta por municípios nos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA), é apontada como a nova fronteira agrícola do país com cerca de 73,1 milhões de hectares (FUNDAJ, 2021). De acordo com Mingoti (2014), devido às suas características diferenciadas de clima e solo, esta região apresenta excelentes índices de produção de soja, milho e algodão, sendo superiores à produção média nacional.

Figura 3 - Região do MATOPIBA.



Fonte: Belchior et al., 2017.

No entanto, o cultivo dos grãos, como por exemplo a soja, está diretamente associado às variações do clima da região, isto é, ao regime das precipitações, à disponibilidade de radiação solar e à temperatura do ar (Assad, 2007). Por conta da alta vulnerabilidade desta cultura, todos estes fatores exercem um papel imprescindível para a eficiência da produtividade, conforme relata Sentelhas et al. (2015). Em seu estudo, tanto o déficit hídrico, quanto as intensas chuvas, são fatores limitantes na produção de soja, sendo responsáveis por uma perda de, em média, 1.378 kg/ha.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Preto (BHRP), localizada no oeste da Bahia, pode-se observar situação semelhante. De acordo com Vale e Reis (2012), Formosa do Rio Preto é o município cuja atividade agropecuária é dominante no setor econômico, com participação de 11,4% no PIB do Oeste da Bahia, sobretudo pela soja, que apresentou, em 2008, uma produção de 461.472 toneladas a partir de 152.000 ha de áreas plantadas. Todavia, apesar do alto índice do crescimento econômico, Formosa do Rio Preto também é o município que mais desmatou,

apresentando uma taxa de 2,7% por ano, de acordo com o mapeamento do bioma Cerrado realizado durante o período de 2008 -2009 (IBAMA, 2009).

Portanto, são inúmeros os desafios e as perspectivas para o MATOPIBA. Fez-se necessário uma estratégia que proporcionasse a participação de diferentes instituições na tomada de decisões. Visando este ideal, o governo federal inaugurou, em 2015, o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA, que tem por objetivo promover e coordenar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento econômico sustentável fundado nas atividades agrícolas e pecuárias que resultem na melhoria da qualidade de vida da população da região (BELCHIOR et al., 2017).

3.3.2 Agricultura Irrigada

A irrigação é responsável pelo consumo de 70% do total de água de qualidade usada no planeta, seguido pelo setor industrial (21%) e pelo consumo doméstico (9%) (SANTOS e CARDOSO, 1998). Em contrapartida, com o aumento crescente da população no mundo, surge a necessidade de produzir alimentos em maior quantidade e qualidade para atender esta demanda. De acordo com estudos da agência FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), em 2050, a população no planeta irá superar 9 bilhões de pessoas, sendo necessário um aumento na produção de alimentos em 60 a 70%.

Diante desse contraste entre consumo e produtividade, torna-se indispensável a elaboração e aplicação de métodos de irrigação que tenham sustentabilidade social, econômica e ambiental (BERNADO, 1998). A fim de alcançar este equilíbrio, a agricultura irrigada precisa ser eficiente no uso da água, isto é, investir em novas estratégias nos tipos de cultivo, novos sistemas de irrigação, buscando sempre melhorias nos métodos de manejo (CHRISTOFIDIS, 1999).

Um bom exemplo de aplicação dessas soluções se encontra no Oeste da Bahia. Esta região é uma das mais importantes fronteiras agrícolas do mundo, possuindo uma expansão da área agrícola de aproximadamente 440% no período entre 1990 e 2018, totalizando cerca de 2,3 milhões de hectares (MANTOVANI, 2019). No entanto, a acelerada ampliação da área irrigada juntamente com as secas que atormentaram a região nos últimos anos trouxeram preocupações às comunidades locais, aos empresários que investem na implantação de sistemas modernos, aos órgãos reguladores e à comunidade acadêmica.

A fim de alcançar a eficiência no uso da água na irrigação dessa região, uma alternativa bastante utilizada em culturas graníferas, hortaliças, café, forrageiras e gramíneas é o pivô central (Figura 4). Este sistema é constituído de uma longa tubulação apoiada sobre torres acima do solo, diferenciando-se dos demais sistemas de irrigação por aspersão, uma vez que a cultura é irrigada enquanto uma tubulação com emissores conectados gira em torno de um ponto fixo ou pivô (JACINTO, 2001). Heermann e Kohl (1983) explicam que a velocidade média de deslocamento dos emissores aumenta do centro para a periferia da área. Como resultado, diminui-se o tempo disponível para a aplicação da água por unidade de comprimento da lateral. Logo, conclui-se que, além de serem fáceis de operar e de percorrem longas distâncias com alta eficiência, o uso do sistema de irrigação por meio do pivô central possibilita uma melhor economia de água e não exige muita mão de obra.

Figura 4 - Sistema de Irrigação por meio de Pivô Central.

Fonte: Elena Charlotte Landau (EMBRAPA, 2021)

3.4 EVOLUÇÃO DA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

3.4.1 Breve Histórico

A outorga é um instrumento jurídico pelo qual o Poder Público assegura o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e, simultaneamente, garante ao usuário o direito do acesso dos recursos hídricos (GRANZIERA, 1995).

Foi na década de 30 que o Governo Federal legislou pela primeira vez sobre o uso da água. Em 1934 foi publicado o Decreto Lei Nº 24.643, conhecido como Código das Águas, no qual o Artigo 43 define serem passíveis de outorga as águas públicas (Brasil, 1934).

Com a promulgação da Constituição Federal em 1988, tornou-se imperativo atualizar essa legislação básica, de forma a ajustá-la ao prescrito no Inciso XIX, do Artigo 21 da Carta Magna, o qual diz que compete à União instaurar um Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), assim como definir critérios de outorga de direitos de seu uso (Brasil, 1998).

Só então, em 1997, foi aprovada e sancionada a Lei nº 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o SINGREH (Brasil, 1997). Desse modo, foi finalmente possível assegurar, de forma legal, a disponibilidade e a qualidade da água aos diversos usuários outorgados. Além disso, o Artigo 5º dessa Lei define os cinco instrumentos que devem compor o Sistema Nacional, sendo eles, o Plano de Recursos Hídricos, o Enquadramento dos Corpos de Água, a Outorga de Direito de Uso, a Cobrança pelo Uso da Água e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

3.4.2 Tipos de Outorga

Diversos são os tipos de alocação dos direitos de uso da água que podem ser observados nas diferentes sociedades (PIRES, 1996). Dentre as doutrinas mais comuns, a outorga ripária é aquela vinculada à terra, tendo a água características de bem privado (WURBS, WALLS, 1989). Sob essa ótica, as disputas pelo recurso são resolvidas em tribunais e não há entidades que proporcionem a gestão integrada ou participativa das águas. É, portanto, considerado um sistema antiquado e pouco praticado, devido à ocorrência de muitos conflitos (KOCH, 1996).

A outorga comercializável, também chamada de transferível, tem como base o recurso hídrico ser visto com um bem econômico, regido pela lei da oferta e procura, gerando um mercado de águas. Segundo Arnéz (2002), este tipo de outorga é o mais eficiente, considerando um mercado em concorrência perfeita. Alguns países como Chile, México e parte dos Estados Unidos, adotam esse modelo de outorga, embora venha sendo alvo de diversas críticas (CESTTI E KEMPER, 1995).

Por fim, a outorga controlada, conhecida também como administrativa, refere-se ao direito de uso de uma parcela de água concedida pelo poder público a um determinado usuário,

levando em conta aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais (PIRES, 1996). Para isso, o órgão gestor elabora análises prévias dos recursos hídricos disponíveis na região e define as vazões máximas outorgáveis aos usuários, tendo em vista as vazões de referência. No Brasil, este é o tipo de outorga adotado, sendo estabelecido através da Lei 9.433/1997.

3.4.3 Vazão de Referência

As vazões de referência são estabelecidas por meio de um valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso d'água e é, também, um dos principais impasses para implementação de um sistema de outorga (RIBEIRO, 2000). Em contrapartida, a aplicação desse critério é considerada procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são feitas, na maioria das vezes, a partir de uma vazão de base de pequeno risco (HARRIS, 2000).

O estudo hidrológico em rios perenes, para definição da vazão de referência, geralmente é realizado com base na vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) ou nas vazões mínimas associadas às permanências de 90% ($Q_{90\%}$) ou 95% ($Q_{95\%}$) (SILVA et al, 2006). A vazão $Q_{7,10}$ pode ser explicada como o valor anual da média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma só vez a cada dez anos, ou seja, período de retorno de 10 anos (VON SPERLING, 2007). Já a $Q_{90\%}$ e a $Q_{95\%}$ são os menores valores de vazão que ocorrem em 95% ou 90% do tempo, respectivamente, e podem ser determinadas através de uma curva de permanência (SILVA, 2006). Os autores ressaltam ainda que somente certo percentual dessas vazões é utilizado, denominado vazão outorgável. Já o restante é considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico, chamada de vazão ecológica.

Desse modo, cada estado do Brasil adota diferentes critérios para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga (CRUZ, 2001). Em Minas Gerais, por exemplo, é adotado uma vazão outorgável em 30% da $Q_{7,10}$, fazendo com que a vazão que deve permanecer no rio não seja inferior a 70% do $Q_{7,10}$ (Schvartzman et al., 1999). Já no estado do Ceará, a referência para outorga é estabelecida em 90% da vazão regularizada com garantia de 90%, ou seja, em tempos de estiagem, deve ser mantida uma vazão no rio correspondente a 10% da vazão Q90% (CABRAL, 1997). Com relação ao estado da Bahia, são adotados limites variáveis

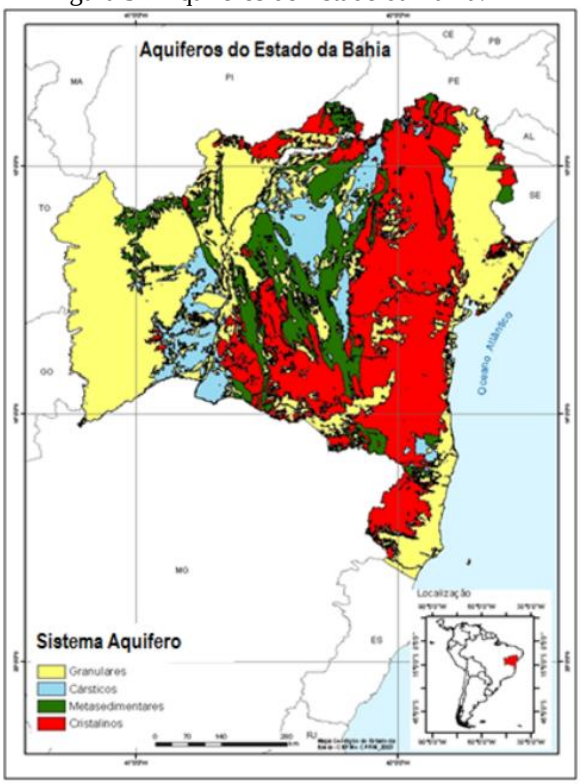
para a vazão de outorga, entre 80% a 95% da vazão regularizada com permanência de 90%, dependendo do manancial (Cruz, 2001).

3.4.4 Critérios Legais e Técnicos para Análise de Outorga no Estado da Bahia

As análises dos pleitos de outorga no Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) são realizadas de acordo com as seguintes modalidades: Autorização para Perfuração de Poço (APPO) e Captação Subterrânea, Captação Superficial, Intervenção em Curso d'Água e Lançamento de Efluentes (DE PAULO e DA SILVA, 2011)

Com relação à APPO e captação subterrânea, a análise da disponibilidade hídrica é feita através do teste de bombeamento. Para isso, o requerente deve, inicialmente, informar o local de perfuração do poço, a vazão prevista, a empresa que irá perfurar o poço e a distância do poço até o rio. Além disso, a análise dos pleitos dessas atividades é utilizada como base nas coordenadas do poço a ser perfurado e os dados dos aquíferos da Bahia, os quais são classificados como Granulares, Cársticos, Metassedimentares e Cristalinos, conforme a Figura 5 (CONERH, 2014).

Figura 5 - Aquíferos do Estado da Bahia.



Fonte: CONERH (2014).

No que diz respeito à captação superficial, os pleitos são avaliados conforme a Instrução Normativa SRH nº 01 de 2007: (I) 80% da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% de permanência a nível diário, quando não houver barramento; (II) 80% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes; (III) 95% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes; (IV) Para abastecimento humano, o limite de uso total da vazão de referência poderá atingir até 95%.

Quanto às intervenções em curso d'água, pode-se observar os casos de canalização ou retificação de curso d'água, aproveitamento hidrelétrico, exploração mineral em leito de rio e construção de barragem (INGA, 2009). No contexto de canalização, o técnico deve realizar estudos hidrológicos e em seguida analisar o cálculo de vazão de projeto apresentado. Além disso, o analista verifica se a geometria do canal está compatível com a vazão máxima para o tempo de recorrência definido, assim como se o revestimento adotado é adequado com a velocidade de fluxo (INGA, 2009).

Por fim, para realizar o lançamento de efluentes em rios é preciso avaliar os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio e Fósforo para ambientes sujeitos a eutrofização (SRH, 2007). Ainda de acordo com a Instrução Normativa SRH nº 03/2007, a vazão de referência adotada para diluição ou disposição final de efluentes é de 90% (Q_{90}), sendo a vazão máxima individual de 20% da Q_{90} e o somatório das vazões reservadas para cada ponto de análise de 50% da Q_{90} ($Qdil_{acum}$). Kelman (1997) explica que a vazão de diluição (Qdil) é a vazão necessária para diluir a DBO até a concentração equivalente à classe em que o manancial pertence. Em seguida, o autor demonstra que a outorga só poderá ser emitida após as verificações das duas condições serem atendidas, ou seja, que a vazão de diluição individual seja menor que 20% da Q_{90}, assim como a vazão de diluição acumulada seja menor que 50% da Q_{90}.

4 METODOLOGIA

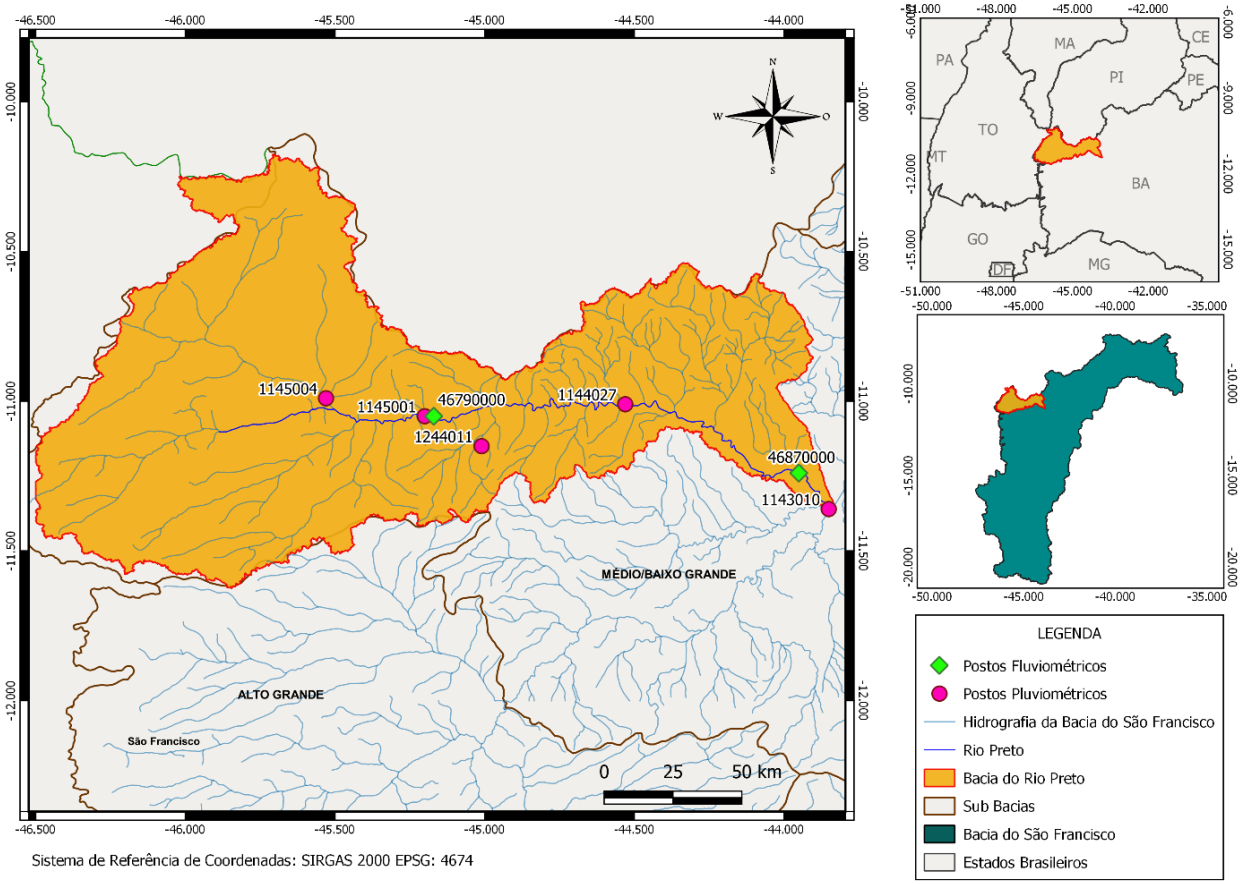
4.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Preto (BHRP), localizada no Oeste da Bahia, está delimitada por uma área de aproximadamente 22748,34 km². A BHRP é um dos principais contribuintes da bacia hidrográfica do Rio Grande, que por sua vez é o principal afluente da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Além disso, encontra-se limitada ao sul pela sub bacia do Rio Branco e do Médio Rio Grande, e a leste pela sub bacia do Baixo Rio Grande, região que engloba o Noroeste do estado da Bahia. O Rio Preto nasce nas fraldas do Espigão Mestre e deságua no Rio Grande, próximo à serra do Boqueirão, município de Mansidão, contendo como principais afluentes o rio Sapão e o rio do Ouro.

