

Publicação da Secretaria de Política Agrícola
do Ministério da Agricultura e Pecuária,
editada pela Embrapa

e-ISSN 2317-224X
ISSN 1413-4969
Página da revista: www.embrapa.br/rpa

Felipe Schwerz 
Universidade Federal de Lavras, Departamento de
Engenharia Agrícola, Lavras, MG, Brasil
E-mail: felipe.schwerz@ufla.br
 Autor correspondente

Neumar Costa Malheiros 
Universidade Federal de Lavras, Instituto de Ciência,
Tecnologia e Inovação, São Sebastião do Paraíso, MG, Brasil
E-mail: neumar@ufla.br

Adriano Valentim Diotto 
Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos
Hídricos, Lavras, MG, Brasil
E-mail: adriano.diotto@ufla.br

Antônio Felipe Guimarães Leite 
Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional,
Brasília, DF, Brasil
E-mail: antonio.leite@mdr.gov.br

Frederico Cintra Belém 
Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional,
Brasília, DF, Brasil
E-mail: frederico.belem@mdr.gov.br

João Antônio Nogueira Reis 
Agência UFLA de Inovação em Geotecnologias e Sistemas
Inteligentes no Agronegócio – Zetta, Lavras, MG, Brasil
E-mail: joaoreis.ti@fundecc.org.br

Antônio Carlos de Sousa Couto Júnior 
Agência UFLA de Inovação em Geotecnologias e Sistemas
Inteligentes no Agronegócio – Zetta, Lavras, MG, Brasil
E-mail: antoniocoutojr.ti@fundecc.org.br

Cauã Guilherme Miranda 
Agência UFLA de Inovação em Geotecnologias e Sistemas
Inteligentes no Agronegócio – Zetta, Lavras, MG, Brasil
E-mail: cauamiranda.ti@fundecc.org.br

Recebido
15/1/2025

Aceito
4/5/2025

Como citar
SCHWERZ, F.; MALHEIROS, N.C.; DIOTTO, A.V.; LEITE, A.F.G.;
BELÉM, F.C.; REIS, J.A.N.; COUTO JÚNIOR, A.C. de S.; MIRANDA,
C.G. Desenvolvimento de indicador para infraestrutura
de irrigação no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, v.34,
e02021, 2025. DOI: <https://doi.org/10.35977/2317-224X.rpa2025.v34.02021>.

Artigo

Desenvolvimento de indicador para infraestrutura de irrigação no Brasil

Resumo – A sustentabilidade da agricultura irrigada brasileira está fundamentada em projetos de irrigação bem estruturados, os quais são guiados pela Política Nacional de Irrigação. Um dos primeiros passos é uma análise aprofundada da infraestrutura disponível para irrigação, bem como a identificação das limitações. Nesse contexto, este estudo propõe uma análise integrada dos fatores associados à infraestrutura para irrigação, com base em dados georreferenciados, visando aprimorar o desenvolvimento e a gestão de projetos irrigados. O objetivo específico foi desenvolver um indicador para a análise da infraestrutura de irrigação no território brasileiro, via abordagem multicritério baseada em dados georreferenciados. O indicador para análise de infraestrutura de irrigação (IAI) baseia-se em critérios práticos relacionados à infraestrutura disponível, cujos parâmetros utilizados em sua elaboração foram estes: recurso hídrico, energia elétrica, rodovia, solo e declividade. Para a exibição do IAI, foi desenvolvido um mapa interativo de aptidão de infraestrutura para irrigação, utilizando um sistema de informações geográficas (SIG). Isso permitiu uma abordagem integrada para criar um mapa síntese, com o resultado apresentado em cinco classes de aptidão. O valor médio do IAI para o Brasil, de 7,125, indica que os recursos de infraestrutura estão disponíveis, mas são necessários ajustes estruturais para a implantação de um projeto de irrigação. No entanto, é importante destacar a necessidade de uma análise específica de cada região/local quanto a outros parâmetros e características não contemplados neste estudo. Essa informação é essencial para auxiliar os responsáveis técnicos no planejamento e tomada de decisão quanto à viabilidade dos projetos.

Palavras-chave: análise multicritério, Política Nacional de Irrigação, projetos de irrigação, sensoriamento remoto.

