

A AGRICULTURA IRRIGADA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO: AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL E O AVANÇO DA IRRIGAÇÃO

Irrigated Agriculture in the São Francisco River: spatial autocorrelation and advancement of irrigation

La agricultura irrigada en la cuenca del río São Francisco: Autocorrelación espacial y el avance de la irrigación

DOI: 10.48075/igepec.v29i1.34073

Alice Spielmann Gaúna
Universidade Federal de Rondonópolis – UFR

Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

A AGRICULTURA IRRIGADA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO: AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL E O AVANÇO DA IRRIGAÇÃO

Irrigated Agriculture in the São Francisco River: spatial autocorrelation and advancement of irrigation

La agricultura irrigada en la cuenca del río São Francisco: Autocorrelación espacial y el avance de la irrigación

Alice Spielmann Gaúna¹
Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini²

Resumo: A bacia do Rio São Francisco abrange 8% do território nacional, englobando 507 municípios, a agricultura irrigada se destaca como uma alternativa à agricultura de sequeiro, oferecendo soluções para amenizar os problemas climáticos e ampliar a segurança alimentar. A partir da identificação de padrões de autocorrelação espacial na agricultura irrigada, diretrizes para políticas de sustentabilidade econômica e ambiental podem ser melhor direcionadas. Assim, o presente artigo buscou identificar estes padrões entre as áreas irrigadas e o Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária nos municípios abastecidos pela bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A Análise Exploratória de Dados Espaciais foi utilizada como método estatístico para a identificação de padrões regionais na irrigação. Entre os resultados, constatou-se que os municípios com maior área irrigada foram Juazeiro (BA), São Desidério (BA), Paracatu (MG), Unaí (MG) e Cristalina (GO), sendo São Desidério o município com o maior VAB da agropecuária entre os municípios abastecidos pela bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A autocorrelação espacial positiva identificou 26 municípios localizados no Norte de Minas Gerais e na Bahia, nas regiões fisiográficas do Alto e Médio São Francisco, além de municípios do Submédio São Francisco, como Casa Nova (BA), Juazeiro (BA) e Lagoa Grande (BA), com potencial para avançar na irrigação e contribuir para o crescimento regional.

Palavras-chave: Potencial de irrigação, agricultura irrigada, análise exploratória.

Abstract: The São Francisco River basin covers 8% of the national territory, encompassing 507 municipalities, and irrigated agriculture stands out as an alternative to rainfed farming, providing solutions to mitigate climate challenges and enhance food security. By identifying spatial autocorrelation patterns in irrigated agriculture, more targeted guidelines for economic and environmental sustainability policies can be developed. Therefore, this study aimed to identify these patterns between irrigated areas and the Gross Value Added (GVA) of agriculture (as a proxy) in the municipalities supplied by the São Francisco River basin. Exploratory Spatial Data Analysis was employed as a statistical method to detect regional patterns in irrigation. The results revealed that the municipalities with the largest irrigated areas were Juazeiro (BA), São Desidério (BA), Paracatu (MG), Unaí (MG), and Cristalina (GO), with São Desidério having the highest agricultural GVA among the municipalities served by the São Francisco River basin. Positive spatial autocorrelation

¹ Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Rondonópolis. Bolsista PIBIC (2022-2023). Membro do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Desenvolvimento Econômico e Regional da UFR (NEPDER-UFR) (2022-2023). Organizadora da Maratona de Ideias da UFR- ROOATHON (2022). Prêmio Jovens Talentos- UFR 2023. Interesse em pesquisa em: Modelos econométricos, modelos computacionais de equilíbrio geral, Economia regional, Desenvolvimento econômico. E-mail: alicespielmann@outlook.com

² Doutora em Economia Aplicada na Escola Superior em Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo (USP). Mestrado em Economia Regional pela Universidade Estadual de Londrina (UEL)- Londrina-PR (2011). Graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual de Londrina - UEL (2008). Professora na Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba. Experiência na área: Microeconomia e Mercado de Trabalho. Pesquisas nas áreas de Economia Regional, Métodos econométricos e modelos Computacionais de Equilíbrio Geral. Membro do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Desenvolvimento Econômico e Regional da UFR (NEPDER-UFR) e do Núcleo de Estudos em Economia Aplicada (NEA -UFSCar). E-mail: angel.ferrarini@ufscar.br

identified 26 municipalities located in Northern Minas Gerais and Bahia, within the Alto and Médio São Francisco physiographic regions, as well as in the Submédio São Francisco, including Casa Nova (BA), Juazeiro (BA), and Lagoa Grande (BA), which have potential for advancing irrigation and contributing to regional growth.

Key words: *Irrigation potential, Irrigated agricultures, Exploratory analysis.*

Resumen: La cuenca del Río São Francisco abarca el 8% del territorio nacional, englobando 507 municipios, la agricultura irrigada se destaca como una alternativa a la agricultura de secano, ofreciendo soluciones para mitigar los desafíos climáticos y mejorar la seguridad alimentaria. Al identificar patrones de autocorrelación espacial en la agricultura irrigada, se pueden orientar mejor las directrices para políticas de sostenibilidad económica y ambiental. Por lo tanto, este estudio buscó identificar estos patrones entre las áreas irrigadas y el Valor Agregado Bruto (VAB) de la agropecuaria (como proxy) en los municipios abastecidos por la cuenca hidrográfica del Río São Francisco. Se utilizó el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales como método estadístico para identificar patrones regionales en la irrigación. Entre los resultados, se constató que los municipios con mayor área irrigada fueron Juazeiro (BA), São Desidério (BA), Paracatu (MG), Unaí (MG) y Cristalina (GO), siendo São Desidério el municipio con el mayor VAB agropecuario entre los municipios abastecidos por la cuenca hidrográfica del río São Francisco. La autocorrelación espacial positiva identificó 26 municipios situados en el norte de Minas Gerais y en la Bahía, en las regiones fisiográficas del Alto y Medio São Francisco, así como municipios del Submedio São Francisco, como Casa Nova (BA), Juazeiro (BA) y Lagoa Grande (BA), con potencial para avanzar en la irrigación y contribuir al desarrollo regional.

Palabras clave: Potencial de riego, agricultura irrigada, análisis exploratorio.

INTRODUÇÃO

A atividade agrícola, por depender diretamente de variáveis climáticas como temperatura e precipitação, está sujeita a adversidades que envolvem riscos climáticos e oscilações na produção. Na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, avanços tecnológicos e investimentos em sistemas de irrigação desempenham um papel central na mitigação desses impactos e no aumento da produtividade agropecuária (Santos et al., 2020; Almeida et al., 2021).

Segundo Pasqualetto et al. (2022), embora o Brasil possua grande disponibilidade hídrica (12% da água doce mundial), há situações de escassez e significativas disparidades regionais. No Nordeste, por exemplo, a irrigação tem avançado mesmo diante da limitação hídrica em municípios do semiárido. No entanto, a expansão da irrigação, em áreas com restrição hídrica, pode intensificar conflitos pelo uso desse recurso (CPT, 2025), tornando essencial a discussão sobre políticas de gestão dos recursos naturais e sobre o avanço da irrigação, especialmente em regiões de clima adverso.