A região Oeste da Bahia faz parte do cerrado brasileiro e desde a década de 1980 vem ocupando áreas planas, de maior intensidade pluviométrica e em solos com potencial produtivo, tornando-se um grande celeiro de produção agrícola (SANTOS, 2020). Com relação a vegetação, a região possui fitofisionomias distintas, tais como Florestas Estacionais, Mata de Galeria, Mata Ciliar, Cerrado e Veredas (VALE e REIS, 2012). O oeste da Bahia possui clima Tropical Semiárido e Tropical Continental, sendo este o predominante e caracterizado por dois períodos bem distintos: um chuvoso e outro seco, verão e inverno, respectivamente. O relevo é composto por duas unidades principais, a Depressão Sertaneja e o Chapadão Ocidental do São Francisco (REBOUÇAS et al., 2007).

Na Figura 6 é possível visualizar a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, e em destaque, o seu canal principal, e as estações pluviométricas e fluviométricas.

Figura 6 - Bacia do Rio Preto com a Localização dos Postos Pluviométricos e Fluviométricos.



Fonte: Autor (2022).

4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

Para o estudo dos dados pluviométricos e fluviométricos, fez-se uso dos dados obtidos na plataforma do Hidroweb, pertencente à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Inicialmente, foram selecionadas 10 estações pluviométricas na região do Baixo Rio Grande, as quais apresentaram séries iguais ou superiores a 30 anos. Dentre elas, apenas 5 se encontram na região da Bacia Hidrográfica do Rio Preto (Apêndice A):

- Fazenda Bom Jardim (1145004): Dados de 1963 a 2019;
- Formosa do Rio Preto (1145001): Dados de 1941 a 2019;
- Barreiras (1244011): Dados de 1936 a 2019;
- Ibipetuba (1144027): Dados de 1911 a 2019;
- Boqueirão (1143010): Dados de 1937 a 2019.

De forma análoga ao que foi descrito anteriormente, foram identificadas 7 estações fluviométricas na região do Baixo Rio Grande que possuíam um período de 30 anos ou mais. Dentre essas, somente duas estão situadas no Rio Preto, cujos dados se encontram no Apêndice B e Apêndice C. Vale ressaltar que, com relação a consistência dos dados, as estações fluviométricas apresentaram dados brutos a partir de 2015.

- Formosa do Rio Preto (46790000): Dados de 1941 a 2021;
- Fazenda Porto Limpo (46870000): Dados de 1978 a 2021.

4.3 DELIMITAÇÃO DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO E DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL

No que diz respeito à delimitação da bacia, fez-se uso do *software* QUANTUM GIS (QGIS), um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. A delimitação da bacia se deu por meio do comando *r.watershed*, o qual gera o contorno com base no exutório do rio e em um arquivo de modelo digital de elevação (MDE) numa extensão *.tif*.

Após isso, aplicou-se o método de Thiessen por meio do comando *r.voronoi*, a fim de determinar a precipitação total anual na região, a partir das áreas de influência dos pluviômetros das estações. Este método gera uma média ponderada das alturas registradas pelos pluviômetros, que é diretamente proporcional à área de influência da bacia, além disso, considera a não uniformidade da distribuição espacial das estações, e não leva em conta o relevo da bacia (Tucci, 1998). Com isso, determinou-se a precipitação média por meio da Equação (4.1).

$$P_t = \frac{1}{A}\sum A_i P_i \tag{4.1}$$

onde:

P_t é a precipitação média das precipitações totais anuais na sub bacia (mm);

A é a área total da sub bacia (m²);

A_i é a área de influência dos postos (m²);

P_i é a precipitação total anual na estação (mm).

Dessa forma, foi possível analisar como o coeficiente de escoamento superficial se comporta ao longo do tempo. Pode-se expressar este coeficiente como a relação entre o volume total escoado e o volume total precipitado na bacia, conforme a Equação (4.2).

$$C = \frac{V_Q}{V_P} \tag{4.2}$$

onde:

C é o coeficiente de escoamento superficial;

V_Q é o volume total escoado na bacia (m^3);

V_P é o volume total precipitado na bacia (m^3).

Vale salientar que na delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, buscou-se obter arquivos vetoriais georreferenciados da bacia do Rio São Francisco, e suas respectivas sub bacias, bem como a hidrografia local, cujos dados foram coletados através da plataforma SIGA São Francisco. No site, é possível acessar o SF Map, uma ferramenta que utiliza tecnologia *WebGIS* destinada à publicação de dados, consultas e análises espaciais. Essa ferramenta possibilita a publicação de dados geográficos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e, por sua vez, os dados disponíveis podem ser utilizados para estruturação de estudos e análises espaciais diversas.

Com relação aos modelos digitais de elevação (MDE), utilizados para delimitação da bacia, foram selecionadas quatro folhas topográficas que contemplam a região através do Projeto TOPODATA, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em conjunto com a Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG) e com a Coordenação Geral de Ciências da Terra (CGCT), sendo elas:

- SC-23-Y-B (1:250000);
- SC-23-Y-D (1:250000);
- SC-23-Z-A (1:250000);
- SC-23-Z-C (1:250000).

4.4 ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS

Com o auxílio do *software* Hidro, disponibilizado gratuitamente pela ANA, foi possível preencher os dados mensais de chuva que não foram computados por alguma eventualidade por meio do método de ponderação regional. Após o preenchimento, foram organizados os dados referentes à precipitação total anual, precipitação diária máxima, trimestre mais chuvoso e trimestre mais seco, considerando o ano hidrológico de novembro a outubro, que foi determinado a partir do início do período chuvoso, que nesse caso é de novembro a janeiro.

Em seguida, analisou-se as séries com relação à estacionariedade, isto é, quando a série se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável (MORETTIN e TOLOI, 2004). Para isso, utilizou-se o *software* Rstudio, no qual foi possível aplicar os testes estatísticos de Mann-Kendall *e* Spearman, por meio da linguagem de programação R. Para as séries que não apresentaram estacionariedade, foi aplicado o teste de Pettitt no *software* Rstudio, a fim de identificar o ponto de mudança significativa. Dessa forma, as séries foram divididas em duas subamostras para aplicação do teste de homogeneidade Mann-Whitney, para comprovar que as duas subamostras provêm de diferentes populações. Em todos os testes, considerou-se 5% de nível de significância.

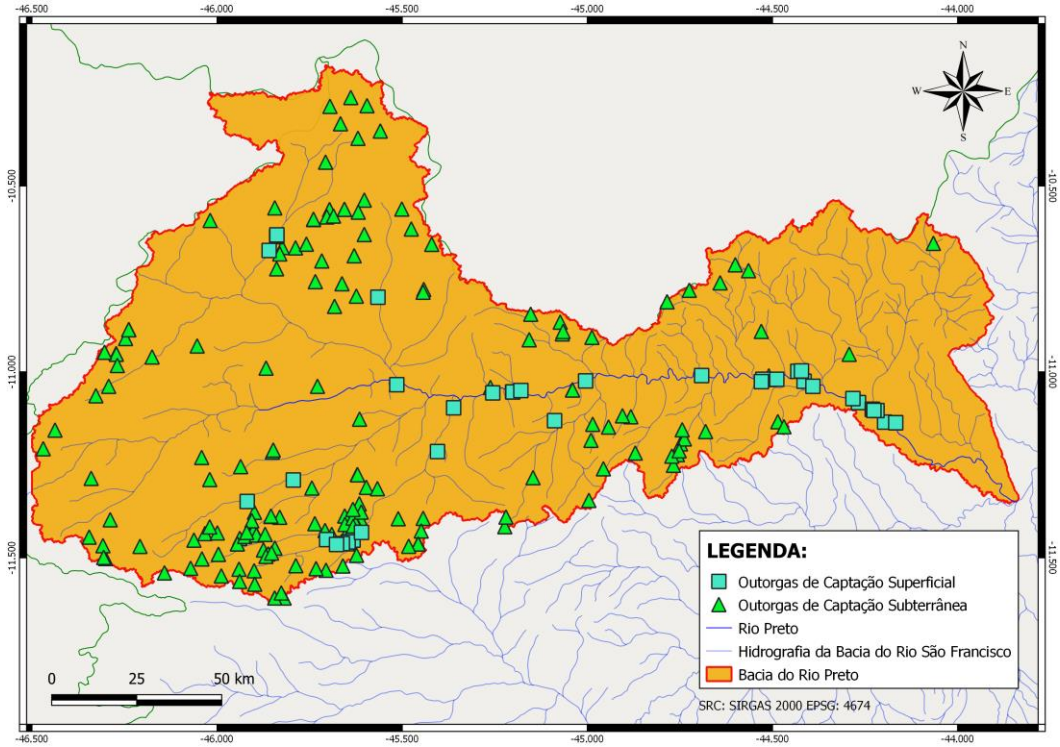
Para os postos de vazão, com o auxílio do *software* Hidro, fez-se um estudo da vazão média anual, máxima diária e mínima anual da média de 7, 15 e 30 dias consecutivos (NAGHETTINI, 2007). Aplicou-se, através do *software* Rstudio, os testes estatísticos de Mann-Kendall e Pettitt, assim como o teste de homogeneidade de Mann-Whitney, com o objetivo de identificar os possíveis aspectos de padrão de crescimento ou decrescimento de uma variável no decorrer do tempo. Em seguida, foi possível determinar a vazão de referência $Q_{90\%}$. A mesma foi determinada a partir da curva de permanência, a qual relaciona a vazão e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada ao longo do período histórico utilizado para sua construção (TUCCI, 1998 e 2001). As curvas de permanência dos postos fluviométricos foram construídas a partir dos registros de vazão diária, através do *software* Hidro.

Por fim, determinou-se a vazão média de longo termo (Q_{MLT}) através do software Hidro. A Q_{MLT} é definida como a vazão média das vazões médias mensais, ou seja, é uma média da média, representando a disponibilidade hídrica média de uma bacia, como também a máxima vazão a ser regularizada em uma bacia, permitindo a avaliação dos limites superiores da disponibilidade de água de um manancial (TUCCI, 2002).

4.5 ANÁLISE DOS DADOS DE OUTORGA

Quanto às informações referentes às outorgas, as mesmas foram obtidas junto ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) por meio de um Ofício, o qual foi prontamente protocolado e enviado ao núcleo de outorgas. O INEMA foi criado através da lei nº 12.212 de 4 de maio de 2011, promovendo a integração do sistema de meio ambiente e recursos hídricos do Estado da Bahia. O INEMA tem por finalidade executar as ações e programas relacionados à Política Estadual de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade, a Política Estadual de Recursos Hídricos e a Política Estadual sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2011). As informações solicitadas foram enviadas, em forma de planilhas eletrônicas, constando dados sobre as outorgas estaduais, superficiais e subterrâneas. Nesse material foi possível obter dados de: vazão outorgada, coordenadas geográficas, finalidade etc. A localização geográfica possibilitou espacializar, através do QGIS, a outorgas de modo a filtrar àquelas cujas captações se localizassem na bacia do Rio Preto, como mostrado na Figura 7. Por fim, analisaram-se as vazões outorgadas acumuladas com relação ao tempo, através de gráficos e equações desenvolvidas no Excel que serviram para estimar o período restante necessário para a vazão outorgada alcançar o limite estabelecido pelo Estado.

Figura 7 - Mapa com a localização das Outorgas de Captação Superficial e Subterrânea na bacia do Rio Preto.



Fonte: Autor (2022).

5 RESULTADOS

5.1 TESTES ESTATÍSTICOS COM OS DADOS DE CHUVA

As séries de chuvas anuais das estações selecionadas foram analisadas de modo a verificar possíveis tendências. Na Tabela 1, são mostrados os valores-*p* para cada teste de estacionariedade e para o teste de homogeneidade *Mann-Whitney*. As estações cujo valor-p deram abaixo de 5% foram consideradas séries não estacionárias.

Tabela 1 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Precipitação Anual, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

Estações	**Spearman**	**Mann-Kendall**	**Pettitt**	**Mann-Whitney**
Fazenda Bom Jardim	**0,0185 (↑)**	**0,0312 (↑)**	**0,0080 (1996)**	**0,0006**
Formosa do Rio Preto	0,4600	0,4662	0,2234	
Barreiras	0,6386	0,5805	0,4001	
Ibipetuba	0,2771	0,2795	**0,0476 (1986)**	**0,0035**
Boqueirão	0,2242	0,2228	0,0976	

Fonte: Autor (2022).

É possível observar que a série da estação pluviométrica de Fazenda Bom Jardim apresentou tendência de aumento em todos os testes de estacionariedade, sendo o ponto de mudança de tendência no ano de 1996, identificado pelo teste de Pettitt. Com relação à série do posto de Ibipetuba, os testes de *Spearman* e *Mann-Kendall* não detectaram tendência, contudo o teste de Pettitt apontou que em 1986 houve um ponto de mudança na série, apresentando tendência de decrescimento. As séries das demais estações foram consideradas séries estacionárias quanto à precipitação anual.

Em seguida, os testes foram aplicados quanto aos trimestres menos chuvosos e aos trimestres mais chuvosos. A Tabela 2 mostra que com relação à precipitação do trimestre mais seco, o teste de *Pettitt* não identificou nenhum tipo de tendência para nenhuma das séries, No entanto, a partir dos testes de Spearman e Mann-Kendall, verificou-se que a série de chuva da estação de Formosa do Rio Preto apresentou tendência decrescente com significância estatística.

Tabela 2 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de trimestre mais seco, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

Estações	Spearman	Mann-Kendall	Pettitt
Fazenda Bom Jardim	0,9274	0,9776	1,1550
Formosa do Rio Preto	**0,0350 (↓)**	**0,0420 (↓)**	0,2346
Barreiras	0,0950	0,1049	0,0548
Ibipetuba	0,2508	0,2379	0,4125
Boqueirão	0,7975	0,8604	0,4546

Fonte: Autor (2022).

Quanto à precipitação do trimestre mais chuvoso, pode-se observar na Tabela 3 que somente a série da estação de Fazenda Bom Jardim apresentou tendência de aumento e mudança no ano de 1998.