Development of an indicator for irrigation infrastructure in Brazil

Abstract – The sustainability of Brazilian irrigated agriculture is grounded in well-structured irrigation projects, which are guided by the National Irrigation Policy. One of the initial steps is an in-depth analysis of the available irrigation infrastructure and the identification of its limitations. In this context, this study proposes an integrated analysis of the factors associated with irrigation infrastructure using georeferenced data, aiming to promote irrigation and the management of irrigation projects. Thus, the objective of this study was to develop an indicator for analyzing irrigation infrastructure in Brazil, employing a multicriteria approach based on georeferenced data. The irrigation infrastructure analysis indicator (IAI) was developed based on practical criteria related to the available infrastructure. The parameters used to create the IAI were: Water Resources, Electrical Energy, Roads, Soil, and Slope. To visualize the IAI, an interactive map of irrigation infrastructure suitability was developed in a GIS environment, enabling an integrated approach that generated a synthesis map, with the results presented in five suitability classes. Based on the IAI results, Brazil had an average IAI value of 7.125, indicating that infrastructure resources are available, with only minor structural adjustments needed for implementing an irrigation project. However, it is important to emphasize the need for specific analyses of each region or location concerning other parameters and characteristics not addressed in this study. This information is essential to assist technical professionals in planning and decision-making regarding project feasibility, thereby promoting Brazilian irrigated agriculture.

Keywords: multicriteria analysis, National Irrigation Policy, irrigation projects, remote sensing.

Introdução

A irrigação desempenha um papel crucial na agricultura, assegurando a produção mesmo em períodos de condições meteorológicas desfavoráveis, principalmente associadas a baixos volumes de chuva. Em regiões semiáridas, onde o cenário é ainda mais desfavorável em termos de disponibilidade de chuvas, a irrigação se torna primordial. Ferreira & Vieira Filho (2021), avaliando o efeito da irrigação na região nordeste, especialmente nos perímetros irrigados, sobre o valor produzido da fruticultura, apontaram um retorno positivo de R\$ 12,89 para cada real investido, justificando até mesmo o investimento público na política de irrigação. Isso se torna relevante em um cenário climático cada vez mais desafiador, com variações significativas e impactos na temperatura e no regime de chuvas. Nesse sentido, a irrigação emerge como uma das principais tecnologias de adaptação, contribuindo para atenuar as incertezas climáticas e garantir estabilidade na produção agrícola (Rocha & Christofidis, 2015; Rodrigues, 2022).

Em 2021, o Brasil destacou-se como o sexto maior país em termos de superfície irrigada, abrangendo aproximadamente 8,2 milhões de hectares (ANA, 2021). Estudos estimam que o Brasil poderá ampliar sua área de irrigação em 4,2 milhões de hectares até 2040, o que evidencia um desafio futuro para a gestão sustentável dos recursos hídricos

(ANA, 2021). Observa-se uma crescente demanda por água projetada para o futuro, impulsionada pela necessidade expandida de produção de alimentos e pelo aumento das áreas destinadas à agricultura irrigada.

Para garantir a sustentabilidade da agricultura irrigada, é crucial implementar estratégias que visem ao aprimoramento da implantação de projetos de irrigação bem estruturados, que possibilitem maior eficiência no uso da água. Assim, a otimização da eficiência hídrica pode ser alcançada por meio de ajustes na infraestrutura, do refinamento dos métodos de manejo e da adoção de técnicas que aumentem a eficiência no uso da água (Rocha & Christofidis, 2015; Testezlaf, 2017). A adoção de práticas de irrigação eficientes é fundamental para que o Brasil enfrente a variabilidade climática e explore o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil. Essa expansão deve, contudo, considerar rigorosamente as restrições de recursos hídricos e a necessidade de uma gestão eficaz dos projetos (Testezlaf, 2017). Investir em projetos de irrigação pode trazer resultados positivos quanto ao aumento da renda e do emprego em regiões carentes e pobres. Áreas do Nordeste, com o uso da irrigação, transformaram a falta de chuva em uma vantagem, permitindo o controle de variáveis, como o escalonamento da colheita durante todo o ano (Vieira Filho, 2019).

No contexto mundial, o Brasil se destaca como um dos poucos países com capacidade sustentável para triplicar sua área irrigada. O País possui um potencial significativo para expandir sua área irrigada, mas tal potencial enfrenta desafios consideráveis (Rodrigues, 2022). Os entraves para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Brasil não são predominantemente de natureza tecnológica e não dependem exclusivamente do irrigante para sua resolução. Um dos grandes desafios está relacionado à infraestrutura, especialmente aquela relacionada à disponibilidade de recursos hídricos, associado aos conflitos pelo uso da água, a limitações na expansão da capacidade de reservação de água, à legislação ambiental restritiva e ao aumento dos custos de água, energia e outros insumos.