A ampliação das discussões e normativas visa garantir a sustentabilidade socioeconômica e ambiental, especialmente diante da expansão da produção nacional. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019) reportou que, na última década, houve um aumento significativo no número de outorgas regionais para a irrigação, o que inclui regiões com problemas de déficit hídrico e longos períodos de seca, como o semiárido nordestino, que depende predominantemente da bacia hidrográfica do Rio São Francisco para seu abastecimento (Marengo, et al. 2022).

Conforme dados do Censo Agropecuário Brasileiro divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1985, o país registrou um total de 1,9 milhões de hectares (Mha) irrigados (IBGE, 1985). Segundo estimativas do Atlas da Irrigação para o ano de 2019, as áreas irrigadas são de aproximadamente 8,2 Mha, o que compreende uma expansão média de 9% ao ano (ANA, 2021). Entre os usos consultivos (agricultura, dessedentação animal, indústria, comércio e consumo das famílias), a agricultura irrigada é a atividade mais intensiva no uso da água e depende dos índices de pluviosidade e temperatura para a adequada produção. Esse setor é importante para a economia brasileira, tanto na geração de empregos quanto para a garantia de segurança alimentar futura (Ferrarini, 2017).

Nesse ponto, a bacia hidrográfica do Rio São Francisco desempenha um papel fundamental no abastecimento hídrico da região Nordeste. A bacia tem sua nascente em Minas Gerais, passando pelos estados de Goiás, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe em direção ao oceano Atlântico ao longo da fronteira entre Alagoas e Sergipe. Além das características geográficas do curso d'água, dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) mostram que essa bacia hidrográfica representa aproximadamente 8% do total de recursos hídricos disponíveis no Brasil.

Dos 507 municípios abastecidos pela bacia hidrográfica do São Francisco, 254 estão localizados no semiárido brasileiro (CBHSF, 2016a). Grande parte do semiárido convive com a agricultura familiar e devido ao reduzido nível pluviométrico, a produção sustentável de alimentos torna-se prejudicada, assim como a renda e o consumo regional (Marengo, et al. 2022), fato que associado à reduzida intensidade tecnológica da região Nordeste (Padrão, et al., 2013) pode potencializar a migração populacional e de atividades no semiárido (Correia, 2024).

Embora a literatura enfatize a natureza intermitente e irregular da hidrografia nessa região, na qual muitos rios estão sujeitos a variações climáticas do semiárido (Barbosa; Kumar, 2016), as áreas irrigadas que dependem da bacia hidrográfica do

São Francisco aumentaram em 559.249 hectares entre 2006 e 2017, média de 50.840 hectares por ano (Ferrarini et al., 2020), o que tem exigido a ampliação dos esforços de fiscalização e regulação socioambiental regional.

A primeira Política Nacional de Irrigação no Brasil foi instituída na Lei 6.662, de 25 de junho de 1979 (Brasil, 1979). Esta política, embora alterada por normativos posteriores, esteve vigente até a atual Política de Irrigação promulgada na Lei Federal nº 12.787 de 11 de janeiro de 2013 (Brasil, 2013), na qual o agricultor irrigante deverá considerar o uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados a irrigação. Esta política visa proporcionar mecanismos para o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis que estejam alinhados à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) constituído no Resolução nº 232, de 22 de março de 2022 (Brasil, 2022). Um exemplo desse alinhamento é a exigência de que os Planos de Irrigação sejam desenvolvidos de acordo com os Planos de Recursos Hídricos regionais.

Este artigo busca identificar padrões de autocorrelação espacial entre as áreas irrigadas e o VAB da agropecuária, utilizado como uma *proxy* para a atividade agrícola, nos municípios abastecidos pela bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A análise permite investigar se municípios com maior área irrigada estão circundados por municípios de maior VAB agropecuário e se esses municípios possuem potencial para expandir a irrigação. Compreender essa relação é essencial, pois a irrigação pode contribuir para o dinamismo econômico local, com a expansão de novas áreas irrigadas e no incremento da produtividade agrícola, além de auxiliar na mitigação de riscos climáticos e no controle da produção (Coelho et al., 2006).

Assim, os resultados fornecem evidências sobre as relações econômicas associadas ao crescimento econômico e à agricultura irrigada entre municípios, permitindo aprofundar as discussões em nível regional. Além disso, o estudo avalia o potencial de expansão da irrigação em nível municipal, considerando áreas aptas identificadas no Atlas da Irrigação (ANA, 2021), um dos documentos complementares do Plano Nacional de Recursos Hídricos, com ações previstas para o período de 2022-2040.

Posto isso, o artigo está estruturado em seis seções, sendo esta a primeira. A segunda seção apresenta, brevemente, características da bacia hidrográfica do São Francisco em relação a disposição populacional e de desenvolvimento regional. A terceira seção detalha a metodologia e a base de dados utilizada. A quarta seção destaca as discussões e os resultados propostos no estudo. A quinta seção apresenta as considerações finais e gerais do artigo.

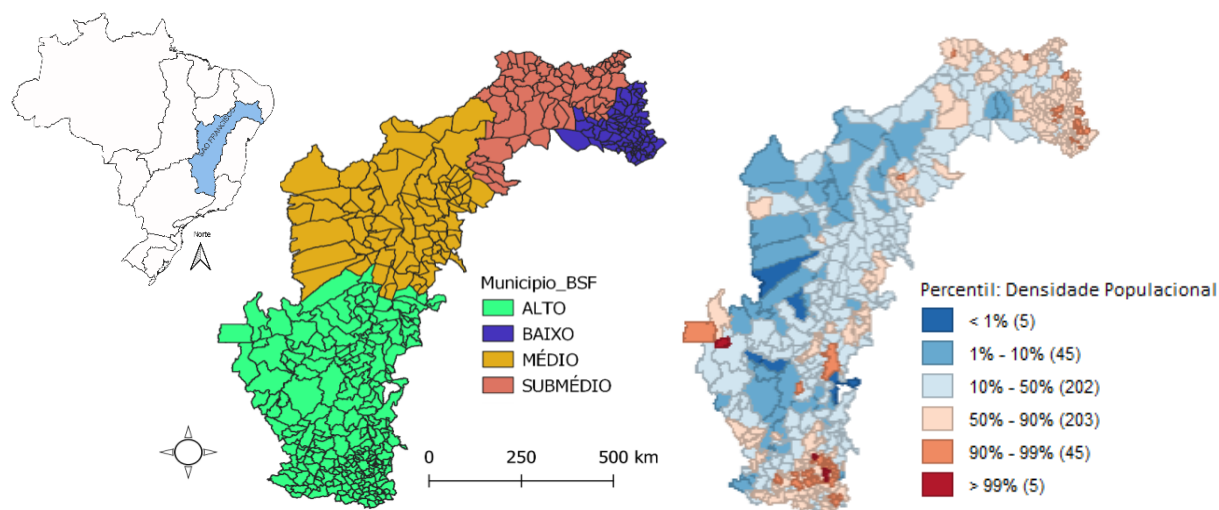
2 – A BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO

Segundo o relatório do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF, 2016a), a bacia do Rio São Francisco abrange 8% do território nacional e engloba 507 municípios. Ela tem sua origem em Minas Gerais, na região Sudeste do Brasil, e se estende até os estados de Goiás, Bahia e Pernambuco passando pelas divisas entre Alagoas e Sergipe antes de desaguar no Oceano Atlântico.