Tabela 3 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de trimestre úmido, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

Estações	Spearman	Mann-Kendall	Pettitt	Mann-Whitney
Fazenda Bom Jardim	**0,0181(↑)**	**0,0244 (↑)**	**0,0176 (1998)**	**1,782E-05**
Formosa do Rio Preto	0,8278	0,7860	0,3970	
Barreiras	0,7420	0,6883	0,4690	
Ibipetuba	0,1170	0,0976	0,0583	
Boqueirão	0,5426	0,4661	0,4701	

Fonte: Autor (2022).

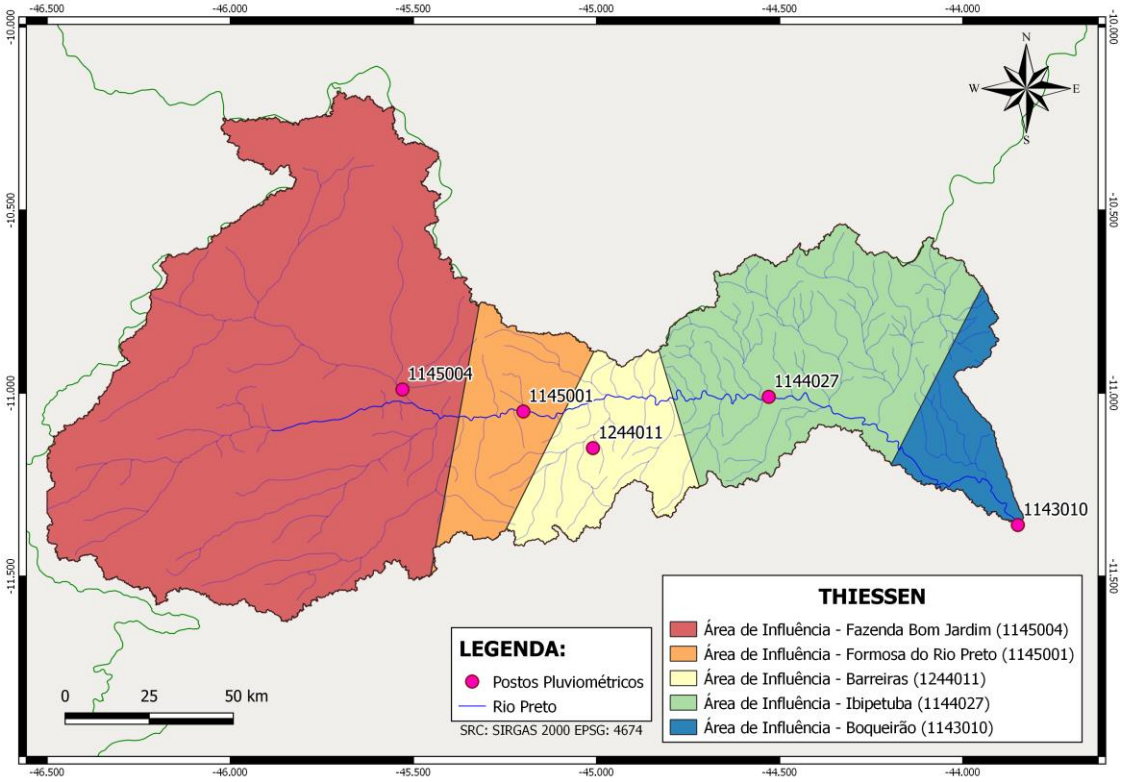
Os resultados dos testes demonstraram que a alteração na precipitação anual apresentada nas séries dos postos deveu-se, principalmente, à variação da precipitação nos meses úmidos, uma vez que, no posto Fazenda Bom Jardim, a tendência de aumento foi identificada em ambas as análises. Nas demais estações, tanto o total anual precipitado quanto o trimestre mais chuvoso não detectaram tendência nas séries. Dessa forma, também é possível inferir que as tendências de diminuição detectadas nos meses secos não foram suficientes para alterar o total precipitado.

5.2 PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA DO RIO PRETO

Através do método de Thiessen foi possível calcular média da precipitação total anual nos cinco postos pluviométricos em um período comum a todas as séries, sendo este de 1978 a 2018. As áreas de influência de cada estação obtidas por meio do software QGIS, estão mostradas na Tabela 4 e representadas na Figura 8, os resultados obtidos foram registrados na

Tabela 5. É possível notar que o posto de Fazenda Bom Jardim possui a maior área de influência, com 58,04% da área total da Bacia do Rio Preto.

Figura 8 - Áreas de Influência dos Postos Pluviométricos.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 4 - Áreas de Influência das estações pluviométricas.

Estações	**Área (km²)**	**Ai/A**
Fazenda Bom Jardim	13201,94	0,5804
Formosa do Rio Preto	1824,30	0,0802
Barreiras	1897,18	0,0834
Ibipetuba	4738,89	0,2083
Boqueirão	1084,93	0,0477
Total	22747,25	1

Fonte: Autor (2022).

Tabela 5 - Precipitação Média na Bacia do Rio Preto, no período de 1978 a 2018.

Ano	Precipitação Total Anual (mm)					Precipitação Média (mm)
	Fazenda Bom Jardim	Formosa do Rio Preto	Barreiras	Ibipetuba	Boqueirão	
1978	1086,9	1398,1	1494,8	1568,5	1367,9	1259,61
1979	1240,7	1303,7	1528,1	1424,0	1179,0	1304,96
1980	1103,8	1504,8	1398,1	1400,7	1130,2	1223,61
1981	962,3	837,5	1024,2	998,9	766,7	955,78
1982	910,2	1026,1	717,3	784,6	649,8	864,83
1983	971,9	917,9	1123,9	989,7	643,8	968,30
1984	685,5	573,9	681,6	597,2	577,3	652,67
1985	1149,2	1370,1	1604,1	1310,6	1389,8	1249,96
1986	868,7	714,8	1082,4	1451,4	767,3	990,74
1987	643,4	991,3	978,6	810,4	595,0	731,74
1988	926,8	993,1	1097,5	864,0	702,8	922,59
1989	880,7	1729,5	1342,1	1135,9	883,8	1040,57
1990	506,1	729,8	633,6	401,5	459,5	510,66
1991	571,5	967,1	767,3	803,6	945,8	685,77
1992	1008,8	1225,4	1457,5	1100,1	917,2	1078,25
1993	752,1	682,0	500,1	613,5	585,7	688,65
1994	858,3	868,3	1016,7	860,9	792,9	869,74
1995	996,5	1212,2	1219,2	967,7	922,6	1022,85
1996	713,3	734,8	686,5	797,6	675,1	728,53
1997	1194,6	1174,3	1153,4	1173,7	1235,5	1187,13
1998	882,1	932,1	896,8	1000,4	771,7	906,72
1999	1307,9	886,5	1145,2	993,8	1019,0	1181,32
2000	1392,7	1312,4	1173,8	1208,9	1024,1	1312,13
2001	1283,7	684,1	767,4	901,0	553,4	1077,99
2002	1274,0	930,8	941,3	720,9	808,7	1081,31
2003	1059,9	945,2	799,0	709,2	593,8	933,65
2004	1330,0	941,6	1176,9	972,8	1131,3	1202,19
2005	1271,7	1116,2	973,2	941,2	688,1	1137,65
2006	630,1	983,0	1130,0	894,9	1029,3	774,30
2007	334,7	824,9	653,8	668,7	747,2	489,88
2008	1070,9	1165,6	1006,6	1062,6	679,5	1052,73
2009	738,8	1121,4	1156,6	732,6	999,3	815,46
2010	1148,5	762,0	948,1	594,4	754,1	966,54
2011	1601,1	766,8	1159,4	1053,3	1118,7	1360,22
2012	1150,9	610,7	566,3	557,7	434,8	901,08
2013	1301,2	1053,6	1048,3	976,8	936,6	1175,28
2014	1123,1	788,8	811,2	711,8	631,0	961,12
2015	862,9	651,8	722,1	683,0	518,2	780,31
2016	1101,2	937,8	1010,6	1151,5	1007,5	1086,55
2017	1028,7	811,7	766,3	725,4	759,3	913,38
2018	1084,8	1109,1	1056,5	755,9	936,4	1008,79
Média						976,96

Fonte: Autor (2022).

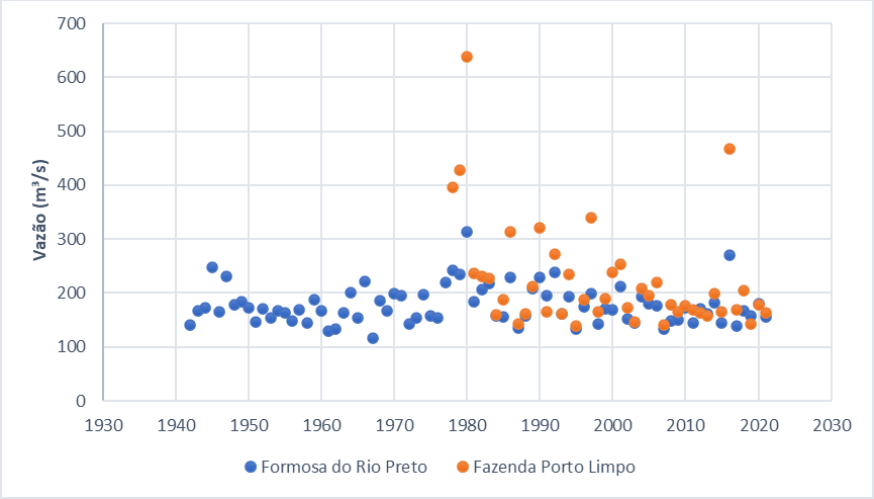
Considerando os dados do período de 1978 a 2018, a média histórica da precipitação anual na bacia do Rio Preto, obtida pelo método de Thiessen, é de 976,96 mm.

5.3 TESTES ESTATÍSTICOS COM OS DADOS DE VAZÃO

Inicialmente, os dados dos dois postos fluviométricos foram organizados em gráficos comparativos quanto à vazão máxima diária anual, vazão média anual e vazão mínima anual da média de 7, 15 e 30 dias consecutivos.

Na Figura 9, fez-se a relação Vazão x Tempo com os valores de escoamento máximo no ano. Os testes de estacionariedade, registrados na Tabela 6, não apontaram tendência, exceto para o teste de *Mann-Kendall* no posto de Fazenda Porto Limpo (valor-p < 0,05). Além disso, como o teste de *Pettitt* não apontou nenhum ponto de mudança em nenhuma das séries (valor-p > 0,05), não foi aplicado o teste de homogeneidade.

Figura 9 – Gráfico de Vazão Máxima Diária (m³/s) versus Tempo (anos).



Fonte: Autor (2022).

Tabela 6 - Valor-p obtido nos testes de estacionariedade (α=5%) de Vazão Máxima Diária.

Estações	Mann-Kendall	Pettitt
Formosa do Rio Preto	0,6447	0,589
Fazenda Porto Limpo	**0,0144 (↓)**	0,1753

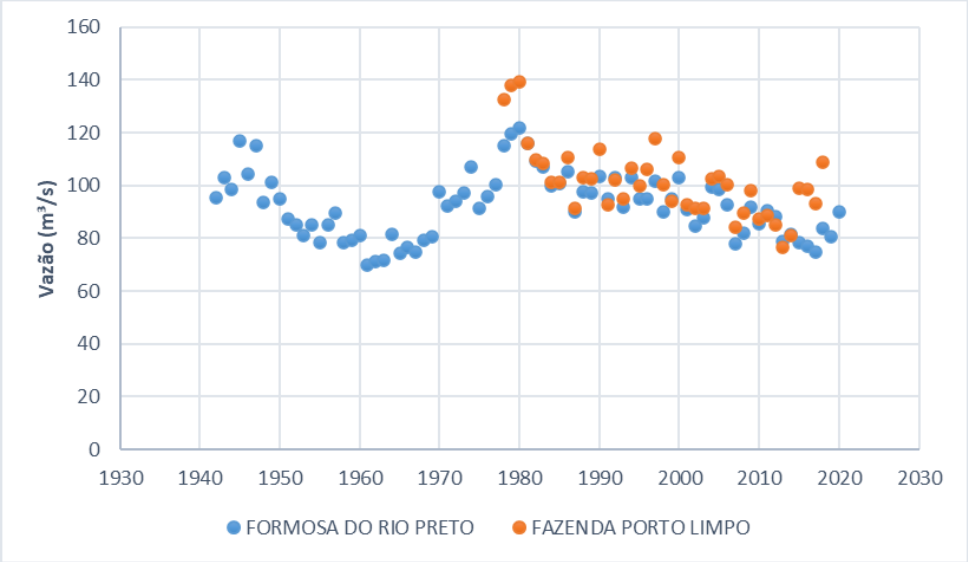
Fonte: Autor (2022).

De forma análoga, os dados de vazão média anual das duas séries foram plotados no gráfico da Figura 10 quanto ao escoamento médio anual. Dessa forma, pode-se observar, por

meio do posto de Formosa do Rio Preto, um brusco declínio nos valores de vazão dos anos 40 aos anos 60, seguido de um crescimento que perdura até o ano 1980, onde mais uma vez inicia-se um decrescimento até os dias atuais, com exceção dos últimos 7 anos, nos quais a vazão apresentou um pequeno aumento, não sendo suficiente para conter a linha de tendência negativa. O valor da Q_{med} no ano de 2020, para o posto de Formosa do Rio Preto, é de 90,1 m³/s, enquanto para o posto de Fazenda Porto Limpo, a Q_{med} no ano de 2020 é de 108,8 m³/s.

Os testes estatísticos foram aplicados a fim de identificar o ponto exato de mudança nas séries. Sendo assim, na Tabela 7, o teste de Pettitt mostra o ano de 1969 para o posto de Formosa do Rio Preto e o ano de 2000 para o posto da Fazenda Porto Limpo, ambos com tendência de decrescimento. Já no teste de Mann-Kendall, somente a série do posto da Fazenda Porto Limpo apresentou tendência de queda.

Figura 10 - Gráfico de Vazão Média Anual (m³/s) versus Tempo (anos).



Fonte: Autor (2022).

Tabela 7 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Vazão Média Anual, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

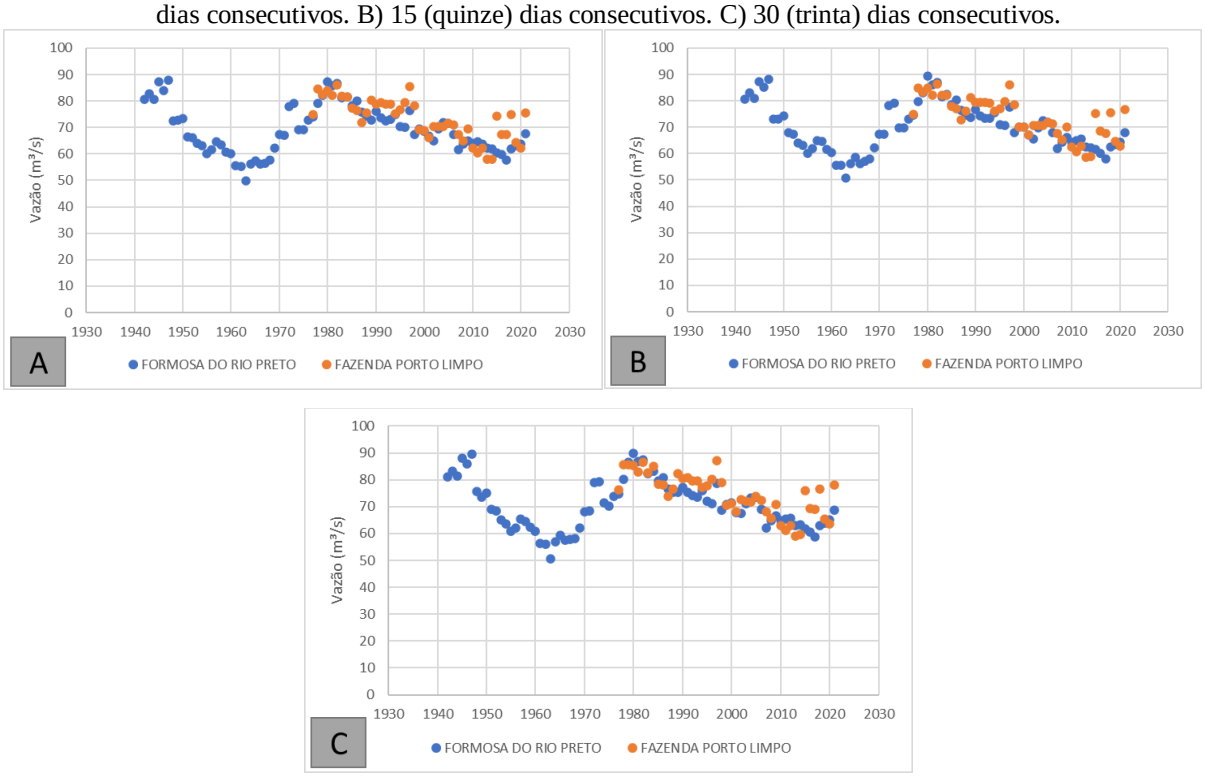
Estações	Mann-Kendall	Pettitt	Mann-Whitney
Formosa do Rio Preto	0,181	**0,03609 (1969)**	**0,003108**
Fazenda Porto Limpo	**0,00001014 (↓)**	**0,0009535 (2000)**	**0,00003058**

Fonte: Autor (2022).