Para superar esses desafios e fomentar a irrigação no Brasil, este estudo propõe uma análise integrada da infraestrutura. Essa análise será baseada em dados georreferenciados de todo o território nacional. Isso é essencial para promover a irrigação de forma sustentável e viabilizar de forma criteriosa sua expansão. Para isso, torna-se importante o uso de uma abordagem multicritério associada ao uso de geotecnologias.

O uso e desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se tornou importante como uma ferramenta de gestão de informações georreferenciadas, oferecendo alternativas para o planejamento e a modelagem de diferentes aspectos da agricultura brasileira (Rocha et al., 2015; Xavier et al., 2021). O SIG permite a criação e a manipulação de diversas camadas de dados espaciais, facilitando a modelagem e a análise multicritério dos resultados (Silva & Machado, 2014; Barros et al., 2019). A análise multicritério avalia e combina diversas características e informações espaciais, aplicando modelos matemáticos para consolidar e sintetizar esses dados em um resultado unificado (Belton & Stewart, 2002; Silva & Machado, 2014). Neste trabalho, essa abordagem foi utilizada para o mapeamento de áreas adequadas para irrigação (Martins et al., 2015; Barros et al., 2020; Xavier et al., 2021).

Quando se trata da capacidade de infraestrutura para irrigação, vários são os fatores envolvidos, e isso acaba tornando complexo o entendimento e a tomada de decisão. Nesse caso, a abordagem de análise multicritério surge como uma forma de auxiliar o tomador de decisão. Os especialistas ligados diretamente ao planejamento de irrigação

necessitam de informações de infraestrutura local para avaliar se um projeto pode ser implantado num município ou região de interesse. A análise multicritério permite uma tomada de decisão com maior segurança e assertividade, explicitando e administrando a subjetividade envolvida (Belton & Stewart, 2002). Nesse sentido, os resultados do uso de um indicador de infraestrutura podem apoiar os processos de tomada de decisão relacionados a investimentos, sob a perspectiva de responsabilidade social e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada.

O desenvolvimento e uso de indicadores de infraestrutura para irrigação tornaram-se uma necessidade frequente para justificar demandas de recursos para projetos específicos, bem como para auxiliar nos processos de tomada de decisão relacionados a investimentos, como as carteiras de projetos de irrigação. Os indicadores fornecem insumos básicos para diagnosticar dimensões específicas da realidade local (Jannuzzi, 2014; Pimenta et al., 2019). Para garantir que as decisões estejam alinhadas com a realidade local, geralmente é exigida a avaliação de critérios que representam parâmetros espaciais.

Considerando-se a grande diversidade climática e de recursos naturais do Brasil, torna-se importante integrar as informações geoespaciais e disponibilizar de forma simples os resultados sobre áreas agrícolas com infraestrutura disponível para irrigação, bem como as áreas com limitações de infraestrutura. Tais informações são fundamentais para definições de demandas e construção de políticas públicas para otimizar e expandir a agricultura irrigada no Brasil. Essa perspectiva é contemplada pela Política Nacional de Irrigação, instituída pela Lei n. 12.787/2013, que visa promover a irrigação e a gestão de projetos de irrigação (Brasil, 2019). Além disso, uma das principais diretrizes dessa política está fundamentada na eficiência no uso de recursos hídricos, bem como no uso de estratégias para o desenvolvimento dos sistemas de irrigação, em termos do aumento da produtividade, de forma sustentável, considerando-se os aspectos econômico, social e ambiental (Brasil, 2019).

Mediante a demanda crescente de alimentos e a constante busca pelo aumento da produtividade, torna-se necessária a expansão da área irrigada para garantir o potencial produtivo das culturas, bem como minimizar os efeitos negativos das secas e ondas de calor que têm impactado significativa-

mente a agricultura brasileira. Para a implantação de novos projetos de irrigação, o primeiro fator a ser considerado se refere à capacidade de infraestrutura disponível no local, como condições de disponibilidade de energia elétrica, proximidade de malha viária, condições do solo e declividade, bem como disponibilidade de recurso hídrico. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver um indicador para a análise de infraestrutura de irrigação no território brasileiro, utilizando uma abordagem multicritério baseada em dados georreferenciados.