Esta é uma das principais bacias hidrográficas que abastecem a região Nordeste brasileira, sendo esta região caracterizada por adversidades climáticas e fisiográficas, incluindo longos períodos de seca, baixos índices pluviométricos, irregularidade na distribuição de chuvas, altas temperaturas e elevada taxa de evapotranspiração. Essa região é abastecida por seis regiões hidrográficas, sendo a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco a mais importante, detendo aproximadamente 70% da disponibilidade hídrica regional (CBHSF, 2016a).

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco insere-se na porção meridional e central do semiárido e é dividida em quatro divisões fisiográficas: Alto São Francisco, que representa 39% da bacia; Médio São Francisco, também com 39%; Submédio São Francisco, que representa 17%; e Baixo São Francisco, que representa 5%. Assim, 54% da bacia está localizada no semiárido (ANA, 2016). A distribuição locacional das quatro divisões fisiográficas (CBHSF, 2022) e da densidade populacional (IBGE, 2022) por meio da figura em percentil³ é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição das regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e densidade populacional para o ano de 2019



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CBHSF (2022) e dados do IBGE (2022).

Nota: Na legenda da figura em percentil, os dados em parênteses contemplam a quantidade de municípios naquele percentil.

Na Figura 1 destacam-se os municípios de Cabeceira Grande (MG), Caetanópolis (MG), Contagem (MG), Ibirité (MG) e Ribeirão das Neves (MG) como cinco dos municípios com maior densidade demográfica (>99%) da região, ilustrados na escala de cores mais escuras. Os dados mostram que o maior quantitativo populacional se enquadra nos percentis entre 10-50% e 50-90% da amostra, com destaque para a região norte de Minas Gerais e a região litorânea. Mesmo ocupando um território expressivo, a bacia hidrográfica do Rio São Francisco apresenta baixa densidade demográfica, com menos de 30 pessoas por km² no total.

A bacia abrange diversos biomas, incluindo a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga. O bioma do Cerrado se estende pelos estados de Minas Gerais, bem como pelas regiões oeste e sul da Bahia, enquanto o bioma da Caatinga predomina no Nordeste da Bahia. Na região do Alto São Francisco, o bioma da Mata Atlântica é predominante, especialmente em áreas onde a agricultura é a atividade principal. No Alto, no Médio e no Baixo São Francisco são identificados os solos com aptidão para a agricultura irrigada (Castro; Pereira, 2017).

De acordo com informações do Ministério do Meio Ambiente (ANA, 2015), a região do Submédio São Francisco é fortemente afetada pelo descaso na regularização das propriedades rurais, com alagamentos resultantes de barragens irregulares e a

³ Para dados categorizados como menor que 1 (<1%) municípios menores densidade populacional ao longo da bacia do São Francisco, e para dados acima de 99 (>99%) municípios de maior densidade populacional ao longo da bacia do São Francisco. Os demais intervalos representam densidades populacionais que estão entre os extremos.

implantação de programas público-privados para irrigação, que coexistem com a agricultura tradicional de sequeiro. Durante a seca de 2012 a 2016 foram observados impactos ambientais e econômicos no semiárido do Nordeste, incluindo a redução da produção agrícola e do nível dos reservatórios (De Brito et al., 2021).

Segundo Castro e Pereira (2017), as diferenças socioeconômicas entre as regiões fisiográficas do São Francisco são complexas. De acordo com os autores, por um lado, encontra-se o Alto São Francisco, que abrange a região metropolitana de Belo Horizonte e o Distrito Federal, com índices de desenvolvimento mais elevados do que nas outras regiões fisiográficas e, por outro lado, o Baixo São Francisco apresenta índices de desenvolvimento reduzidos. O mesmo é descrito em Alves et al., (2018), em que regiões de boa diversificação e produtividade, normalmente são as regiões litorâneas, capitais e de melhor infraestrutura, que também são intensivas na geração de empregos formais, enquanto que as localizadas no semiárido tendem a apresentar menor diversificação produtiva.

Um exemplo notável é a fruticultura, que se tornou viável na bacia devido ao seu potencial hídrico favorável para a irrigação (Hagel et. al. 2022). Além da fruticultura, a irrigação também possibilita o cultivo de cana-de-açúcar, café, arroz e outras culturas. De acordo com Alves et al. (2017), nos principais polos públicos de irrigação localizados no Ceará, Pernambuco e Bahia, por exemplo, houve investimento em infraestrutura hídrica e regional para viabilizar a produção e escoamento, movimentando o cenário econômico regional. Além destes polos, a região Nordeste, como um todo, movimentou em 2017 cerca de 27% da produção de frutas no país, sendo grande parte destinada ao consumo nacional (Gerum et al., 2019).

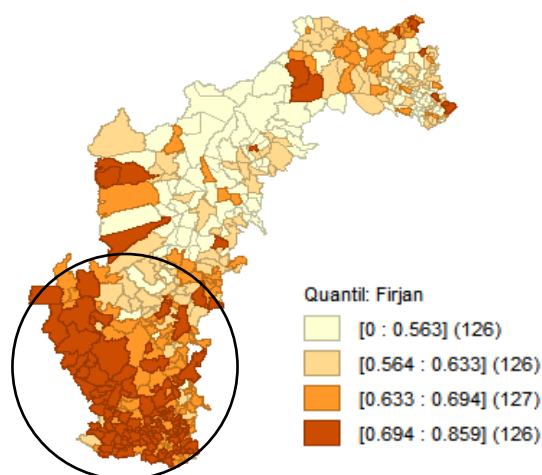
Um dos aspectos frequentemente utilizados para evidenciar as desigualdades regionais é a discrepância entre a população e a contribuição econômica do Nordeste. A região abriga 27% da população brasileira, mas responde por apenas 14% do Produto Interno Bruto (PIB), resultando em um PIB per capita equivalente à metade da média nacional (Cruz et al., 2020). Ainda segundo estes autores, a região enfrenta desafios diante de uma agricultura heterogênea, informalidade no mercado de trabalho acima da média nacional, riscos climáticos e qualidade do solo desafiadores para a produção agrícola em determinadas regiões, entre outros fatores.

Nesse ponto, a Figura 2 ilustra, por meio de dados em quantil⁴, a distribuição do Índice Firjan⁵ de Desenvolvimento Municipal (IFDM) para os municípios pertencentes a Bacia do Rio São Francisco, referentes ao ano de 2018, com base o ano 2016. Nota-se, a concentração de municípios com um IFDM mais elevado na região caracterizada como Alto São Francisco, ilustrada pelo círculo preto na imagem e que compreende municípios localizados na região do Alto São Francisco e que abrange os municípios localizados no norte de Minas Gerais, na região oeste da Bahia e parte de Pernambuco. Estas regiões avançaram na irrigação ao longo das últimas décadas, o que tem contribuído para a mitigação de eventos climáticos adversos e contribuído para a expansão da produção agrícola regional (Coelho et al. 2020; Franca et al. 2022).

⁴ Intervalos regulares de dimensão igual.

⁵ O índice FIRJAM é um estudo do Sistema FIRJAN que acompanha anualmente o desenvolvimento socioeconômico de todos os mais de 5 mil municípios brasileiros em três áreas de atuação: Emprego e Renda, Educação e Saúde (FIRJAM, 2023).

Figura 2 – IFDM Bacia do Rio São Francisco (2018)



Fonte: Elaboração própria com dados de FIRJAN (2018).