Com relação aos dados de vazões mínimas anuais, fez-se a análise visando o escoamento em dias consecutivos, ou seja, para cada ano do registro histórico, encontrou-se a menor média das vazões em 7, 15 e 30 dias consecutivos. Os resultados foram registrados no gráfico da Figura 11, o qual compara as duas estações fluviométricas. É possível observar tanto

visualmente quanto quantitativamente (Apêndice B e C) que não houve diferenças significativas nas vazões com relação ao período de dias consecutivos. Além disso, o comportamento das vazões mínimas se assemelhou com o das vazões médias (Figura 10), apresentando o mesmo decrescimento e crescimento nos mesmos períodos de anos.

Figura 11 - Gráfico de Vazão mínima anual (m³/s) versus Tempo (anos). Menor média das vazões de: A) 7 (sete) dias consecutivos. B) 15 (quinze) dias consecutivos. C) 30 (trinta) dias consecutivos.



Fonte: Autor (2022).

Do mesmo modo, nota-se que, a partir de 2015, houve um aumento considerável nos valores de vazão mínima, sendo mais expressivo no posto de Fazenda Porto Limpo, ou seja, próximo ao exutório da bacia. Vale ressaltar que esses últimos valores de vazão foram registrados como dados brutos.

Na Tabela 8, estão registrados os valores-p obtidos nos testes de estacionariedade e de homogeneidade para as vazões mínimas com as médias dos dias consecutivos para as duas séries fluviométricas. Apesar do aumento das vazões nos últimos 7 anos, a série ainda apresentou tendência de decrescimento. Tanto o teste de Mann-Kendall quanto o de Pettitt detectaram tendência de queda para ambas as estações, sendo 2005 o ano de mudança para Formosa do Rio Preto e 1998 para Fazenda Porto Limpo.

Tabela 8 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Vazão Mínima Anual, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

Teste de Estacionariedade		**Formosa do Rio Preto**			**Fazenda Porto Limpo**		
		Q7	**Q15**	**Q30**	**Q7**	**Q15**	**Q30**
Mann-Kendall	valor-p	**0,03009**	**0,03137**	**0,02947**	**2,05E-08**	**1,96E-08**	**3,43E-09**
Pettitt	valor-p	**0,04971 (↓)**	0,05374	**0,04906 (↓)**	**3,18E-07 (↓)**	**3,84E-07 (↓)**	**4,36E-07 (↓)**
	Ano	2005	2005	2005	1998	1998	1998
Mann-Whitney	valor-p	**0,00069**	**0,00079**	**0,00068**	**2,31E-08**	**3,22E-08**	**2,29E-07**

Fonte: Autor (2022).

5.4 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO

Diante dos resultados de chuva e vazão obtidos anteriormente, foi possível determinar o coeficiente de escoamento da bacia do Rio Preto. Primeiramente, a bacia foi dividida na estação fluviométrica de Formosa do Rio Preto a fim de analisar o coeficiente de escoamento nos trechos dos rios a montante dessa estação. Já para o estudo da bacia inteira fez-se o uso somente das vazões da estação Fazenda Porto Limpo que está localizado mais a jusante do rio, representando, portanto, os valores mais próximos das reais vazões de saída da bacia. Para ambos os estudos, considerou-se o período de 1978 a 2018.

Para calcular o volume precipitado multiplicou-se os valores de precipitação pela área correspondente à região de Formosa. Para isso, foi necessário determinar a precipitação total na sub-bacia por meio do método de Thiessen com as estações pluviométricas de Fazenda Bom Jardim e Formosa do Rio Preto. A fim de determinar a área da sub bacia, somou-se as duas áreas de influência das duas estações. Com relação ao volume escoado, multiplicou-se a vazão média anual pelo tempo de um ano, em segundos. O valor da área referente a esta estação e o tempo em segundos estão registrados na Tabela 9. Os resultados estão registrados abaixo na Tabela 10.

Tabela 9 - Área da bacia referente a estação Formosa do Rio Preto e o Tempo em segundos.

Área (km²)	15026,24
Tempo (s)	31536000

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10 - Determinação do Volume Precipitado, Volume Escoado e Coef. de Escoamento para Formosa do Rio Preto.

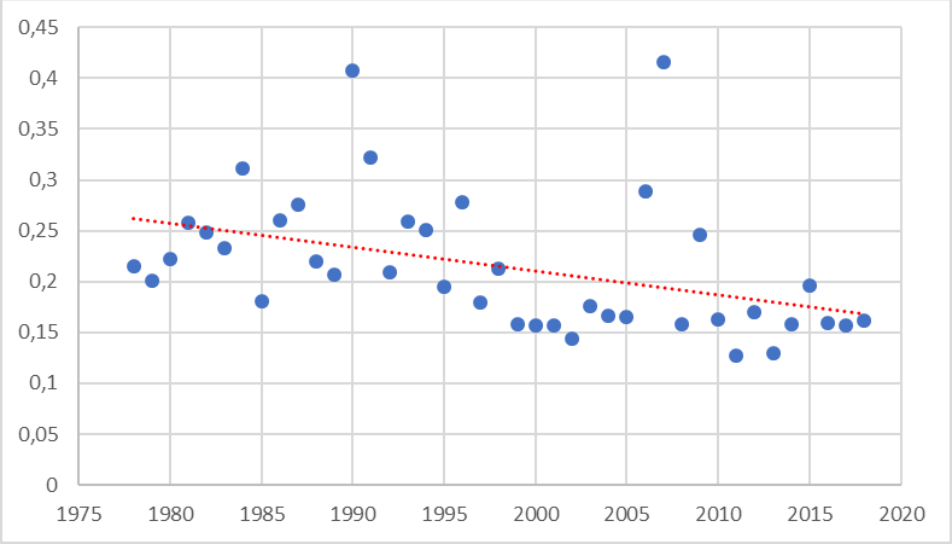
Ano	Precipitação total (mm)	Volume Precipitado (hm³)	Vazão Média (m³/s)	Volume Escoado (hm³)	Coeficiente de Escoamento
1978	1124,68	16899,75	115,34	3637,46	0,2152
1979	1248,35	18757,99	119,76	3776,69	0,2013
1980	1152,48	17317,51	121,85	3842,65	0,2219
1981	947,18	14232,61	116,15	3662,84	0,2574
1982	924,27	13888,32	109,37	3449,16	0,2483
1983	965,34	14505,49	106,97	3373,28	0,2326
1984	671,95	10096,90	99,76	3145,94	0,3116
1985	1176,02	17671,15	101,01	3185,31	0,1803
1986	850,02	12772,54	105,47	3326,09	0,2604
1987	685,64	10302,56	90,22	2845,32	0,2762
1988	934,85	14047,27	97,76	3082,89	0,2195
1989	983,75	14782,08	97,04	3060,35	0,2070
1990	533,26	8012,88	103,68	3269,56	0,4080
1991	619,53	9309,19	94,89	2992,61	0,3215
1992	1035,10	15553,62	102,94	3246,42	0,2087
1993	743,59	11173,36	91,89	2897,88	0,2594
1994	859,51	12915,27	102,90	3245,19	0,2513
1995	1022,69	15367,15	95,04	2997,19	0,1950
1996	715,91	10757,44	94,94	2993,94	0,2783
1997	1192,14	17913,32	101,74	3208,56	0,1791
1998	888,17	13345,87	89,98	2837,72	0,2126
1999	1256,74	18884,07	94,84	2990,85	0,1584
2000	1382,95	20780,56	102,99	3247,80	0,1563
2001	1210,90	18195,34	90,78	2862,96	0,1573
2002	1232,33	18517,34	84,50	2664,89	0,1439
2003	1045,97	15717,07	87,84	2770,02	0,1762
2004	1251,35	18803,12	99,36	3133,50	0,1666
2005	1252,82	18825,20	98,66	3111,29	0,1653
2006	672,94	10111,83	92,61	2920,64	0,2888
2007	394,21	5923,56	78,16	2464,72	0,4161
2008	1082,40	16264,37	81,82	2580,17	0,1586
2009	785,25	11799,37	92,06	2903,19	0,2460
2010	1101,58	16552,55	85,44	2694,44	0,1628
2011	1499,81	22536,51	90,50	2853,90	0,1266
2012	1085,32	16308,22	88,18	2780,76	0,1705
2013	1271,14	19100,45	78,77	2483,99	0,1300
2014	1082,51	16266,11	81,76	2578,26	0,1585
2015	837,27	12581,04	78,32	2469,76	0,1963
2016	1016,37	15272,26	77,01	2428,63	0,1590
2017	1002,35	15061,62	74,95	2363,61	0,1569
2018	1087,75	16344,80	83,65	2638,04	0,1614

Fonte: Autor (2022).

Vale destacar que os valores de C para esta sub-bacia variaram de 0,127 a 0,416, tendo uma média de 0,2147, ou seja, aproximadamente 21,5% do volume precipitado na sub-bacia é escoado superficialmente.

Após isso, os resultados encontrados no cálculo do coeficiente de escoamento (C) foram organizados ao longo do tempo e plotados no Figura 12. Por meio da linha de tendência, já é perceptível o decrescimento nos valores de coeficiente de escoamento.

Figura 12 - Gráfico de Coeficiente de Escoamento versus Tempo (Formosa do Rio Preto)



Fonte: Autor (2022).

A fim de comprovar esta tendência de queda, buscou-se, mais uma vez, realizar os testes de estacionariedade e homogeneidade, cujos valores-p obtidos foram registrados na Tabela 11. Tanto o Mann-Kendall quanto Pettitt identificaram que a série não era estacionária, sendo o ponto de mudança no ano de 1996. Além disso, o teste de Mann-Whitney verificou que as duas subamostras (antes e depois de 1996) não eram homogêneas.

Tabela 11 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Coef. de Escoamento, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

Bacia	Mann-Kendall	Pettitt	Mann-Whitney
Sub Bacia - Formosa do Rio Preto	**0,0005643 (↓)**	**0,0005678 (1996)**	**0,00001658**

Fonte: Autor (2022).

Com relação à Bacia do Rio Preto inteira, considerou-se a vazão que passa pelo posto da Fazenda Porto Limpo, assim como foi considerada toda a precipitação que ocorre na região que foi determinada, no item 5.2, por meio do método de Thiessen em todos os postos pluviométricos.

De forma similar ao caso anterior, calculou-se o volume precipitado multiplicando os valores de precipitação pela área total da bacia do Rio Preto. Para o volume escoado,

multiplicou-se a vazão média anual pelo tempo de um ano em segundos. O valor da área da Bacia do Rio Preto e o tempo em segundos estão registrados na Tabela 12. Os resultados do coeficiente de escoamento para cada ano estão registrados na Tabela 13.

Tabela 12 - Área da bacia do Rio Preto e o Tempo em segundos.

Área (km²)	22748,34
Tempo (s)	31536000

Fonte: Autor (2022)

Tabela 13 - Determinação do Volume Precipitado, Volume Escoado e Coeficiente de Escoamento para a Bacia do Rio Preto (Fazenda Porto Limpo).

Continua.

Ano	Precipitação total (mm)	Volume Precipitado (hm³)	Vazão média (m³/s)	Volume Escoado (hm³)	Coeficiente de Escoamento
1978	1259,61	28654,06	132,78	4187,27	0,1461
1979	1304,96	29685,77	137,93	4349,63	0,1465
1980	1223,61	27835,12	139,32	4393,53	0,1578
1981	955,78	21742,44	115,88	3654,46	0,1681
1982	864,83	19673,39	109,78	3461,90	0,1760
1983	968,30	22027,17	108,62	3425,57	0,1555
1984	652,67	14847,13	101,37	3196,82	0,2153
1985	1249,96	28434,41	101,11	3188,48	0,1121
1986	990,74	22537,63	110,61	3488,16	0,1548
1987	731,74	16645,88	91,38	2881,80	0,1731
1988	922,59	20987,33	102,92	3245,76	0,1547
1989	1040,57	23671,20	102,80	3241,96	0,1370
1990	510,66	11616,72	113,84	3590,05	0,3090
1991	685,77	15600,03	92,94	2931,11	0,1879
1992	1078,25	24528,30	102,11	3220,09	0,1313
1993	688,65	15665,64	95,07	2998,27	0,1914
1994	869,74	19785,04	106,70	3364,84	0,1701
1995	1022,85	23268,10	99,75	3145,82	0,1352
1996	728,53	16572,83	106,34	3353,51	0,2023
1997	1187,13	27005,30	117,68	3711,00	0,1374
1998	906,72	20626,28	100,35	3164,67	0,1534
1999	1181,32	26873,07	94,09	2967,26	0,1104
2000	1312,13	29848,79	110,86	3496,09	0,1171
2001	1077,99	24522,56	92,57	2919,42	0,1191
2002	1081,31	24597,99	91,59	2888,44	0,1174
2003	933,65	21238,99	91,46	2884,38	0,1358
2004	1202,19	27347,83	102,76	3240,64	0,1185
2005	1137,65	25879,57	103,27	3256,81	0,1258
2006	774,30	17614,05	100,44	3167,49	0,1798
2007	489,88	11144,03	84,23	2656,33	0,2384
2008	1052,73	23947,96	89,52	2823,19	0,1179

Tabela 13 - Determinação do Volume Precipitado, Volume Escoado e Coeficiente de Escoamento para a Bacia do Rio Preto (Fazenda Porto Limpo).

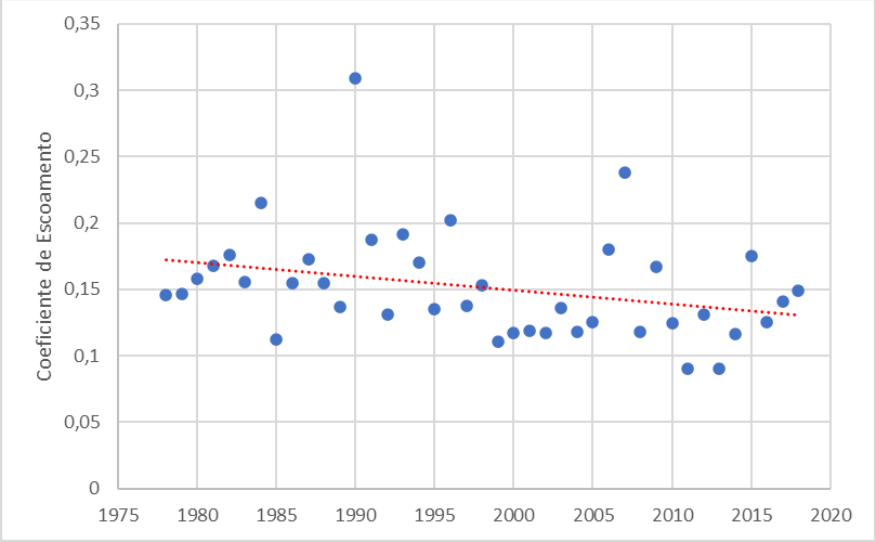
Ano	Precipitação total (mm)	Volume Precipitado (hm³)	Vazão média (m³/s)	Volume Escoado (hm³)	Coeficiente de Escoamento
2010	966,54	21987,27	87,18	2749,16	0,1250
2011	1360,22	30942,77	88,53	2791,92	0,0902
2012	901,08	20498,19	85,01	2680,92	0,1308
2013	1175,28	26735,65	76,60	2415,52	0,0903
2014	961,12	21863,89	80,91	2551,63	0,1167
2015	780,31	17750,70	98,83	3116,78	0,1756
2016	1086,55	24717,23	98,62	3110,08	0,1258
2017	913,38	20777,82	93,02	2933,33	0,1412
2018	1008,79	22948,34	108,79	3430,88	0,1495

Fonte: Autor (2022).