Metodologia

Indicador para análise de infraestrutura de irrigação

Um dos instrumentos previstos na Política Nacional de Irrigação é o Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação (SisNIR)¹, de responsabilidade do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). Esse sistema está em desenvolvimento por meio de uma parceria entre o MIDR e a Universidade Federal de Lavras (Ufla). Um dos principais objetivos do SisNIR é fornecer subsídios para o planejamento da expansão da agricultura irrigada. Nesse contexto, um dos principais desafios dos analistas do ministério é analisar a viabilidade de determinadas regiões para a implantação de novos projetos de irrigação.

O indicador para a análise de infraestrutura de irrigação (IAI) foi desenvolvido para auxiliar os analistas do MIDR e de outros órgãos, com base em critérios práticos. O IAI leva em consideração diferentes critérios relacionados à infraestrutura disponível no local de interesse, bem como os insumos necessários para irrigação, como o recurso hídrico. O IAI poderá auxiliar os especialistas de diferentes esferas de governo a tomarem boas decisões, tanto no planejamento da implementação de novas áreas de irrigação (projetos públicos de irrigação e novos pólos de irrigação, entre outros) quanto na identificação e definição de fatores que prejudicam a implantação de um projeto.

O IAI foi desenvolvido com base em cinco critérios, e cada um deles foi considerado um indicador específico. Seu resultado final foi obtido via análise multicritério (soma dos pesos dos indicadores).

A definição da escolha dos critérios dependeu de dois fatores específicos: 1) importância do indicador na área de irrigação e, nesse ponto, destaca-se a importância da infraestrutura para a implantação da irrigação e também como insumo necessário; 2) disponibilidade de dados e informações georreferenciadas em âmbito nacional. Nesse sentido, foram empregados os indicadores cuja base de dados necessária para o cálculo e definição dos indicadores estivesse disponível e fosse de livre acesso.

Depois da escolha dos indicadores, fez-se um estudo detalhado sobre cada indicador, para determinar as classes de prioridade de cada critério. Para isso, foram definidos intervalos abertos e, para o cálculo, considerou-se a média da classe.

Cinco classes de prioridades foram determinadas: muito baixa (0,2 – 0), baixa (0,4 – 0,2), média (0,6 – 0,4), alta (0,8 – 0,6) e muito alta (1,0 – 0,8). Essas classes representam o nível de infraestrutura disponível para irrigação em determinado local. Quanto mais próximo de 1,0, maior a disponibilidade de infraestrutura; quanto mais próximo de 0, menor a disponibilidade. Essa definição foi feita para cada critério específico e está detalhada adiante.

Metodologia para desenvolvimento e cálculo do indicador

Este estudo adota uma abordagem quantitativa, caracterizada por uma análise em larga escala e de natureza exploratória e descritiva. A execução envolveu uma sequência lógica de atividades: i) análise e obtenção do banco de dados georreferenciados de cada critério; ii) avaliação e definição da abordagem a ser utilizada – foi definido, neste caso, como mais apropriado, o uso da análise multicritérios; iii) definição dos pesos, de cada critério, para compor o indicador; iv) cálculo do indicador pela análise ponderada, considerando os cinco critérios e seus referidos pesos; e v) geração de dados georreferenciados com o resultado do indicador para todo o território brasileiro.

Banco de dados

A base de dados do SisNIR foi construída a partir de dados georreferenciados de diferentes fontes (Tabela 1). Tais informações estão disponíveis nos sites de cada órgão e são informações de livre acesso.

¹ Disponível em <<https://sisnir.mdr.gov.br>>.

Tabela 1. Base de dados e fonte das informações de cada parâmetro utilizado no estudo.