Com o avanço da irrigação nos municípios abastecidos pela bacia hidrográfica do Rio São Francisco torna-se, cada vez mais, necessária a identificação do potencial regional para expansão da irrigação e melhorias na gestão de recursos hídricos. Segundo Enríquez (2003) a gestão sustentável da água, mesmo sendo renovável, até certo ponto, deve buscar o equilíbrio entre sua taxa de recomposição e a de exploração para atender aos diversos usos, o que vai ao encontro da necessidade de cobrança pelo uso da água (sustentabilidade ambiental), mas que, ao mesmo tempo, possa ser capaz de não onerar o agricultor na tomada de decisão de irrigar e não irrigar (sustentabilidade econômica). Neste sentido, Schmidt (2007) ressalta que a irrigação pode impactar à montante como sistema de barramento, canais de derivação e outros e, no perímetro irrigado, os efeitos associados ao escoamento superficial, degradação do solo e outros em função do material geológico do solo, acúmulo de resíduos que podem impactar à jusante.

Em relação ao principal sistema de irrigação utilizado nos municípios ao longo da bacia do São Francisco, o Pivô Central; Testezlaf (2017), destaca que neste sistema há desvantagens em relação às perdas de água durante a aplicação que advém das condições ambientais quanto ao vento, seleção de tipo de culturas a serem irrigadas e a seleção realizada de forma inadequada, problemas com orientação técnica e manutenção dos equipamentos, tempo de uso, o que pode tornar mais dispendioso ao agricultor e ao meio ambiente. Nesse sentido, as políticas que analisam condições de seca na região semiárida do país devem ser consideradas (Mulsch, 2020), bem como caminhos para que a agricultura possa se adaptar as mudanças climáticas com o uso eficiente da irrigação (Rattis et al., 2021).

Considerando as observações de Enríquez (2003) e Rattis et al. (2021) sobre a gestão e as adaptações da agricultura para o uso sustentável da água, nas últimas duas décadas foram desenvolvidos no Brasil diversos instrumentos de gerenciamento hídrico, como o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2022) e a Cobrança pelo Uso da Água. Esses mecanismos, entre outros, visam promover a conscientização sobre o uso racional desse recurso e destinar a arrecadação para projetos de revitalização, recuperação e preservação de bacias e mananciais. Assim, exemplificam políticas de gestão adaptadas às realidades regionais e em constante aprimoramento (CBHSF, 2016b).

Para promover o uso eficiente da água, o PNRH (2022), que contempla o período de ações para 2022-2040, propõe a redução das perdas físicas nos sistemas públicos de abastecimento e nas lâminas de irrigação, além da revitalização dos mananciais de abastecimento por meio da despoluição de reservatórios e da regularização no semiárido. Nesse ponto, estudos têm contribuído para desenvolver métodos de irrigação que possam ser mais eficientes no uso racional de recursos hídricos na região nordeste, sejam por tipo de cultura como em Passos et al. (2024) ou estudos para a melhoria da gestão hídrica regional como os de Baiardi e Ribeiro (2023).

Para garantir eficiência na governança dos recursos hídricos, especialmente em regiões com características singulares, como o semiárido brasileiro, é importante que a gestão integrada inclua a participação da comunidade. Marcon (2023) ressalta que a cooperação entre estados e municípios é essencial para a estruturação dos comitês das bacias hidrográficas pertencentes ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, principalmente por se tratar de instâncias colegiadas de gestão participativa da sociedade em nível de bacia hidrográfica.

Um exemplo significativo do empenho dos comitês das bacias hidrográficas em relação às políticas de gerenciamento é que o Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF) foi o terceiro Comitê de Bacias Hidrográficas a implementar o instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Iniciado em 2010, a cobrança pelo uso da água na bacia tem o objetivo de cobrar valores relacionados à captação, consumo e lançamento de efluentes dos usuários, e a aplicação dos recursos obtidos dessa cobrança é destinada a projetos de fortalecimento institucional e a projetos hidroambientais (CBHSF, 2016b). Entretanto, a carência de arranjos financeiros, comerciais e legais ainda é uma problemática na gestão dos recursos hídricos e das obras de infraestrutura hídrica do Brasil, considerando que a questão financeira é um ponto sensível e recorrente para a eficiência dos instrumentos de gestão (Marques, 2022).

3 – BASE DE DADOS E METODOLOGIA

O presente artigo caracteriza-se como uma pesquisa básica e exploratória, utilizando dados secundários para a análise das áreas irrigadas e do VAB no ano de 2019. As variáveis consideradas incluem as áreas irrigadas em 2019 e as áreas potenciais para a expansão da irrigação (área adicional irrigável), conforme reportado no Atlas da Irrigação da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021). Os dados de área plantada foram coletados na Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2022) para as regiões hidrográficas dentro da bacia do São Francisco. Os dados do VAB da agropecuária para o ano de 2019 foram utilizados como variável *proxy* para a renda econômica regional na atividade agropecuária, sendo empregados para verificar se existe alguma correlação espacial positiva entre a irrigação em determinado município e os municípios com maior VAB da agropecuária.

O Plano de Recursos Hídricos Regional da Bacia do São Francisco para o período de 2016-2025 (CBHSF, 2016a, 2016b) é utilizado para identificar os municípios abastecidos pela Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) é empregada como ferramenta estatística por abranger um conjunto de métodos que possibilitam a identificação e exploração das características espaciais da região em estudo. Os resultados são inicialmente apresentados por meio da estatística descritiva, utilizando as técnicas de Percentil e Quantil, que permitem espacializar os dados de área irrigada e área plantada na bacia hidrográfica do São Francisco para o ano de 2019. Posteriormente, a estatística I de

Moran bivariada local ($I_i^{z_1 z_2}$) é utilizada, indicando o grau de associação linear entre a variável z_1 da região i (z_{1i}) e a média de outra variável (z_2) das j regiões (municípios no caso deste estudo) vizinhas à i . Conforme descrito em Almeida (2012), a estatística I de Moran bivariada local ($I_i^{z_1 z_2}$). pode ser expresso como:

$$I_i^{z_1 z_2} = Z_{1i} W_{z_{2i}}$$

Em que $W_{z_{2i}}$ é a defasagem espacial da variável padronizada Z_{2i} somente os vizinhos da observação i , definidos conforme matriz de pesos espaciais, são incluídos no cálculo. Esta estatística fornece uma indicação do grau de associação linear (positiva ou negativa) entre o valor para uma variável em uma dada localização i na média de uma outra variável nas locações vizinhas. Os resultados para um agrupamento bivariado do tipo “Alto-Alto” indicam, no presente estudo, quais municípios possuem elevado quantitativo de áreas irrigadas rodeados por municípios de elevado VAB da agropecuária.

Os valores estatísticos do I de Moran configuram-se, geralmente, entre -1 e 1, em que resultados de $I=1$ apresentam forte autocorrelação positiva e valores $I=-1$ representam forte autocorrelação negativa e $I=0$ ausência de autocorreção⁶. A análise de resultados considerou duas matrizes de pesos: matriz Rainha e a Torre. Uma matriz de pesos espaciais define as relações de vizinhança entre unidades geográficas. Os resultados são apresentados na configuração da matriz de pesos do tipo Rainha, que apresenta uma estrutura em que todos os vizinhos dos polígonos que compartilham um lado ou um vértice são considerados, enquanto que, a matriz do tipo Torre considera vizinhos apenas os polígonos que compartilham um lado, sendo mais restrita que a Rainha. A ilustração das figuras de distribuição de áreas e de volume de água é realizada por meio do software livre Geoda (Anselin, 2023).

4– RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nesta seção exploram as informações sobre as áreas irrigadas nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no ano de 2019 e, posteriormente, a relação dessas áreas com o VAB dos estabelecimentos rurais. Inicialmente, a análise por meio da estatística de percentil destacou cinco municípios com as maiores áreas irrigadas (percentil >99%): Juazeiro (BA), São Desidério (BA), Paracatu (MG), Unaí (MG) e Cristalina (GO), conforme ilustrado na Figura 3a.

A Figura 3b mostra que 72 municípios apresentaram relação área irrigada/plantada superior a 1, indicado no último quantil. Esta situação ocorre por divergências de bases de dados, uma vez que a área irrigada de 2019 é uma estimativa⁷ da ANA e os dados de área plantada para 2019 são coletados com base na Produção Agrícola Municipal⁸, que investiga um conjunto de lavouras temporárias e permanentes por meio da aplicação de questionários. Além destas divergências metodológicas, deve-se considerar o período de substituição de culturas (temporárias como soja, milho, trigo, por exemplo) e a rotatividade das culturas, o que pode alterar

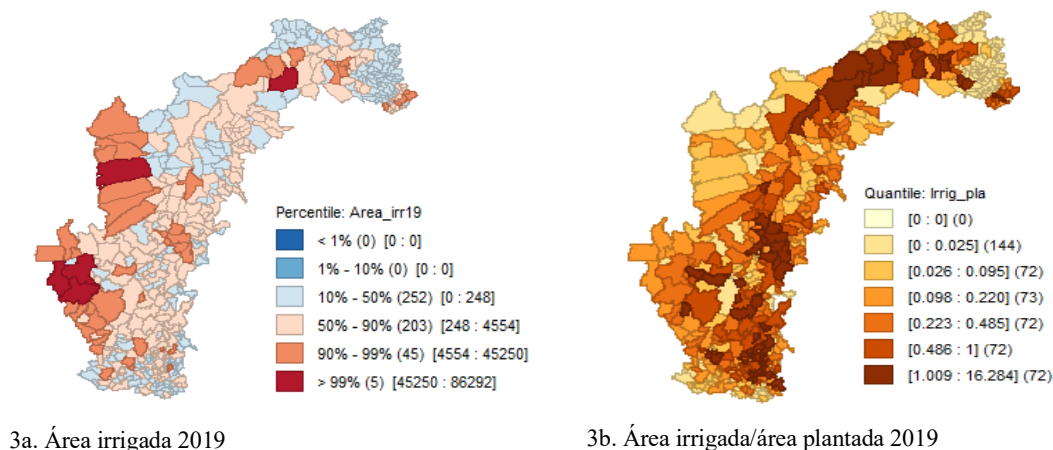
⁶ Se a matriz de pesos não for padronizada ou se houver uma distribuição espacial específica dos dados, os valores do **I de Moran** podem ultrapassar esse intervalo.

⁷ Realizada com base em uma série de levantamentos sistemáticos sobre sistemas de irrigação, geoprocessamento e outros que podem ser consultados em ANA (2021).

⁸ Teve início no Ministério da Agricultura em 1938 e tem periodicidade anual.

as informações descritas nas estimativas de área plantada. Apesar destas limitações, o resultado fornece um indicativo da relação de áreas nas regiões de análise.

Figura 3 – Mapa de percentil para a área irrigada de 2019 e a relação entre área irrigada e plantada de 2019



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de ANA (2021) e dados do IBGE (2023).

Segundo informações do relatório da ANA (2021), o município de Juazeiro, na Bahia, tem uma área irrigada de cana-de-açúcar de cerca de 20.213 ha (42,3% do total irrigado), além de outras culturas e sistemas, sendo o sistema de irrigação localizada o predominante no município e a área total irrigada no município de 47.405. Ainda em relação a Juazeiro (BA), o município é classificado como polo de irrigação⁹. Já os municípios de São Desidério, Paracatu, Unaí e Cristalina há predominância do sistema de pivô central na irrigação por aspersão, sendo que há projeto público de irrigação em São Desidério e Barreiras (Médio São Francisco) e conta com produção diversificada de feijão, manga, coco, banana e outros (CODEVASF, 2023).

Os dados da Tabela 1 destacam as informações de área irrigada, potencial para avançar a irrigação e VAB da agropecuária para os municípios de Juazeiro, São Desidério, Unaí e Cristalina que são os municípios classificados pelo percentil superior a 99% e sendo o município de São Desidério o de maior VAB da agropecuária entre os municípios da bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

⁹ A definição de polos de irrigação, implementada pela portaria MDR nº 1.082, de 25 de abril de 2019.

Tabela 1 – Dados de área irrigada e irrigável para os municípios de maior percentil na irrigação em 2019 na bacia hidrográfica do São Francisco

Municípios	UF	Área irrigada 2019 (Hectares)	Área Potencial efetiva para avançar na irrigação (hectares)	VAB Agropecuária (Mil reais) para 2019	Participação (%) do VAB da Agropecuária no VAB total	Sistema de irrigação predominante
Juazeiro	BA	47.405	0	280.699	13,64	Irrigação localizada
São Desidério	BA	51.933	26.105	1.575.333	63,72	Aspersão - Pivôs Centrais
Paracatu	MG	86.292	17.637	557.196	12,09	Aspersão - Pivôs Centrais
Unai	MG	70.874	13.761	782.041	29,09	Aspersão - Pivôs Centrais
Cristalina	GO	62.089	39.905	988.804	42,68	Aspersão - Pivôs Centrais

Fonte: Elaborado pela autora com base no Atlas da Irrigação (ANA, 2021) e no IBGE (2021).

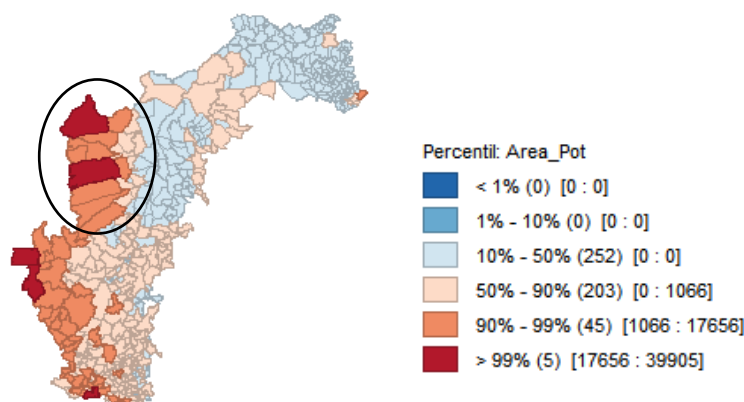
Segundo dados da ANA (2021), estima-se que entre 7 e 9% da produção física da agricultura ocorra em áreas irrigadas, que agregam entre 13 e 15% do valor da produção pela possibilidade de produção de mais de uma safra no mesmo local. O relatório destaca que algumas culturas, apesar de apresentarem maiores áreas irrigadas como cana-de-açúcar e arroz, agregam menos valor à economia (R\$ 4 a R\$7 mil/hectare) quando comparadas a outras culturas, como por exemplo o algodão (R\$ 11 a R\$ 13 mil/hectare).