Neste caso, os valores de C para a bacia do Rio Preto variaram de 0,09 a 0,309, tendo uma média de 0,151, ou seja, aproximadamente 15% do volume precipitado em toda a bacia é escoado superficialmente.

Em seguida, elaborou-se o Figura 13 com os resultados encontrados no cálculo do coeficiente de escoamento ao longo do tempo para a Bacia do Rio Preto. De igual forma, foi traçado uma linha de tendência que mostra o decrescimento nos valores de coeficiente de escoamento ao longo dos anos. Para averiguar esta tendência de queda, buscou-se, novamente, realizar os testes de estacionariedade e homogeneidade, cujos valores P obtidos foram registrados abaixo na Tabela 14. O ponto de mudança detectado no teste de Pettitt foi o ano de 1998.

Figura 13 - Gráfico de Coeficiente de Escoamento versus Tempo (Bacia do Rio Preto)



Fonte: Autor (2022).

Tabela 14 - Valor-p obtido nos testes estatísticos (α=5%) de Coef. de Escoamento para a Bacia do Rio Preto, com indicação, para as séries não estacionárias, da tendência de crescimento (↑) ou de decrescimento (↓) e do ano de mudança de tendência.

Estações	Mann-Kendall	Pettitt	Mann-Whitney
Bacia do Rio Preto	**0,02692 (↓)**	**0,0127 (1998)**	**0,001092**

Fonte: Autor (2022).

Vale ressaltar que os valores obtidos de C para a Bacia do Rio Preto, com uma média de 0,151, e para a sub bacia de Formosa do Rio Preto, com uma média de 0,248, se mostraram resultados esperados de acordo com a tabela de coeficiente de escoamento para diferentes tipos de cobertura em uma bacia (Tabela 15). Além disso, os testes estatísticos do coeficiente de escoamento constataram que há um decréscimo das vazões médias, visto que as chuvas se mantêm estacionárias.

Tabela 15 - Valores do coeficiente de escoamento do método racional (C) para diferentes tipos de cobertura da bacia.

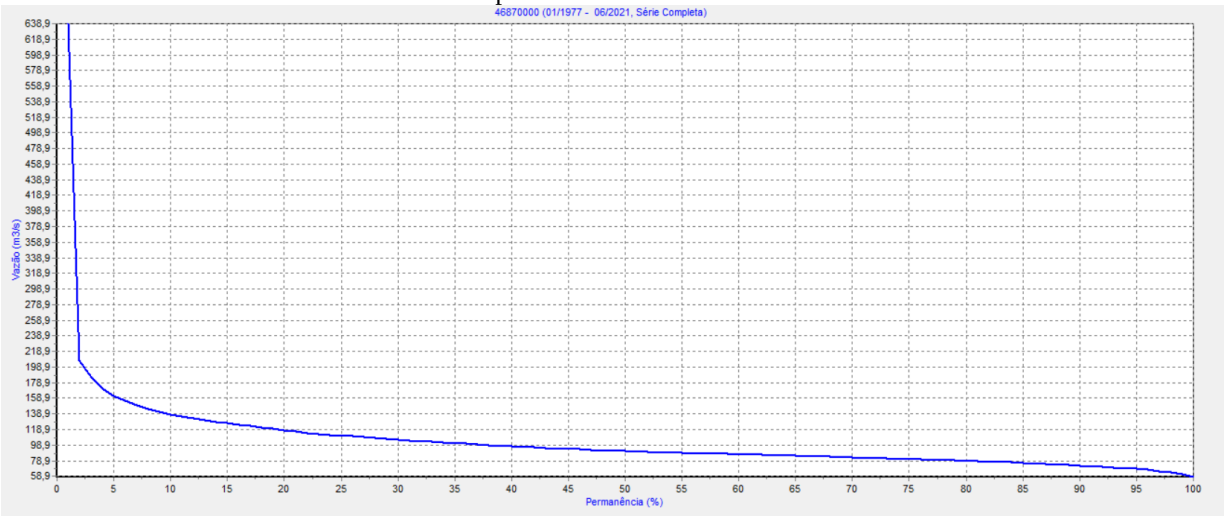
Superfície	Intervalo	Valor esperado
Asfalto	0,70 a 0,95	0,83
Concreto	0,80 a 0,95	0,88
Calçadas	0,75 a 0,85	0,80
Telhado	0,75 a 0,95	0,85
Grama em solo arenoso plano	0,05 a 0,10	0,08
Grama em solo arenoso inclinado	0,15 a 0,20	0,18
Grama em solo argiloso plano	0,13 a 0,17	0,15
Grama em solo argiloso inclinado	0,25 a 0,35	0,30
Áreas rurais	0,0 a 0,30	-

Fonte: Collischonn (2013).

5.5 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA ($Q_{90\%}$) E DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO TERMO (Q_{MLT})

A vazão de referência $Q_{90\%}$ foi calculada por meio da função “Curva de Permanência” do software Hidro, que relacionou o registro de vazões diárias com a porcentagem do tempo em que elas são superadas ou igualadas ao longo do período histórico. Para essa análise, considerou-se apenas as vazões do posto Fazenda Porto Limpo, pelo fato delas representarem as vazões de saída da Bacia do Rio Preto, referente ao período de 1977 a 2021. Na Tabela 16 está representada a curva de permanência gerada através do software Hidro.

Figura 14 - Gráfico Vazão Diária *versus* Permanência. Referente à Estação Fazenda Porto Limpo, considerando o período de 1977-2021.



Fonte: Hidro (2022).

Além da estimativa da $Q_{90\%}$ para a série completa (1977-2021), determinou-se a vazão de referência para as duas subamostras separadas pelo ano de mudança de tendência identificado no teste de Pettitt referente à vazão média anual, ou seja, antes e depois do ano de 2000. Dessa forma, os resultados desse processo foram registrados na Tabela 16.

Tabela 16 - Vazão de Referência Q90% para as séries de Fazenda Porto Limpo.

Fazenda Porto Limpo	**$Q_{90\%}$ (m^3/s)**
1ª Parte (1977-2000)	80,6
2ª Parte (2000-2021)	67,1
Série Completa	72,3

Fonte: Autor (2022).

Com relação à série completa, o valor da vazão de referência foi de 72,3 m^3/s. É possível notar também a diferença da $Q_{90\%}$ entre as duas subamostras, representando uma perda de aproximadamente de 16,75% de um período em relação ao outro.

Diante do exposto no item 3.4.4, o estado da Bahia utiliza 80% da $Q_{90\%}$ como critério para análise de outorgas para captação superficial. Dessa forma, foi elaborada a Tabela 17, a qual representou a vazão de referência durante os períodos de 1977-2000 até 1977-2021, e os respectivos valores correspondentes a 80% da $Q_{90\%}$ (Figura 15) as quais serão usadas posteriormente nas análises referentes às outorgas.

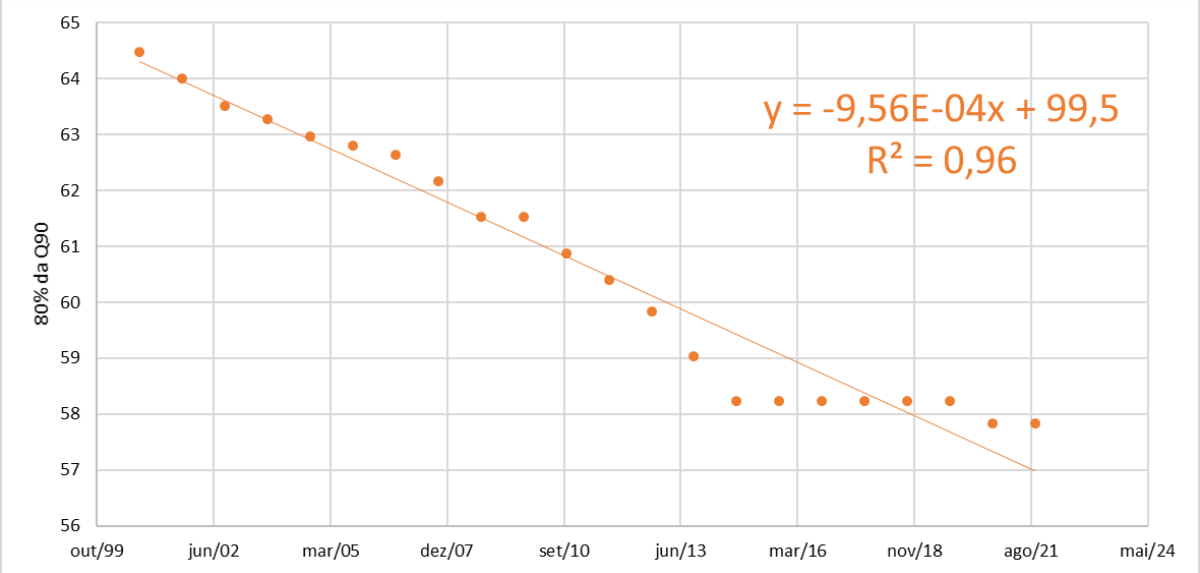
Tabela 17 - Vazão de Referência Q90 para diferentes períodos em Fazenda Porto Limpo, com seus respectivos valores a 80%.

Período	Q90 (m³/s)	80%
01/1977-10/2000	80,6	64,48
01/1977-10/2001	80	64
01/1977-10/2002	79,4	63,52
01/1977-10/2003	79,1	63,28
01/1977-10/2004	78,7	62,96
01/1977-10/2005	78,5	62,8
01/1977-10/2006	78,3	62,64
01/1977-10/2007	77,7	62,16
01/1977-10/2008	76,9	61,52
01/1977-10/2009	76,9	61,52
01/1977-10/2010	76,1	60,88
01/1977-10/2011	75,5	60,4
01/1977-10/2012	74,8	59,84
01/1977-10/2013	73,8	59,04
01/1977-10/2014	72,8	58,24
01/1977-10/2015	72,8	58,24
01/1977-10/2016	72,8	58,24
01/1977-10/2017	72,8	58,24
01/1977-10/2018	72,8	58,24
01/1977-10/2019	72,8	58,24
01/1977-10/2020	72,3	57,84
01/1977-10/2021	72,3	57,84

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 15 encontra-se relacionadas os valores de 80% de $Q_{90\%}$ versus o período de tempo.

Figura 15- Gráfico de 80% da Q90 (m³/s) versus Períodos de 1977-2000 a 1977-2021.



Fonte: Autor (2022).

Por meio da linha de tendência, é perceptível a acentuada queda dos valores de $Q_{90\%}$ no decorrer dos anos, a qual corresponde a uma diminuição de, aproximadamente, 10% entre o ano 2000 a 2021. Além disso, nota-se o mesmo comportamento visto nas vazões médias e mínimas, nas quais observou-se que, a partir do ano de 2015, houve um considerável crescimento nos valores registrados nos dados brutos da série. Contudo, esse evento, ainda que positivo, não foi suficiente para inibir a tendência de queda detectada nessas séries e na análise da $Q_{90\%}$.

Por fim, calculou-se a vazão média de longo termo (Q_{MLT}) por meio do software Hidro, o qual organizou as vazões médias mensais de cada ano para as duas séries e determinou a média dessas vazões. Desse modo, considerando que o posto de Fazenda Porto Limpo representa a vazão de entrega do Rio Preto para o Rio Grande, o valor da Q_{MLT} definido para a Bacia do Rio Preto foi de 102 m³/s, conforme a Tabela 18, a qual também apresenta a vazão média específica dos dois postos (q_{MLT}), calculada como a razão entre a QMLT e a área de contribuição do respectivo posto.

Tabela 18 – Vazões Médias de Longo Termo (QMLT) e Vazões Médias Específicas determinadas para os dois postos fluviométricos.

Estação	Q_{MLT} (m³/s)	q_{MLT} (l/s/km²)
Formosa do Rio Preto	92,3	6,99
Fazenda Porto Limpo	102	4,48

Fonte: Autor (2022).

5.6 VAZÕES OUTORGADAS NA BACIA DO RIO PRETO

Os dados das outorgas de direito de uso de recursos hídricos da região oeste da Bahia foram disponibilizados pelo INEMA, contendo informações sobre as vazões, municípios, coordenadas, o tipo de captação, os períodos de início e fim, entre outros dados. Com isso, foi possível identificar, por meio do QGIS, quais pontos de captação influenciam diretamente na bacia do Rio Preto.

Ao todo foram detectadas 212 outorgas na bacia, sendo 41 de captação superficial e 171 de captação subterrânea, em um intervalo de anos de 2012 a 2022. Juntamente com esses dados, as outorgas emitidas foram classificadas em seis finalidades de uso consuntivo da água: Irrigação, Abastecimento público, Consumo humano, Indústria, Criação animal e outros. A

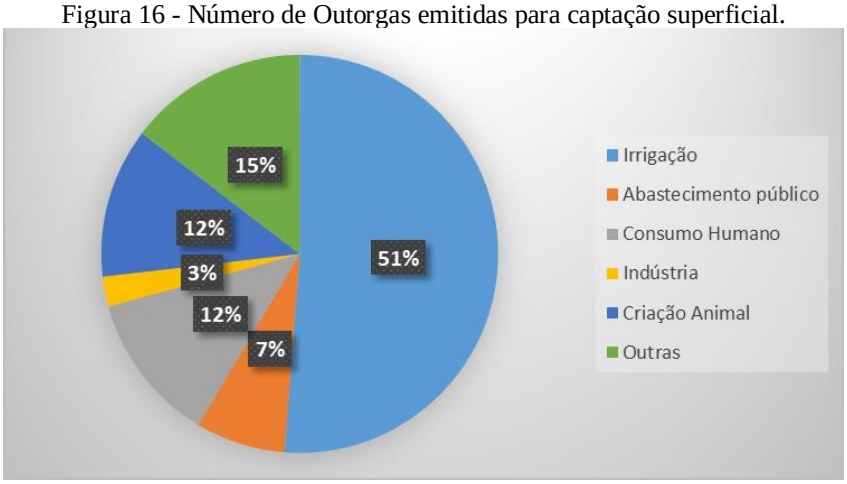
atividade de irrigação na bacia do Rio Preto representa 51% das outorgas emitidas para captação superficial e é responsável por 99,34% das vazões outorgadas. A Tabela 19 e a Figura 16 detalham essa predominância no uso da água e a influência das demais contribuições.

Tabela 19 - Finalidades do uso da água, com suas respectivas quantidades e volumes anuais outorgados para captação superficial.

TIPO	Quantidade	Volume anual (hm^3)	Volume anual (%)
Irrigação	21	493,636	99,3419
Abastecimento público	3	1,678	0,3376
Consumo Humano	5	1,115	0,2245
Indústria	1	6,362E-04	0,0001
Criação Animal	5	0,171	0,0344
Outras	6	0,305	0,0615
TOTAL	41	496,906	100

Fonte: Autor (2022).

Figura 16 - Número de Outorgas emitidas para captação superficial.



Fonte: Autor (2022).