Dado	Área temática	Fonte	Resumo
Cursos d'água	Recursos hídricos	Agência Nacional de Água (ANA)	Cursos d'água são corpos naturais de água em movimento, como rios, riachos, córregos e canais, que fluem continuamente ou intermitentemente através de leitos ou canais definidos
Redes de transmissão – Linhas de transmissão	Energia	Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	Linhas de transmissão de energia em operação no País
Rodovias	Transporte	Ministério da Infraestrutura	Base de infraestrutura de transporte – Rodovias
Teor de argila	Solo	Embrapa	Teor de argila na camada de 0 – 60 cm dos solos do Brasil
Mapa de declividade (Classes de aptidão agrícola)	Solo	Serviço Geológico do Brasil (CPRM)	Base de declividade

Análise multicritério e ponderação dos fatores

A abordagem de análise multicritério tem sido utilizada no apoio à tomada de decisão em diversas áreas (Longaray et al., 2016). O uso dessa abordagem se deve à complexidade dos dados abordados e da quantidade de informações geradas. Belton & Stewart (2002) conceituam os métodos de análise multicritério de decisão (AMD) como ferramentas científicas que fornecem apoio ao processo de tomada de decisão em contextos complexos, caracterizados pela presença de múltiplos objetivos. De maneira abrangente, isso é alcançado por meio da decomposição dos objetivos em critérios, aos quais são atribuídos valores de importância, e pela avaliação das alternativas de decisão em relação a cada um dos critérios estabelecidos.

Neste estudo, foram empregadas informações de diferentes naturezas, o que, consequentemente, para a integração de diferentes informações, torna-se necessária a normalização dos dados, também chamada de ponderação dos

fatores. Essa normalização se refere a uma escala comum, com variação de 0 a 1, no formato matricial (*raster*), o que permitiu a aplicação de operações matemáticas entre eles. Por se tratar de dados qualitativos, a normalização foi feita de acordo com a metodologia proposta por Saaty (1980), via Analytic Hierarchy Process (AHP). Esse método permite lidar com o intuitivo, o racional e o irracional, ao mesmo tempo, em tomadas de decisão. É um método que permite integrar percepções e propósitos em uma síntese geral (Santos & Cruz, 2013).

Os julgamentos de comparação de pares na escala da AHP para a tomada de decisão variam de 0 a 1 (Tabela 2).

Considerou-se que os fatores apresentaram uma importância diferenciada diante do objetivo do trabalho. Assim, por se tratar de um indicador composto por mais de um parâmetro, fez-se uma média ponderada, em que os pesos, de 0 a 100, foram atribuídos. Para a definição dos pesos de cada parâmetro, foi adotada a metodologia AHP, considerando-se a matriz de comparação pareada (Tabela 3).

Tabela 2. Parâmetros relacionados à infraestrutura para irrigação.

Parâmetro	Classe				
	Muito alta (1 – 0,8)	Alta (0,8 – 0,6)	Média (0,6 – 0,4)	Baixa (0,4 – 0,2)	Muito baixa (0,2 – 0)
Distância da captação de água	< 2 km	2 – 5 km	5 – 10 km	10 – 20 km	> 20 km
Declividade do relevo	0 – 3%	3 – 8%	8 – 20%	20 – 45%	> 45%
Teor de argila	35 – 60%	> 60%	25 – 35%	15 – 25%	< 15%
Distância da rede de energia elétrica	< 2 km	2 – 5 km	5 – 10 km	10 – 20 km	> 20 km
Distância da rodovia	< 5 km	5 – 10 km	10 – 20 km	20 – 30 km	> 30 km

Tabela 3. Ponderação dos parâmetros utilizados no estudo.

Parâmetro	Importância (%)
Distância da captação de água	30
Declividade do relevo	20
Teor de argila	15
Distância da rede de energia elétrica	25
Distância da rodovia	10

O cálculo do indicador é dado por

$$IAI = ((IEE \times 25) + (IRH \times 30) + (IR \times 10) + (IS \times 15) + (ID \times 20))/100$$

IAI – indicador para análise de infraestrutura para irrigação.

IEE – indicador de disponibilidade de energia elétrica.

IRH – indicador de disponibilidade de recurso hídrico.

IR – indicador de disponibilidade de rodovia.

IS – indicador de aptidão do uso do solo para irrigação.

ID – indicador de aptidão da irrigação conforme a declividade do relevo.

A Tabela 4 mostra um resumo das considerações e recomendações para as classes (com base exclusivamente no fator infraestrutura), multiplicadas por dez, para facilitar a interpretação. Com base no

valor do IAI, será possível avaliar o esforço para instalar um projeto de irrigação em determinado local. Em uma classe muito alta, o esforço será mínimo; já em uma classe muito baixa, o esforço será significativo, e, em determinadas situações, inviável.