A rentabilidade da agricultura irrigada depende, fundamentalmente, do custo de produção, do rendimento físico da cultura e do preço do produto. Dentre esses fatores, o agricultor possui maior controle sobre a estrutura de custos, aspecto que deve ser considerado na escolha da cultura irrigada e do sistema de irrigação a ser adotado. Considerando que o potencial efetivo total para a expansão da irrigação na bacia hidrográfica do São Francisco é de 383.552 hectares, a Figura 4 ilustra a localização dos municípios com maior potencial para essa expansão.

A área definida como potencial efetivo de irrigação, segundo a ANA (2021), considera o potencial físico hídrico total, bem como a área agricultável¹⁰, a demanda hídrica (múltiplos usuários) e a disponibilidade hídrica. Municípios com elevado percentual de áreas potencialmente aptas para a expansão da irrigação, como Cristalina (GO) e São Desidério (BA), estão entre os cinco municípios com a maior quantidade de áreas potencialmente irrigáveis (Figura 4). Além desses, destacam-se os municípios de Formosa do Rio Preto (BA) com potencial efeito de 17.680ha, Formiga (MG) com 19.222ha e Brasília (DF) com 29.808ha.

¹⁰ Área Agricultável: áreas com agricultura e pastagem consolidadas, removidos os locais com restrições do meio físico (áreas de muito baixa aptidão do meio físico) e ambientais (Áreas de Preservação Permanente - APP com ou sem vegetação nativa, áreas acima de 25º de declividade, Unidades de Conservação de Proteção Integral, Terras Indígenas e Quilombolas).

Figura 4 – Mapa dos municípios da Bacia do São Francisco distribuídos por área potencial



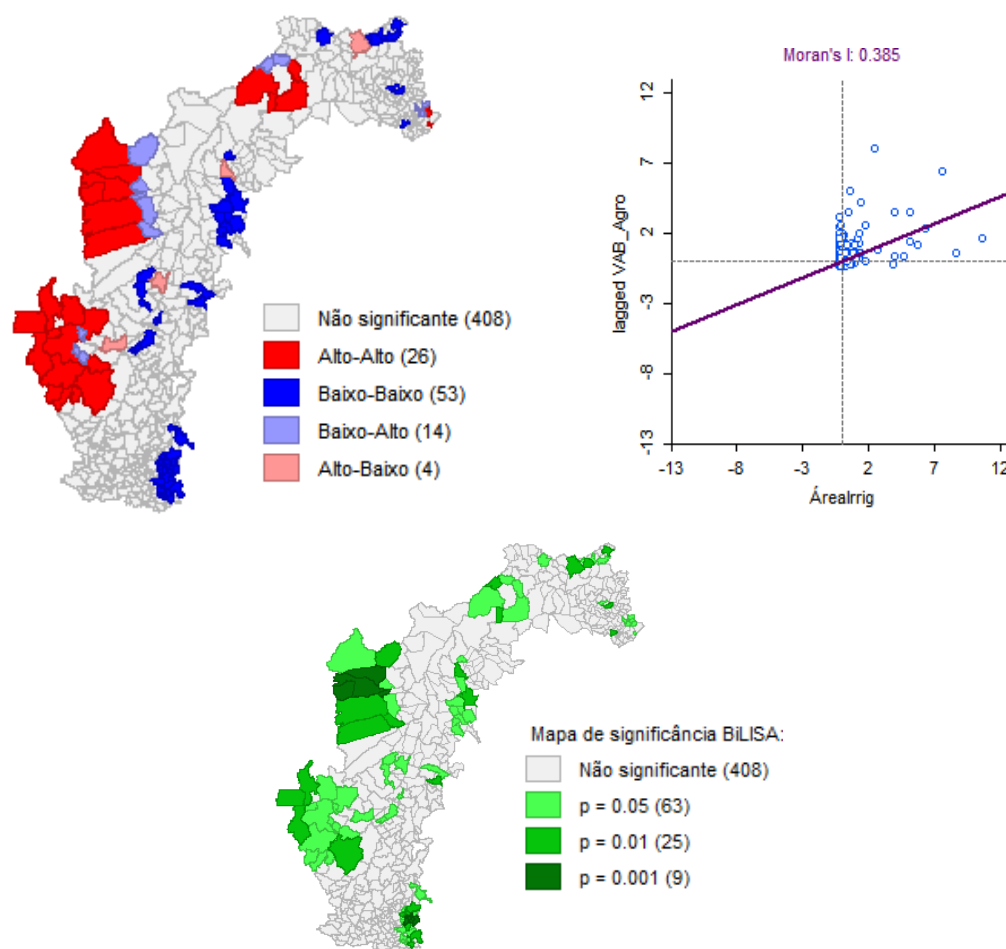
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de ANA (2021).

A região da Bacia do São Francisco abriga municípios considerados polos de irrigação, como Paracatu (MG), Unaí (MG), Cristalina (GO), São Desidério (BA) e Barreiras (BA), que possuem áreas irrigadas consideráveis com pivôs centrais. O município de Paracatu (MG) destaca-se por ter áreas em mais de um polo nacional de irrigação, como Alto Paracatu, Entre Ribeiros e São Marcos. Notavelmente, os municípios localizados na região do Médio São Francisco, que abrange parte do Oeste da Bahia, têm a soja como a cultura irrigada predominante. Com o avanço da agricultura irrigada, há um aumento na demanda hídrica na atividade agrícola, o que elevará a competitividade pelo recurso escasso entre os agentes econômicos. Nesse contexto, a outorga torna-se um importante instrumento de gestão no PNRH (Pasqualetto, et al. 2022).

Além dessa, a expansão da irrigação para o cultivo de diversas culturas, como milho, soja, arroz, cana-de-açúcar, café e outras, pode oferecer a oportunidade de introduzir culturas que anteriormente não eram consideradas viáveis devido às características fisiográficas e climáticas únicas da bacia (Brito; Azevedo, 2020). A expansão da irrigação pode aumentar a oferta de empregos, tanto diretos quanto indiretos, provenientes da cadeia produtiva e, consequentemente, o valor adicionado bruto da agropecuária de regiões irrigadas propícias para o plantio. Entretanto, a irrigação aumenta o uso de recursos hídricos, o que, em regiões com condições climáticas adversas, exigirá uma maior atuação das políticas públicas regionais para a gestão dos recursos.

A Figura 5 apresenta os resultados da análise de cluster bivariado para a área irrigada (ha) e o VAB da agropecuária no ano de 2019. O Índice de Moran global foi de 0,385, indicando uma autocorrelação espacial positiva moderada entre os municípios analisados. A distribuição espacial dos dados revela a formação de clusters significativos no Norte de Minas Gerais e na Bahia, abrangendo as regiões do Alto São Francisco e Médio São Francisco, além do Submédio São Francisco, incluindo municípios como Casa Nova (BA), Juazeiro (BA) e Lagoa Grande (BA). Esses resultados são acompanhados pelo mapa de significância estatística (BiLISA), que indica os municípios estatisticamente significativos nos níveis de 0,1%, 1% e 5%.

Figura 5 – I de Moran bivariado para a área irrigada e o VAB da agropecuária



Fonte: Resultados da Pesquisa

Dos 26 municípios do agrupamento alto-alto, 17 deles adotam predominantemente o sistema de pivôs centrais para a irrigação, conforme relatório da ANA em 2021. Entre esses municípios, Paracatu (MG) se destaca com a maior área irrigada total, abrangendo cerca de 86.291 hectares, com foco principalmente na cultura da cana-de-açúcar, além de outras culturas em que o sistema de pivôs centrais é predominante.