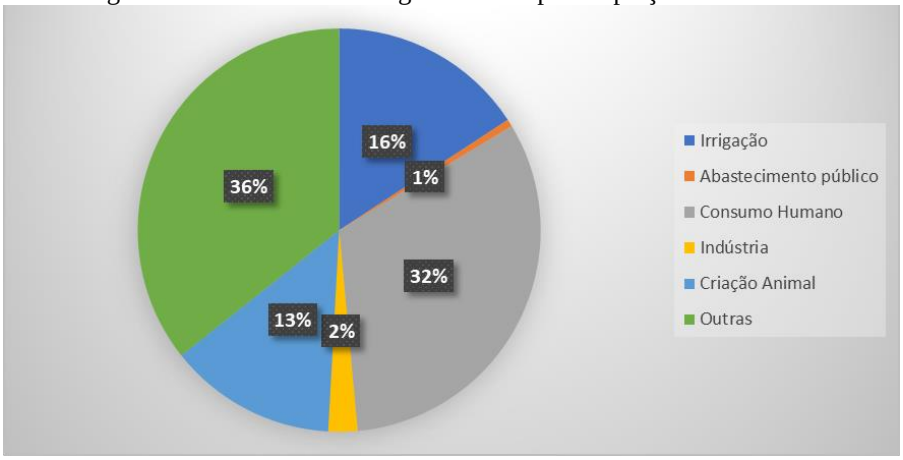
Já no caso de captação subterrânea, a irrigação representa 16% das outorgas emitidas e é responsável por 97,67% das vazões outorgadas, enquanto o consumo humano e "outros" representaram juntos 68% das outorgas e somente 1,89% das vazões captadas. As demais contribuições estão detalhadas na Tabela 20 e na Figura 17.

Tabela 20 - Finalidades do uso da água, com suas respectivas quantidades e volumes anuais outorgados para captação subterrânea.

TIPO	Quantidade	Volume anual (m^3)	Volume anual (%)
Irrigação	27	62,524	97,6660
Abastecimento público	1	0,011	0,0171
Consumo Humano	55	0,517	0,8082
Indústria	4	0,030	0,0476
Criação Animal	23	0,240	0,3748
Outras	61	0,696	1,0866
TOTAL	171	64,018	100

Fonte: Autor (2022).

Figura 17 - Número de Outorgas emitidas para captação subterrânea.

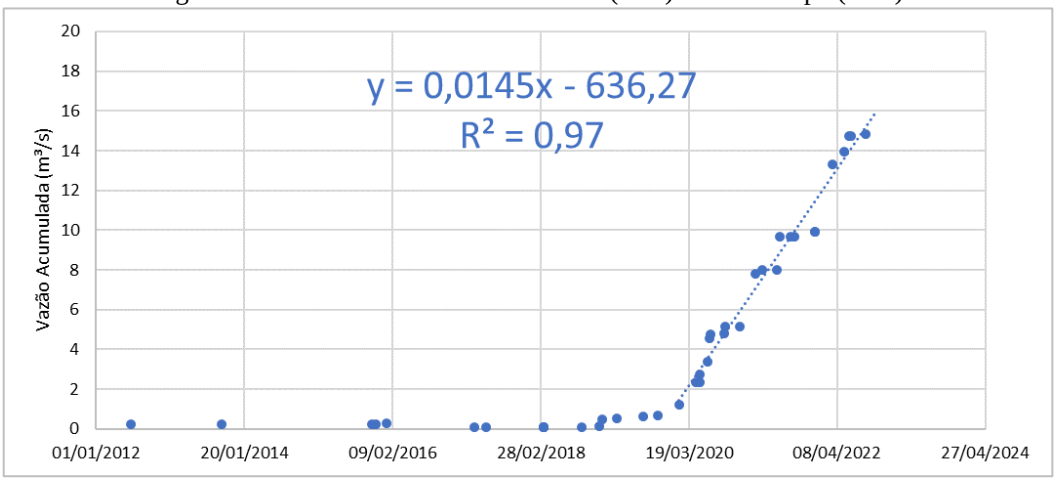


Fonte: Autor (2022).

Tendo em vista que a análise da disponibilidade hídrica para captação subterrânea é feita unicamente através de testes de bombeamento e pela demanda do usuário, optou-se por estudar apenas o comportamento das vazões referentes à captação superficial, cujos limites estabelecidos pela Instrução Normativa SRH nº 01 de 2007 correspondem a 80% da vazão de referência do manancial, ou seja, a vazão ambiental não pode ser menos de 20% da $Q_{90\%}$.

Dessa forma, os dados de outorgas de captação superficial foram organizados em ordem cronológica e acumulativa ao longo dos anos (Apêndice D). Após isso, elaborou-se o gráfico da Figura 18 com os valores da vazão acumulada ao longo do tempo. Vale destacar que, somente a partir de janeiro de 2020, os valores das vazões outorgadas apresentaram uma tendência de crescimento significativa comparado ao período anterior. Por esta razão, adicionou-se uma linha de tendência linear com sua respectiva equação, cujo valor do coeficiente de determinação R^2 apresentou um valor próximo de 1.

Figura 18 - Gráfico de Vazão Acumulada (m³/s) versus Tempo (anos)



Fonte: Autor (2022).

Com base nos resultados obtidos, a vazão outorgada atual no Rio Preto é de 14,85 m³/s. Logo, comparou-se esse valor com a vazão de referência ($Q_{90\%}$), vazão média de longo termo (Q_{MLT}) e com as vazões mínimas de 7, 15 e 30 dias consecutivos, por meio da Tabela 21. É possível notar que este valor determinado já representa 25,67% da vazão outorgável na bacia, tendo em vista os critérios do estado da Bahia de 80% da vazão de referência do rio.

Tabela 21 - Vazão Outorgada com relação à Q_{MLT}, $Q_{90\%}$, Q_7 Q_{15} e Q_{30}, em porcentagem (%).

Bacia do Rio Preto	**(m³/s)**	**Q_{out} (%)**
Q_{MLT}	102	14,56
80% da $Q_{90\%}$	57,84	25,67
Q_7	75,5	19,67
Q_{15}	76,8	19,34
Q_{30}	78	19,04

Fonte: Autor (2022).

Levando em consideração o aumento expressivo das vazões outorgadas ao longo do tempo, é possível inferir que nos próximos anos a vazão acumulada no Rio Preto apresentará valores próximos do limite da vazão de referência. Esta, por sua vez, apresenta tendência de queda nos últimos anos, conforme o gráfico da Figura 15. Desse modo, buscou-se detectar o ponto de interseção entre as vazões outorgadas e as vazões de referência (80% da $Q_{90\%}$) através da igualdade entre a equação referente à $Q_{90\%}$ (5.1) e a equação referente à vazão outorgada (5.2).

$$Q = -9{,}55885 * 10^{-4}x + 99{,}4858 \quad (5.1)$$

$$Q = 0{,}0145399x - 636{,}267 \quad (5.2)$$

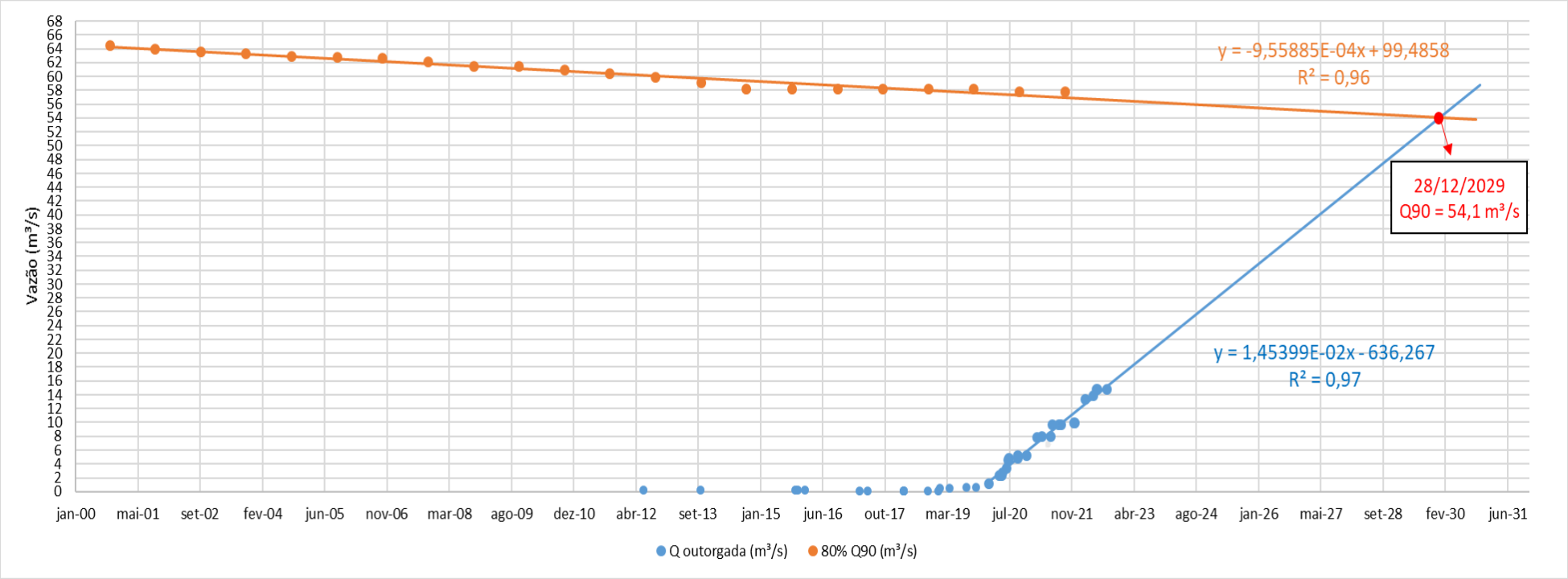
Igualando (5.1) e (5.2), tem-se:

$$-9{,}55885 * 10^{-4}x + 99{,}4858 = 0{,}0145399x - 636{,}267 \quad (5.3)$$

A partir dessa igualdade, foi possível identificar que, em dezembro de 2029, a vazão outorgada acumulada irá alcançar o valor limite de 80% da vazão de referência $Q_{90\%}$, cujo valor será de 54,1 m³/s. O gráfico da Figura 19 expressa essa relação a partir do prolongamento das linhas de tendência.

Figura 19 - Gráfico de Vazão (m³/s) versus Tempo (anos), com respectivas equações e linhas de influência

.



Fonte: Autor (2022).

6 CONCLUSÃO

As análises estatísticas de estacionariedade, referente às séries de precipitação anual e do trimestre úmido, apontaram que grande parte destas séries são estacionárias, com exceção do posto de Fazenda Bom Jardim, o qual apresentou tendência de crescimento. De forma similar, os testes aplicados às séries do trimestre seco também apresentaram estacionariedade, com exceção do posto de Formosa do Rio Preto que apresentou tendência de decrescimento.

Com relação às séries de vazão máxima diária, somente a série do posto de Fazenda Porto Limpo identificou tendência por meio do teste de Mann-Kendall. Em contrapartida, a análise da vazão média anual e vazão mínima anual apresentaram tendência significativa de decrescimento para ambos os postos. Além disso, a diminuição das vazões médias anuais vem fazendo com que o coeficiente de escoamento médio nas duas regiões venha decrescendo, uma vez que a precipitação anual nessas regiões se mantém estacionária.

Por meio da curva de permanência, determinou-se a vazão de referência $Q_{90\%}$, a qual teve um valor de 72,3 m³/s, considerando o período de 1977 a 2021. Nesse contexto, foi possível observar o comportamento da $Q_{90\%}$ durante este período, cujos resultados mostraram uma perda de aproximadamente 10% da vazão de referência nos últimos 20 anos. Apesar disso, foi possível verificar que as vazões apresentaram uma pequena resistência na queda nos últimos 7 anos. Este fenômeno pode ser explicado em um possível caso de construção de uma barragem na região de Formosa do Rio Preto, o qual garantiria vazões mínimas maiores nos períodos secos.

Por fim, fez-se o estudo das outorgas emitidas pelo estado da Bahia, as quais revelaram que a atividade de irrigação é responsável por 99,34% das vazões captadas superficialmente e por 97,67% das vazões captadas de forma subterrânea. Sendo assim, é possível inferir que este possa ser um dos fatores relevantes para explicar a diminuição da vazão no Rio Preto, tendo em vista que a captação de água para uso na irrigação ocorre em todos os períodos do ano.

Desse modo, a avaliação da disponibilidade hídrica na Bacia, por meio das vazões outorgadas acumuladas ao longo do tempo, mostrou que as vazões captadas no rio apresentaram um aumento significativo nos últimos 10 anos. Um fato alarmante, visto que ao prolongar a linha de tendência e compará-la com a linha de tendência do limite estabelecido da vazão de referência do manancial, tem-se que, em dezembro de 2029, a vazão outorgada alcançará 80% da $Q_{90\%}$, cujo valor será de 54,1 m³/s. Portanto, deve-se pesquisar e analisar soluções viáveis que possam garantir aos demais usuários o acesso consciente dos recursos hídricos, assegurando o controle quantitativo e qualitativo dos demais usos da água, especialmente do uso na irrigação.

REFERÊNCIAS

ARNÉZ, F. A. Análise de critérios de outorga do uso da água na bacia do rio Santa Maria, 2002.

ASSAD *et al*. Sistema de previsão da safra de soja para o Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, 2007.

BAHIA. Lei n. 12.212, de 4 de maio de 2011. Modifica a estrutura organizacional e de cargos em comissão da Administração Pública do Poder Executivo Estadual, e dá outras providências. Publicado no DOE de 05/05/2011.

BELCHIOR, E. B.; ALCÂNTARA, P. H. R.; BARBOSA, C. F. Perspectivas e desafios para a região do Matopiba. Embrapa Pesca e Aquicultura-Outras publicações técnicas, 2017.

BENETTI, A. D.; Lanna, E.; Cobalchini, M. S. (2003). Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8(2), 149-160.

BERNARDO, S. Desenvolvimento da irrigação no Brasil. Rev. Brasileira de Engenharia - Caderno de Recurso Hídricos, 7(2):31-38. 1989.

BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. I n: FARIAS, M.A. et al. (eds). Manejo de irrigação. Poços de Caldas: UFLA, SBEA, 1998.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). Agricultura irrigada e o uso racional da água. Brasília: ANA, 2004.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. 18. ed., atualizada e ampliada. São Paulo: Saraiva, 1998.

BRASIL. Lei n.º 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Rio de Janeiro. R.J. 1934.

BRASIL. Lei n.º 12.212, de 04 de maio de 2011. Modifica a estrutura organizacional e de cargos em comissão da Administração Pública do Poder Executivo Estadual, e dá outras providências. Bahia. 2011.

BRASIL. Lei nº 9433/97 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, D.F. 1997.

CABRAL, B. Legislação Federal de Recursos Hídricos. Senado Federal, Brasília, 1997. Cadernos Legislativos n° 002/97.

CAMARGO, et al. Estudo de tendências climáticas da temperatura do ar no estado de Santa Catarina. Florianópolis, SC: Eng. Agr., Centro de Ciências Agrárias, Estudante, UFSC, 2009.

CARDOSO DA SILVA, L. M., MONTEIRO, R. A. e UNGARETTI, P. R. R. 2001. Sistemas de Apoio ao Gerenciamento de Usuários da Água – SISAGUA. In: Instrumentos de Gestão.

Secretaria de Recursos Hídricos/MMA. Brasília, DF. Disponível para download no Site: http://www.mma.gov.br/recursoshídricos.

CESTTI, R.; KEMPER, K. Initial allocation of water rights in the United States, Australia, and Chile. Infrastructure Notes, 1995.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos Hídricos e Irrigação no Brasil. Brasília: CDS – UnB, 1999.

COLLISCHONN, W. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

CONERH (Bahia) - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS –. Resolução Nº 96 de 12 de março de 2014 - Estabelece diretrizes e critérios gerais para a outorga do direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, e dá outras providências. Salvador, 12 de março de 2014, Diário Oficial do Estado da Bahia, Ano XCVIII - Nº 21.375.