Georreferenciamento do indicador

Para a exibição dos dados do indicador, foi desenvolvido um mapa interativo de aptidão de infraestrutura para irrigação, gerado em ambiente SIG, abordando a análise multicritério, que permitiu a integração dos cinco parâmetros para gerar um mapa síntese. Nesse procedimento, foi utilizado o grau de pertinência de cada parâmetro e seu respectivo peso para a construção do resultado final. O cálculo empregado foi a média ponderada, descrita anteriormente, entre as notas de cada parâmetro. O resultado final é obtido através do valor do indicador, que representa a informação do pixel, na resolução espacial de 90 m. Os dados georreferenciados, com o resultado dos cálculos do indicador para todo o território brasileiro, foram incluídos no GeoSisNIR², um dos módulos funcionais do sistema SisNIR.

Fonte de dados e detalhamento dos parâmetros

Os parâmetros utilizados para a elaboração do IAI foram estes: recurso hídrico, energia elétrica, rodovia, solo e declividade. Os três parâmetros de infraestrutura (recurso hídrico, energia elétrica e rodovia) foram empregados de forma semelhante,

Tabela 4. Considerações e recomendações sobre as classes do indicador para a análise de infraestrutura de irrigação.

Classe do indicador (IAI)	Consideração/recomendação
Muito alta (10 – 8)	Todos os recursos de infraestrutura estão facilmente disponíveis, sendo necessário pouco esforço para a implantação de um projeto de irrigação. É a situação referência para implantação de projetos de irrigação
Alta (8 – 6)	Os recursos de infraestrutura estão disponíveis, sendo necessários pequenos ajustes estruturais para a implantação de um projeto de irrigação. O local apresenta ótima capacidade de infraestrutura para irrigação
Média (6 – 4)	Alguns recursos de infraestrutura não estão disponíveis, e um ou mais parâmetros necessitam de análise específica e ajuste para a implantação de um projeto de irrigação. O local apresenta boa capacidade de infraestrutura para irrigação
Baixa (4 – 2)	Grande parte dos recursos de infraestrutura não estão disponíveis, sendo necessário um grande esforço para a implantação de um projeto de irrigação. O local apresenta baixa capacidade de infraestrutura para irrigação
Muito baixa (2 – 0)	Os recursos de infraestrutura não estão disponíveis, exigindo análise profunda de cada parâmetro e esforço muito grande no sentido estrutural. O local não apresenta capacidade de infraestrutura para irrigação

² Disponível em <<https://geosisnir.mdr.gov.br/geosisnir>>.

tendo em vista a distância do recurso até o local a ser irrigado. Essa metodologia está relacionada ao esforço e custo para a obtenção do recurso – água, energia ou rodovia. Os parâmetros representam a disponibilidade, ou não, do recurso e indicam se o empreendimento é viável. Já os demais parâmetros (solo e a declividade) apresentam um aspecto técnico qualitativo na definição da potencialidade do local para uso da irrigação. Relacionam-se à qualidade do solo e do relevo, uma vez que, dificilmente, esses indicadores são limitantes para a irrigação.

Recurso hídrico

Esse parâmetro está relacionado à distância de captação de água, ou seja, ao investimento necessário para a obtenção do recurso hídrico para a irrigação. De modo simples, quanto mais distante a fonte de água do empreendimento, maior será o custo e esforço associados. Nesse caso, considera-se a distância entre a fonte de água superficial disponível (cursos d'água) e o local do empreendimento. Cursos d'água são corpos naturais de água em movimento, como rios, riachos, córregos e canais, que fluem contínua ou intermitentemente através de leitos ou canais definidos.

A água é o insumo mais importante da irrigação. Fez-se a quantificação do esforço necessário para sua obtenção através de escalas de distância. Essa metodologia já foi utilizada em outros estudos sobre a viabilidade de projetos de irrigação (Frizzone & Andrade Júnior, 2005). As escalas empregadas neste estudo foram ajustadas para uma maior representatividade em âmbito nacional. A base de dados empregada foi a da Agência Nacional de Água (ANA), representada pelo mapeamento dos cursos d'água disponíveis no Brasil. Não foi considerada no indicador a possibilidade de captação de água subterrânea. A disponibilidade de dados a esse respeito ainda é insuficiente.