De acordo com os dados do IBGE em 2019, São Desidério (BA), Formosa do Rio Preto (BA), Brasília (DF), Cristalina (GO) e Barreiras (BA) figuram como as cinco cidades com os maiores VAB entre os 26 municípios desse agrupamento. O sistema de pivôs centrais para a irrigação é identificado como predominante em quatro desses municípios, com exceção de Brasília, onde outros sistemas de irrigação e culturas têm maior relevância.

Municípios como Luís Eduardo Magalhães (BA), Barreiras (BA) e Riachão das Neves (BA), destacam-se devido a maior significância estatística (p -valor = 0.001), sendo exemplos de áreas circundadas por municípios com níveis de irrigação superiores a 99% e com alto VAB no setor agropecuário. Barreiras concentra sua produção principalmente em soja (aproximadamente 70%), seguida pelo cultivo de algodão (12%), assim como em Riachão das Neves e Luís Eduardo Magalhães (Oeste

Baiano) que também se destacam na produção de milho e algodão e feijão, sendo este último produzido em Luís Eduardo Magalhães (IBGE, 2022).

Os resultados mostraram que os municípios de São Desidério, Unaí, Cristalina, Paracatu, Juazeiro e Barreiras possuem tanto uma elevada área irrigada quanto um alto VAB. Entretanto, a área potencial efetiva para avançar na irrigação se altera entre os municípios, sendo que Juazeiro na Bahia apresentaria o potencial efetivo exaurido, enquanto que o município de Cristalina apresentaria o maior potencial para avançar com 39.905 hectares adicionais.

Os resultados também indicam que a região do oeste baiano apresenta autocorrelação espacial positiva e com significância estatística, o que compreende os municípios de São Desidério, Luís Eduardo Magalhães, Barreiras, Correntina. Isso significa que esses municípios não estão isolados em termos de sua atividade agropecuária, mas sim inseridos em um contexto de influência mútua, onde altos valores de uma variável (como área irrigada) tendem a estar próximos de outros municípios com valores igualmente elevados para a outra variável (como VAB).

Segundo o CBHSF (2016a), o Médio São Francisco concentrava 55% da produção da bacia, e a distribuição do VAB da agropecuária evidenciava sua importância nesse aspecto. Em seguida, o Alto São Francisco detinha cerca de 29% da produção agropecuária da bacia. Essas duas regiões fisiográficas possuem as maiores áreas irrigadas, além de municípios com maiores áreas potenciais irrigáveis.

Os dados fornecidos no Atlas da Irrigação da Agência Nacional de Águas e Saneamento mostram a possibilidade de ampliar a irrigação na região da bacia do Rio São Francisco. Os resultados do estudo indicam que a irrigação tem potencial para aumentar o valor da produção na região e, conseqüentemente, espera-se uma melhoria na renda e no desenvolvimento da cadeia produtiva regional. Entretanto, preocupações com impactos ambientais conseqüentes da irrigação, como a salinização dos solos e da água, a degradação ambiental e exploração excessiva de recursos hídricos sugerem a ampliação dos documentos que normatizam as políticas direcionadas, como o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do São Francisco.

É importante ressaltar que ainda há uma carência de estudos que avaliem os potenciais impactos do avanço da irrigação não apenas no volume de água, mas também na qualidade das águas. Análises importantes para que o gerenciamento de recursos hídricos possa, efetivamente, garantir a sustentabilidade tanto para a geração atual quanto para as futuras gerações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura irrigada é uma das atividades econômicas cuja demanda hídrica é intensa e apresenta-se como uma alternativa eficiente para a estabilização e o aumento da produção de alimentos e a expansão das culturas. Nas regiões semiáridas, caracterizadas por terem reduzido escoamento de águas superficiais devido à sua estrutura geológica e às condições climáticas, como no caso da região do Alto São Francisco, a irrigação é uma alternativa capaz de minimizar os efeitos adversos que o clima seco e a distribuição irregular de chuvas exercem sobre a agricultura.

O Brasil apresenta potencial para avançar na agricultura irrigada. Os critérios para melhor definição, adequação e uso dos métodos e equipamentos de irrigação devem ser aprimorados para minimizar as perdas e otimizar o manejo da água considerando o ambiente de produção, como o solo, a cultura e clima, com o intuito de maximizar a eficiência do uso de água e, por conseguinte, o meio ambiente como

um todo. No entanto, a literatura consultada destaca que a sustentabilidade hídrica que relacionada tanto aos aspectos ambientais quanto econômicos sobre o desenvolvimento sustentável de uma região, aparentemente carece de discussões mais detalhadas com metas claras e definidas nos documentos consultados do Plano Nacional de Recursos Hídricos.

Os resultados da pesquisa para identificar padrões de autocorrelação espacial entre as áreas irrigadas e o VAB da agropecuária mostram que os municípios considerados polos de irrigação, como Barreiras, Correntina e Juazeiro, são aqueles que apresentaram área irrigada elevada e potencial de expansão, assim como os municípios localizados a oeste da Bahia e ao norte de Minas Gerais. Nessas regiões, as áreas irrigadas apresentam forte correlação espacial positiva com o Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária, indicando não apenas um potencial de influência econômica regional, mas também a necessidade de que sejam foco de atenção no gerenciamento dos recursos hídricos.

Os dados divulgados no Atlas de Irrigação, com o recorte para os municípios integrantes da bacia do São Francisco, apresentam potencial para avançar na irrigação, considerando a disponibilidade hídrica regional. Contudo, os dados evidenciam que o município de Juazeiro na Bahia apresentaria o potencial efetivo para avançar na irrigação exaurido, enquanto que o município de Cristalina apresentaria a maior área potencial disponível para avançar. Posto isso, sugere-se para estudos futuros avaliar o potencial hídrico regional considerando cenários de mudanças climáticas e os possíveis impactos socioambientais da expansão.

Referências

ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP. Alínea, 2012.

ALMEIDA, A. H. B. D. et al. Perspectivas da gestão hídrica no semiárido brasileiro para a irrigação. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v. 22, n. 2, p. 119-132, 2021.

ALVES, E.; SOUZA, G. da S. e; MARRA, R. Uma viagem pelas regiões e estados guiada pelo Censo Agropecuário 2006. **Revista de Política Agrícola**, ano26, p.113-150,2017.

ALVES, D. F. et al. Estrutura Produtiva nas Mesorregiões do Nordeste Brasileiro: uma análise fatorial. **Informe Gepec**, v. 22, n. 2, p. 81-98, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Resolução nº 232, de 22 de março de 2022**. Estabelece critérios e diretrizes para a outorga de direito de uso de recursos hídricos para irrigação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 mar. 2022.

ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Regiões hidrográficas brasileiras: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília-DF, 2015. Disponível em: [CONJUNTURA EDICAO ESPECIAL.indd \(snirh.gov.br\)](#) Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

ANA. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016–2025: Resumo executivo do plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio

são Francisco. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Alagoas, p. 300. 2016. Disponível em: [6 \(cbhsaofrancisco.org.br\)](http://6.cbhsaofrancisco.org.br) Acesso em 10 de abril de 2022.

ANA. Outorgas emitidas. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: [Outorgas - Conjuntos de dados - Portal Brasileiro de Dados Abertos](#) Acesso em 10 de Abril de 2021.