CRUZ, G. de S.; MINUZZI, R. B. Influência do fenômeno La Niña na precipitação pluvial na Região Oeste de Santa Catarina. Agropecuária Catarinense, v. 22, n. 2, 2009.

CRUZ, J. C. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação dos aspectos técnicos e conceituais. Porto Alegre: UFRGS. 2001. Tese Doutorado.

DE PAULO, R. G. F.; DA SILVA, G. O. M. Critérios Legais e Técnicos para Análise dos Pleitos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado da Bahia. 2011. Editora CRC Press, 2013.

EUCLYDES, H. P. *et al*. Atlas digital das águas de Minas. Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005.

FUNDAJ. Publicado em 13 de novembro de 2021. Panorama Setorial – Força do Matopiba. Disponível em: < https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/tecnologias-de-convivencias-com-as-secas/panorama-setorial-forca-do-matopiba> Acesso em 20 de setembro de 2022.

GRANZIERA, M. L. M. Outorgas de direito de uso da água e a política de recursos hídricos do estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 11., 1995, Recife; Simpósio de Hidráulica dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2., 1995, Recife. Anais... Recife: ABRH, 1995.

HARRIS, N. M., *et al*. Classification of river regimes: a context for hydroecology. In: John Wiley & Songs, Hardcover: Hydrological Processes. 2000, v.14.

HEERMANN, D.F.; KOHL, R.A. Fluid dynamics of sprinkler systems. In: JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório Técnico de Monitoramento do Desmatamento no Bioma Cerrado, 2002 a 2008: Dados Revisados. Brasília, 2009.

IBGE. Censos Demográficos, Séries Históricas. Rio de Janeiro, 2022.

INGA (Instituto de Gestão das Águas. Instrução Normativa) Nº 11/2009. Estabelece procedimentos administrativos e critérios técnicos a serem observados na análise do pedido de outorga para intervenções em corpos de água, com finalidade de drenagem urbana, no Estado da Bahia.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil: Prefácio 1991-2020. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf.> Acesso em: 19 set. 2022.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability 2022. Geneva: IPCC, 2022.

JACINTO, L.U. A pecuária do futuro com a ajuda da irrigação. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n. 51, 2001.

KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos: Parte I – outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. Anais... Rio de Janeiro: ABRH, 1997.

KLINK, C. A. Policy Intervention in the Cerrado Savannas of Brazil: Changes in Land Use and Effects on Conservation. In: CONSORTE –MCCREA, A. G.; SANTOS, E. F. (Orgs.) Ecology and Conservation of the Maned Wolf: Multidisciplinary Perspectives. 2013.

KOCH, E. A watershed for apartheid. New Scientist, 13 de abril de 1996.

MANTOVANI, E.C. *et al*. Relatório técnico final: estudo do potencial hídrico da região oeste da Bahia. Viçosa, MG, 2019.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. São Paulo, 2001.

MINGOTI, R. *et al*. Matopiba: caracterização das áreas com grande produção de culturas anuais. EMBRAPA, 2014.

MOREIRA, M. C. Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água. Viçosa, MG, 2006.

MORETTIN, P. A. e TOLOI, C. M. de C. Análise de séries temporais. São Paulo: Edgard Blucher. Acesso em: 15 ago. 2022., 2004.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM. 2007.

OHNUMA Jr, A. A. Cenários de Reuso de Água Pluvial e Controle de Drenagem visando a Recuperação Ambiental da Micro-Bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos/SP. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

OKE, T. R. Boundary Layer Climates. 2ª edição. Londres: Routledge, 1987.

PARIZOTTO, I.; COELHO, E. F. Uso da irrigação: pesquisa participativa e construção de conhecimento no Assentamento Nova Esperança, na Bahia. EMBRAPA, 2018.

PIRES, C.L.F. (1996). A outorga de uso na gestão de recursos hídricos. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gestão dos Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas e Gestão dos Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas, 1996, Salvador. Anais... Salvador, BA, 4 a 6 de dezembro de 1996.

PIVETTA, K.F. L., *et al*. Análise quali-quantitativa da arborização na praça XV de novembro em Ribeirão Preto - SP, Brasil. Revista Árvore 2012.

PORTO, M. F.do A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em areas urbanas. Drenagem Urbana. Tradução. Porto Alegre: Abrh/Editora da Universidade/Ufrgs, 1995. Acesso em: 14 set. 2022.

REBOUÇAS, F. R., BARBOSA, M. A. L., GIUDICE, D. S. Análise da criação do Estado do Rio São Francisco sob a caracterização socioeconômica da região oeste do Estado da Bahia. 2007.

RIBEIRO, M. M. R. Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso. Porto Alegre: IPH/URGS, 2000. 200p. Tese Doutorado.

SANTOS, C. A. P. Fragmentação da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Preto (BHRP) – Cerrado Baiano. Journal of Social, Technological and Environmental Science, v.9, n.1, 2020.

SANTOS, R. F.; CARLESSO R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SCHVARTZMAN, A. S. *et al*. Avaliação preliminar do critério de outorga adotado no Estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 1999.

SENTELHAS, P. C. *et al*. The soybean yield gap in Brazil–magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. The journal of agricultural science, v. 153, n. 8, 2015.

SILVA, A. M. et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, 2006.

SRH (Bahia) – SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS - Instrução Normativa Nº 01/2007 - Dispõe sobre a emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção, e dá outras providências. Bahia, 2007.

TUCCI, C. E. M. Apreciação do plano nacional de recursos hídricos e visão prospectiva dos programas e ações. Documento de apoio às ações de planejamento da Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2001.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. Cienc. Cult., v. 55, n. 4, out./dez. 2003.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª ed.; 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos, Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1998.

TUCCI, C. E. Regionalização de vazões (1ª Edição ed.). UFRGS, Porto Alegre, 2002.

TUNDISI, J.G. Água no século 21: enfrentando a escassez. IIE, Rima (no prelo). 2003.

UNESCO. "Compartilhar a Água e Definir o Interesse Comum". In: Água para Todos: Água para a Vida. Edições Unesco, 2003, pp. 25-6 (Informe das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos no mundo).

UNICEF. Unicef Brasil. 18 de jun. de 2019. 1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável. Disponível em <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>. Acesso em 10/09/2022.

VALE, R. M. C.; REIS, S. L. S. A bacia hidrográfica do Rio Preto: repercussões ambientais de um modelo agroeconômico industrial. In: SANTOS, C. C. M.; VALE, R. M. C. (Orgs). Oeste da Bahia: Trilhando velhos e novos caminhos do Além São Francisco. Feira de Santana, 2012.

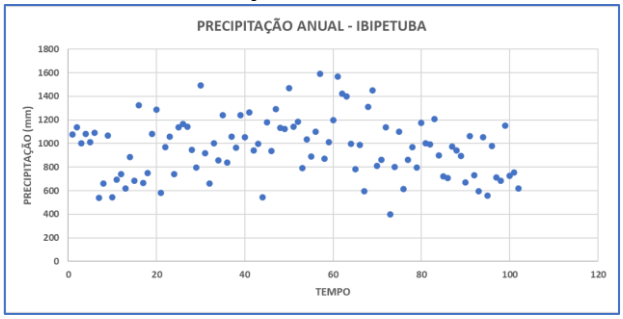
VON SPERLING, M. Estudos e modelagem daqualidade da água de rios. 7. Ed. Belo Horizonte, MG: Ed. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588p.

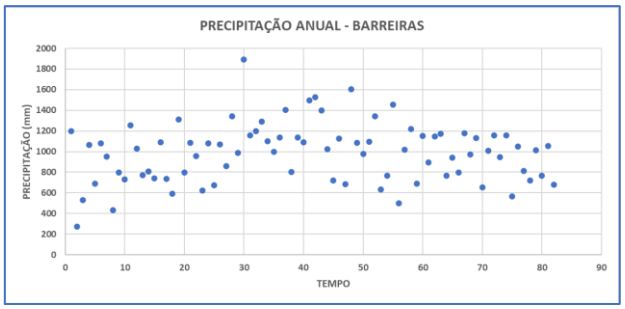
WURBS, R.A.; WALLS, W.B. Modeling and analysis of water rights. Journal of Water Resources Planning and Management. Texas, 1989.

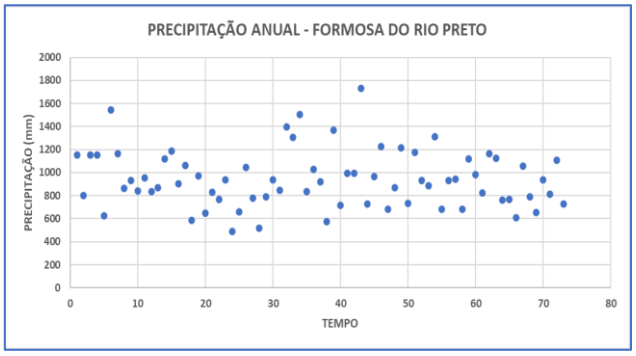
APÊNDICES

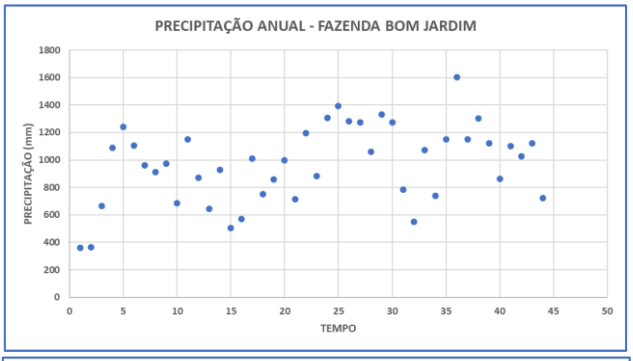
APÊNDICE A – GRÁFICOS CHUVA X TEMPO

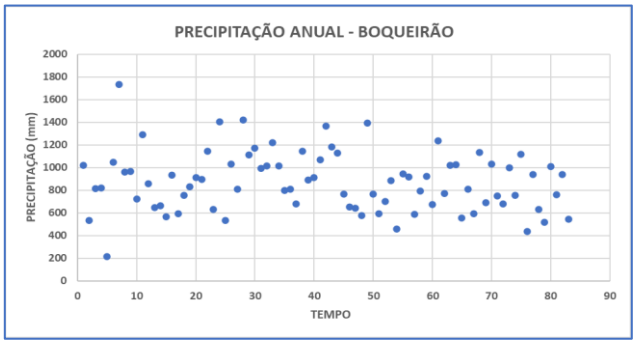
PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL



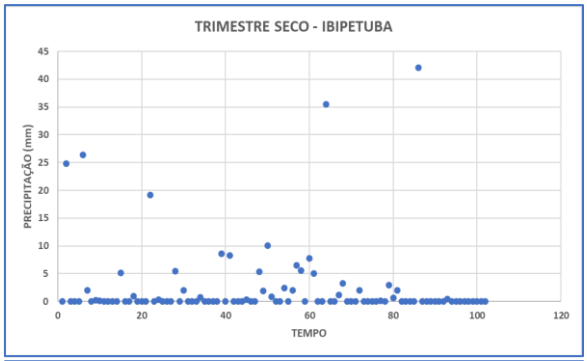


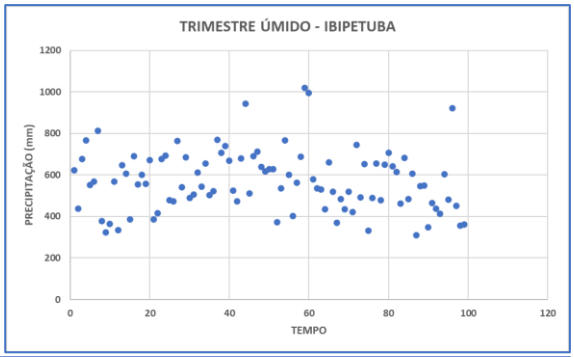


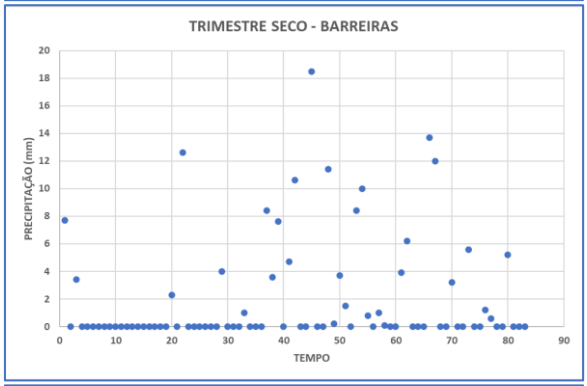


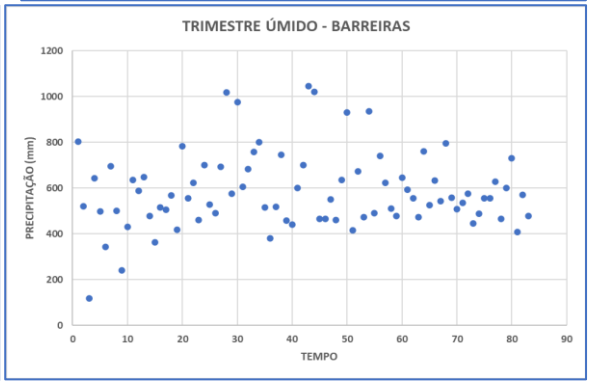


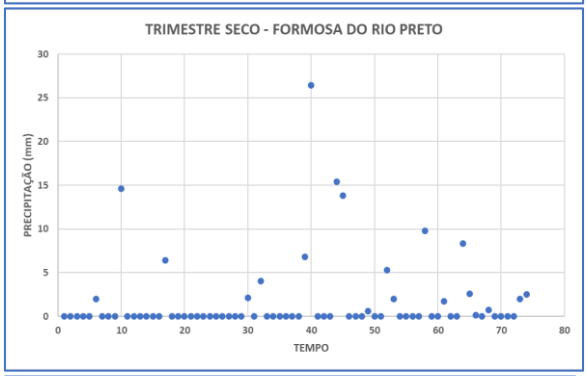
TRIMESTRE SECO E TRIMESTRE ÚMIDO

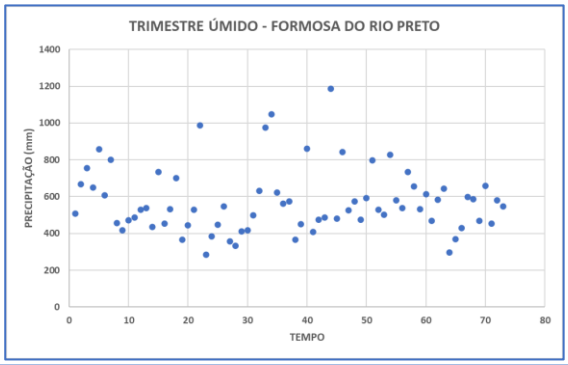


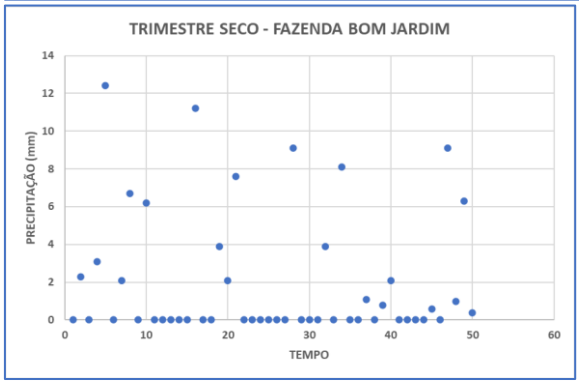


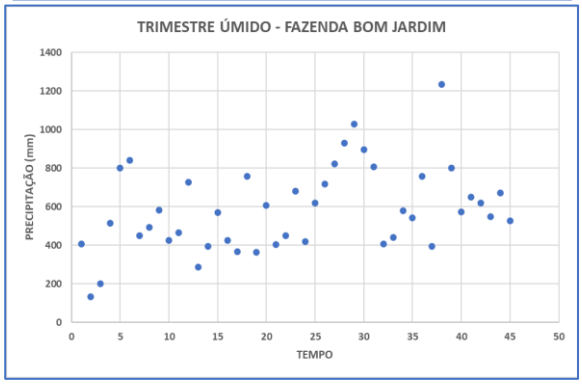


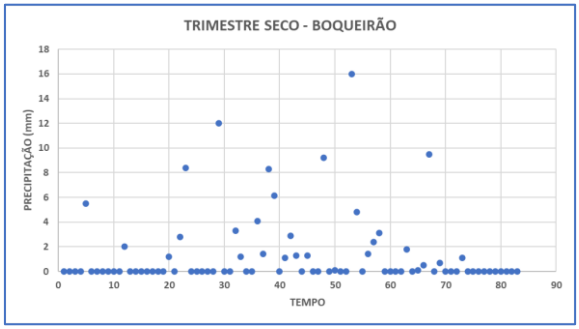


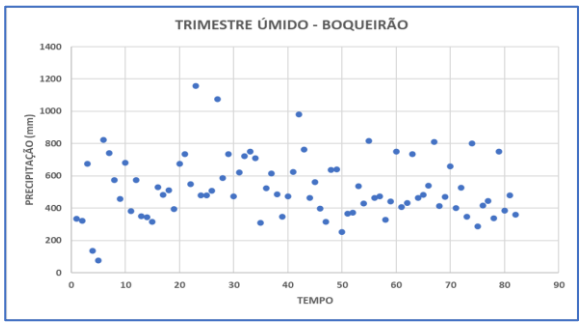












APÊNDICE B – SÉRIES DE VAZÃO: FAZENDA PORTO LIMPO (46870000)