ANA. Atlas da irrigação. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília-Distrito Federal, 2021. Disponível em: [História sem título \(snirh.gov.br\)](#) Acesso em 10 de maio de 2022.

ANA. Plano Nacional de Recursos Hídricos: Da conjuntura ao plano de ações. 2022. Disponível em: [ANA \(webflow.io\)](#) Acesso em 20 de abril de 2022.

ANSELIN, L. *GeoDa: an introduction to spatial data analysis* [software]. Versão 1.22.0.2 Disponível em: <https://geodacenter.github.io/> Acesso em: 1 abr. 2023.

BAIARDI, A.; RIBEIRO, M. C. M. Eficiência da gestão da agricultura irrigada no Vale do São Francisco: uma análise comparativa no polo regional Petrolina-Juazeiro. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 20, n. 3, jul./set., p. 28-51, 2023.

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T.V. L. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 124, p. 377-387, 2016.

BRASIL. **Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979**. Dispõe sobre a reorganização do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 jun. 1979. [revogada pela Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013].

BRASIL. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013**. Institui a Política Nacional de Irrigação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 14 jan. 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm Acesso em 02 de abril de 2023.

BRITO, P. L. C. de; AZEVEDO, J. P. S. de. Valor econômico da água para irrigação: o caso da bacia do rio São Francisco. In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2020. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/130/XV-SRHNE0014-1-20200528-092807.pdf>. Acesso em 15 de agosto de 2024.

CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. Revitalização do Rio São Francisco. 2017. Texto para Discussão 8157. 2017. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**. Disponível em: [BRU n17 Revitalização.pdf \(ipea.gov.br\)](#) Acesso em 12 de dezembro de 2022.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). Plano de Recursos Hídricos 2016/2025: Diagnósticos e cenários. 2016a. Disponível em: [Plano de Recursos Hídricos 2016/2025 - CBHSF : CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco \(cbhsaofrancisco.org.br\)](#) Acesso em 12 de novembro de 2022.

CBHSF. Plano de Recursos Hídricos 2016/2025: Eixos de atuação, planos de metas e de ações. 2016b. Disponível em: > Disponível em: [Plano de Recursos Hídricos 2016/2025 - CBHSF : CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco \(cbhsaofrancisco.org.br\)](http://cbhsaofrancisco.org.br) Acesso em 15 de dezembro de 2022.

CBHSF. Municípios da bacia do São Francisco. Dispositivo online. 2022. Disponível em: [A Bacia - CBHSF : CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco \(cbhsaofrancisco.org.br\)](http://cbhsaofrancisco.org.br) Acesso em 20 de novembro de 2022.

CODEVASF. Projetos públicos de irrigação. 2023. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocios/agricultura-irrigada/projetos-de-irrigacao> Acesso em 25 de maio de 2023.

COELHO, E. F., et al. Irrigação na cultura dos citros. In: SOARES, J. M.; ANGELOCCI, L. R. (Org.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 187-212. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1132211/1/livro-2-agricultura-irrigadaCAP-22.pdf> acesso em 01 de abril de 2025.

COELHO, E. F., et al. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. **Citrus Research & Technology**, v. 27, n. 2, p. 0-0, 2020.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA (CPT). *Conflitos pelo uso da água.* Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downloads/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 1 abr. 2025.

CORREIA, I. A. Desastres e migração ambiental no semiárido brasileiro/Disasters and environmental migration in the brazilian semi-arid region. **Informe GEPEC**, v. 28, n. 2, p. 537-559.

CRUZ, B. de O. et al. Uma contribuição ao debate sobre o desenvolvimento regional do Nordeste. In: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Desenvolvimento regional no Brasil: ensaios sobre as regiões brasileiras. Brasília, DF: IPEA, 2020. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10385/1/brua_22_ensaio_regional_artigo_1.pdf Acesso em 01 de abril de 2025.

DE BRITO, Y. M. A. et al. Panorama da seca plurianual 2012-2018 no semiárido brasileiro: Impactos hidrológicos, agrícolas e medidas de convivência. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 58, p. 12-26, 2021.

ENRÍQUEZ, M. A. R. S. Economia dos recursos naturais. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

FERRARINI, A. D. S. F. **Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável (CGE).** 2017. Tese (doutorado). Pós-Graduação em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- Universidade de São Paulo. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-14032018-123416/pt-br.php>
Acesso em 18 de julho de 2023.

FERRARINI, A. D. S. F., et al. Water demand prospects for irrigation in the São Francisco River: Brazilian public policy. **Water Policy**, v. 22, n. 3, p. 449-467, 2020.

FIRJAN. Índice Firjan de desenvolvimento municipal. 2023. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/ifdm/downloads/> Acesso em 15 de outubro de 2023.

FRANCA, C. L. E. et al. Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido: aspectos legais e qualidade do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 3, p. 167-177, 2022.

GERUM, A.F.A. de A., et al. Fruticultura Tropical: potenciais riscos e seus impactos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2019. 28p.

HAGEL, H., RINCON, DG, DOLUSCHITZ, R. Produção de frutas no deserto brasileiro e aspectos de sustentabilidade da agricultura familiar irrigada ao longo do baixo-médio rio São Francisco: um estudo de caso. In: Bahadir, M., Haarstrick, A. (eds) **Gestão de águas e esgoto**. Springer, Cham. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-95288-4_21 Acesso em 13 de novembro de 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal. 2022. Disponível em: [Culturas temporárias e permanentes | IBGE](#) Acesso em 10 de abril de 2022.

IBGE. Produto Interno Bruto dos Municípios. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas> Acesso em 15 de abril de 2024.

IBGE. Censo Agropecuário 1985. Rio de Janeiro: IBGE, 1985. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/228/censo_agropecuário_1985.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023.

MARENGO, J. A. et al. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e17, 2022.

MARCON, P. **Governança das águas no Brasil**: colaborações da sociedade civil e desafios da implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 2023. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, campus São Carlos). Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18360> Acesso em 05 de abril de 2024.

MARQUES, Guilherme Fernandes. Os serviços de gestão de recursos hídricos. Rega: **Revista de Gestión del Agua de América Latina**, Porto Alegre, v. 19, p. e1-e18, jan./dez. 2022.

MULTSCH, S. et al. Assessment of potential implications of agricultural irrigation policy on surface water scarcity in Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 1, p. 307-324, 2020.

PADRÃO, G. D. A; et al. Avaliação da modernização da produção agrícola nas microrregiões do Nordeste brasileiro: classificação e agrupamento de indicadores. **Informe Gepec**, v. 17, n. 1, p. 150-165, 2014.

PASQUALETTO, T. L. L. et al. Análise das outorgas federais de recursos hídricos em goiás entre 2002 e 2020. **Informe Gepec**, v. 26, n. 2, p. 50-68, 2022.

PASQUALETTO, A. et al. Water Resources Availability and Demand in Brazil/Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. **Informe Gepec**, v. 26, n. 1, p. 46-61, 2022.

PASSOS, N. R.F. et al. Consumo hídrico e exigência térmica do meloeiro cultivado na região semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista Semiárido De Visu**, v. 12, n. 2, p. 713-724, 2024.

RATTIS, L. et al. Climatic limit for agriculture in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 12, p. 1098-1104, 2021.

SANTOS, A. S.D. et al. Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, 2020.

SCHMIDT, W. **Agricultura irrigada e o licenciamento ambiental**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: UNICAMP, 2017.

Recebido em 27/08/2024.
Aceito em 30/04/2025.