VAZÃO MÁXIMA DIÁRIA

Ano	Q (m³/s)
1978	395,428
1979	427,095
1980	638,878
1981	236,459
1982	231,625
1983	228,043
1984	159,733
1985	186,86
1986	312,816
1987	143,213
1988	160,516
1989	211,816
1990	320,206
1991	164,738
1992	271,364
1993	161,223
1994	234,08
1995	139,624
1996	187,658
1997	339,96
1998	164,738
1999	188,732
2000	238,388
2001	254,116
2002	171,782
2003	146,486
2004	209,048
2005	195,338
2006	218,921
2007	140,471
2008	178,072
2009	165,579
2010	175,546
2011	169,447
2012	162,678
2013	157,67
2014	199,351
2015	164,848
2016	467,231
2017	169,514
2018	204,103
2019	142,986
2020	177,867
2021	163,471

VAZÃO MÉDIA ANUAL

Ano	Q (m³/s)
1978	132,7774
1979	137,9259
1980	139,3179
1981	115,8821
1982	109,7761
1983	108,624
1984	101,3704
1985	101,106
1986	110,6088
1987	91,38115
1988	102,9223
1989	102,8018
1990	113,8396
1991	92,94481
1992	102,1084
1993	95,07438
1994	106,6985
1995	99,75322
1996	106,339
1997	117,6752
1998	100,3511
1999	94,09124
2000	110,8603
2001	92,57412
2002	91,59172
2003	91,46301
2004	102,7601
2005	103,2727
2006	100,4404
2007	84,23171
2008	89,52266
2009	98,18179
2010	87,17543
2011	88,53117
2012	85,01144
2013	76,59561
2014	80,91156
2015	98,83233
2016	98,62
2017	93,01521
2018	108,7925

VAZÃO MÍNIMA Q7

Ano	Qt (m3/s)
1977	74,8
1978	84,7
1979	82,6
1980	84
1981	82,3
1982	86
1983	82
1984	81,6
1985	77,4
1986	76,4
1987	72
1988	75,5
1989	80,4
1990	78,7
1991	79,4
1992	78,8
1993	78,8
1994	75,1
1995	76,7
1996	79,4
1997	85,4
1998	78,1
1999	69,2
2000	68,9
2001	66,1
2002	70,4
2003	70,4
2004	70,4
2005	71,5
2006	70,9
2007	67,3
2008	65
2009	69,5
2010	62,1
2011	60,4
2012	62,2
2013	58
2014	58,1
2015	74,3
2016	67,3
2017	67,5
2018	75
2019	64,2
2020	62,1
2021	75,5

VAZÃO MÍNIMA Q15

Ano	Qt (m3/s)
1977	75
1978	85
1979	83,3
1980	84,8
1981	82,3
1982	86,3
1983	82,2
1984	82,2
1985	77,8
1986	76,9
1987	72,8
1988	76
1989	81,2
1990	79,3
1991	79,5
1992	79,3
1993	79,1
1994	76
1995	77,1
1996	79,8
1997	86,1
1998	78,5
1999	70,1
2000	70,1
2001	67,2
2002	70,8
2003	70,7
2004	70,8
2005	72
2006	71,4
2007	67,7
2008	65,3
2009	70,1
2010	62,4
2011	60,7
2012	62,8
2013	58,5
2014	58,9
2015	75,1
2016	68,5
2017	67,8
2018	75,4
2019	64,6
2020	62,9
2021	76,8

VAZÃO MÍNIMA Q30

Ano	Qt (m3/s)
1977	76,4
1978	85,6
1979	85,5
1980	85,3
1981	82,9
1982	86,6
1983	82,7
1984	85,1
1985	78,3
1986	78
1987	73,7
1988	76,7
1989	82,3
1990	80,6
1991	80,8
1992	79,5
1993	79,7
1994	77,1
1995	77,7
1996	80,3
1997	87,2
1998	79
1999	70,6
2000	71,2
2001	68,2
2002	72,7
2003	72
2004	71,8
2005	73,7
2006	72,2
2007	68,2
2008	65,8
2009	70,8
2010	63
2011	61,3
2012	63,1
2013	59
2014	59,7
2015	76,1
2016	69,4
2017	69
2018	76,5
2019	65,4
2020	63,7
2021	78

APÊNDICE C – SÉRIES DE VAZÃO: FORMOSA DO RIO PRETO (46790000)

VAZÃO MÁXIMA DIÁRIA

Ano	Q (m³/s)
1942	141,27
1943	167,635
1944	172,738
1945	248,058
1946	165,46
1947	230,286
1948	177,876
1949	183,048
1950	172,738
1951	146,656
1952	170,547
1953	153,967
1954	167,635
1955	162,568
1956	147,472
1957	168,497
1958	144,997
1959	188,234
1960	166,568
1961	130,259
1962	132,898
1963	164,166
1964	200,633
1965	153,469
1966	221,715
1967	116,617
1968	186,359
1969	167,792
1970	198,817
1971	195,915
1972	141,969
1973	153,967
1974	198,011
1975	156,822
1976	153,255
1977	220,127
1978	241,932
1979	234,578
1980	314,123
1981	183,304
1982	206,023
1983	216,962
1984	158,468
1985	155,908
1986	228,917
1987	135,787
1988	158,468
1989	207,573
1990	229,723
1991	196,056
1992	238,653
1993	161,251
1994	193,782
1995	133,677
1996	174,498
1997	198,766
1998	143,411
1999	171,277
2000	169,09
2001	211,466
2002	151,664
2003	145,03
2004	194,245
2005	180,088
2006	176,684
2007	133,317
2008	148,288
2009	150,818
2010	172,322
2011	144,929
2012	171,599
2013	160,833
2014	182,227
2015	144,085
2016	270,554
2017	138,857
2018	166,626
2019	158,499
2020	180,67
2021	155,193

VAZÃO MÉDIA ANUAL

Ano	Q (m³/s)
1942	95,47653
1943	103,0475
1944	98,39017
1945	117,0887
1946	104,5138
1947	114,9407
1948	93,54403
1949	101,1852
1950	94,93196
1951	87,23858
1952	85,00708
1953	80,92912
1954	84,92088
1955	78,31283
1956	85,23192
1957	89,64546
1958	78,41078
1959	79,2356
1960	81,20229
1961	70,02874
1962	71,2454
1963	71,70092
1964	81,74837
1965	74,47583
1966	76,7094
1967	74,92407
1968	79,34579
1969	80,85038
1970	97,59207
1971	92,29304
1972	93,98269
1973	97,30407
1974	107,0907
1975	91,23478
1976	95,92643
1977	100,3788
1978	115,343
1979	119,7582
1980	121,8496
1981	116,1479
1982	109,372
1983	106,9661
1984	99,7571
1985	101,0054
1986	105,4695
1987	90,22439
1988	97,75764
1989	97,04293
1990	103,6771
1991	94,89494
1992	102,9433
1993	91,89129
1994	102,9043
1995	95,04021
1996	94,93711
1997	101,7429
1998	89,98362
1999	94,83911
2000	102,9869
2001	90,7838
2002	84,50326
2003	87,83668
2004	99,36248
2005	98,65833
2006	92,61282
2007	78,15585
2008	81,81652
2009	92,05966
2010	85,44012
2011	90,49658
2012	88,17719
2013	78,76674
2014	81,75611
2015	78,31558
2016	77,01146
2017	74,9497
2018	83,65159
2019	80,52425
2020	90,09175

VAZÃO MÍNIMA Q7

Ano	Qt (m3/s)
1942	80,7
1943	82,7
1944	80,7
1945	87,2
1946	84,1
1947	87,8
1948	72,5
1949	72,9
1950	73,5
1951	66,5
1952	66,2
1953	64
1954	63,2
1955	60
1956	61,5
1957	64,5
1958	63,4
1959	60,7
1960	60,2
1961	55,6
1962	55,4
1963	49,8
1964	56,2
1965	57,5
1966	56,2
1967	56,4
1968	57,8
1969	62,1
1970	67,5
1971	67
1972	77,8
1973	79,1
1974	69,1
1975	69,2
1976	72,8
1977	74,1
1978	79,2
1979	82,3
1980	87,2
1981	85,9
1982	86,6
1983	81,2
1984	81,7
1985	78,2
1986	79,9
1987	75,9
1988	74,2
1989	72,8
1990	76,2
1991	73,6
1992	72,5
1993	73,1
1994	74,9
1995	70,5
1996	70,2
1997	76,3
1998	67,5
1999	69,6
2000	68,7
2001	66,9
2002	65
2003	69,4
2004	71,9
2005	71,5
2006	67,5
2007	61,6
2008	63,6
2009	65
2010	64
2011	64,7
2012	63,8
2013	62,3
2014	61,8
2015	60,45
2016	59,9
2017	57,8
2018	62
2019	63,15
2020	63,7
2021	67,7

VAZÃO MÍNIMA Q15

Ano	Qt (m3/s)
1942	80,7
1943	83,1
1944	80,8
1945	87,4
1946	85,3
1947	88,3
1948	73,2
1949	73,1
1950	74,2
1951	68,1
1952	67,3
1953	64
1954	63,2
1955	60,2
1956	61,9
1957	65
1958	64,5
1959	61,5
1960	60,5
1961	55,7
1962	55,7
1963	50,6
1964	56,2
1965	58,7
1966	56,2
1967	57,2
1968	57,9
1969	62,1
1970	67,5
1971	67,5
1972	78,3
1973	79,1
1974	69,7
1975	69,7
1976	73
1977	74,5
1978	79,7
1979	83,2
1980	89,4
1981	86,1
1982	86,9
1983	81,7
1984	82,6
1985	78,6
1986	80,2
1987	76,3
1988	74,7
1989	73,8
1990	76,8
1991	74,2
1992	73,5
1993	73,3
1994	75,4
1995	71,1
1996	70,6
1997	77,5
1998	68
1999	70,1
2000	70
2001	67,2
2002	65,4
2003	69,9
2004	72,5
2005	71,9
2006	68,1
2007	61,9
2008	64,3
2009	66
2010	64,3
2011	64,8
2012	65,4
2013	62,6
2014	62,1
2015	61,65
2016	60,2
2017	57,9
2018	62,4
2019	63,5
2020	64,2
2021	68

VAZÃO MÍNIMA Q30

Ano	Qt (m3/s)
1942	81,1
1943	83,2
1944	81,4
1945	88,1
1946	86
1947	89,7
1948	75,8
1949	73,5
1950	75
1951	69
1952	68,3
1953	65
1954	63,5
1955	60,8
1956	62,1
1957	65,4
1958	64,5
1959	62,3
1960	60,8
1961	56,2
1962	56,1
1963	50,6
1964	56,8
1965	59,5
1966	57,5
1967	57,7
1968	58
1969	62,1
1970	68,1
1971	68,5
1972	79,1
1973	79,4
1974	71,4
1975	70,1
1976	73,9
1977	74,9
1978	80,2
1979	86,4
1980	90
1981	86,8
1982	87,4
1983	82,3
1984	83,2
1985	79,5
1986	80,8
1987	76,5
1988	75,3
1989	75,5
1990	77,2
1991	75,4
1992	74,3
1993	73,5
1994	75,9
1995	72,1
1996	71,2
1997	78,7
1998	68,6
1999	70,7
2000	71,5
2001	67,8
2002	67,5
2003	71,2
2004	73,3
2005	73,4
2006	68,9
2007	62
2008	64,7
2009	66,5
2010	64,8
2011	65,3
2012	65,6
2013	62,9
2014	63,2
2015	61,8
2016	60,6
2017	58,6
2018	63
2019	64
2020	65
2021	68,6

APÊNDICE D – TABELA DE VAZÃO ACUMULADA ANUAL PARA AS OUTORGAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL

Código	Data Inicial	Data Final	Vazão Anual (m^3/s)	Vazão Acumulada (m^3/s)
1209805	08/02/1998	08/02/2028	0,04456	0,04456
383281	26/06/2012	26/06/2016	0,17544	0,22000
359624	27/09/2013	27/09/2017	0,00081	0,22081
742521	27/10/2015	27/10/2999	0,00004	0,22085
1197388	19/11/2015	19/11/2019	0,00688	0,22772
494893	13/01/2016	13/01/2020	0,05538	0,28310
718418	29/03/2017	29/03/2021	0,00208	0,10974
740626	30/05/2017	30/05/2052	0,00002	0,10976
867624	14/03/2018	14/03/2022	0,00069	0,10964
867619	14/03/2018	14/03/2022	0,00069	0,11034
867622	14/03/2018	14/03/2022	0,00069	0,11103
910739	14/03/2018	14/03/2022	0,00069	0,11173
899600	25/09/2018	25/09/2053	0,00046	0,11219
1303526	21/12/2018	24/09/2019	0,00197	0,11416
910744	04/01/2019	04/01/2023	0,39120	0,50536
977075	22/03/2019	22/03/2023	0,03198	0,53734
1007592	30/07/2019	30/07/2023	0,08485	0,62219
1032539	15/10/2019	15/10/2023	0,03498	0,65520
1056228	30/01/2020	30/01/2024	0,55289	1,20121
1088290	24/04/2020	24/04/2024	1,18833	2,33417
347663	14/05/2020	14/05/2024	0,00089	2,33506
1089550	15/05/2020	15/05/2024	0,39456	2,72962
346165	20/06/2020	06/02/2022	0,66213	3,39175
1118028	01/07/2020	01/07/2024	1,18809	4,57984
696944	09/07/2020	09/07/2024	0,18314	4,76298
1123298	16/09/2020	16/09/2024	0,04373	4,80670
1123360	17/09/2020	17/09/2024	0,36061	5,16732
1147904	30/11/2020	30/11/2055	0,00020	5,16751
1189610	17/02/2021	17/02/2025	2,65749	7,82500
1206641	27/03/2021	27/03/2025	0,19800	8,02300
1217529	07/06/2021	07/06/2056	0,00046	8,02138
1215361	22/06/2021	22/06/2025	1,63333	9,65471
348011	14/08/2021	14/08/2025	0,00341	9,65812
359306	03/09/2021	03/09/2025	0,00667	9,66479
1252322	16/12/2021	16/12/2025	0,25310	9,91789
1259790	17/12/2021	17/12/2056	0,00004	9,91793
1295897	15/03/2022	15/03/2026	4,05682	13,30983
1305060	14/05/2022	14/05/2026	0,61578	13,92561
1307684	10/06/2022	10/06/2026	0,81838	14,74399
1312398	20/06/2022	20/06/2057	0,00046	14,74445
1318285	01/09/2022	01/09/2024	0,10489	14,84934