Energia elétrica

Tal parâmetro é caracterizado pela disponibilidade de energia elétrica e pela distância da rede de energia elétrica até o local da irrigação. A estrutura de energia foi compilada a partir do banco de dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através da rede e linhas de transmissão em operação no Brasil. Diferentes escalas de distâncias, com base em estudos que avaliaram a relação entre a distância da rede de energia elétrica e o local a ser irrigado,

foram utilizadas (Frizzone et al., 1994; Alves Júnior et al., 2004; Monteiro et al., 2007).

Esse parâmetro é fundamental no planejamento, pois grande parte dos projetos de irrigação utiliza energia elétrica para seu funcionamento, tanto na captação de água quanto no próprio manejo. Isso se torna relevante porque as demais fontes de energia, como o diesel e a energia solar, são de custo elevado – a energia solar possui também limitações quanto à capacidade de armazenamento.

Rodovia

Parâmetro associado à infraestrutura de transporte, foi considerado neste estudo por estar relacionado ao escoamento da produção gerada pela agricultura irrigada. A irrigação possibilita maior segurança na produção de alimentos e, consequentemente, maior produção agrícola, o que gera forte demanda pelos meios de transporte eficientes para seu escoamento. Considerou-se apenas o transporte rodoviário, através da base de infraestrutura de transporte vinculada ao Ministério de Infraestrutura. Quanto mais próxima é a área irrigada da rodovia, menor é o esforço para o escoamento da produção.

De acordo com Borghetti et al. (2017), uma infraestrutura de transporte apropriada é fundamental no processo de planejamento e definição de áreas para o estabelecimento da agricultura irrigada.

Solo

A base de dados para o parâmetro solo foi retirada do documento desenvolvido pela Embrapa em 2020, que desenvolveu o estudo *Valores e critérios estabelecidos dos parâmetros relacionados ao solo e à qualidade e custo de captação da água para irrigação*. As informações foram utilizadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI). O critério adotado neste estudo foi o teor de argila, representando a textura dos solos e sua aptidão agrícola. A textura do solo se refere à distribuição das partículas em sua massa, de acordo com o tamanho. É uma propriedade física do solo que permanece relativamente constante ao longo do tempo. Esse fator é crucial para a irrigação, pois afeta diretamente a taxa de infiltração de água, a aeração do solo, a condutividade hidráulica, a capacidade de retenção de água, a retenção de

cátions trocáveis e a coesão das partículas do solo (Karlen et al., 2001; Vezzani, 2001).

Neste trabalho, o resultado do processamento é um modelo de aptidão agrícola em formato matricial (*raster*), para todo o território brasileiro, que se traduz em um índice que varia de 0 (baixa aptidão) a 1 (alta aptidão). O teor de argila (A) da camada 0–60 cm foi classificado a partir da adaptação do grupamento textural do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, que também é utilizado na metodologia de avaliação da aptidão agrícola de terras: $35\% \leq A < 60\%$: muito alta aptidão; $A \geq 60\%$: alta aptidão; $25\% \leq A < 35\%$: média aptidão; $15\% \leq A < 25\%$: baixa aptidão; $A < 15\%$: muito baixa aptidão.

De maneira geral, no índice de qualidade do solo do modelo de aptidão, solos argilosos são considerados de melhor qualidade do que solos arenosos, enquanto os de textura média são vistos como intermediários. No entanto, solos com teores extremamente altos de argila também são classificados como intermediários, por causa da possível suscetibilidade à compactação quando mal manejados e da dificuldade de mecanização decorrente de sua elevada plasticidade e pegajosidade.

Declividade

A base de dados para a declividade foi obtida no Serviço Geológico do Brasil. A declividade ou gradiente do terreno pode influenciar os sistemas de irrigação de várias maneiras, sendo mais importante no sistema de irrigação por superfície. Ela pode afetar a distribuição da água aplicada e causar erosão, dependendo da textura do solo. Essa variável impacta os custos de instalação, especialmente dos sistemas por gravidade ou sulco, podendo torná-los inviáveis.

A declividade é uma informação relevante sobre a condição da topografia e seu impacto sobre a aptidão ao uso da irrigação. São estas as condições de aptidão agrícola quanto à declividade: muito alta (0–3%); alta (3%–8%); média (8%–20%); baixa (20%–45%) e muito baixa (> 45%). Conforme a declividade, o relevo se classifica com a seguir:

- a) Plano (0 a 3%) – superfície suavemente inclinada, ou horizontal, com pequenas variações de altitude.
- b) Suavemente ondulado (3% a 8%) – superfície levemente inclinada, composta por

um conjunto de colinas ou pequenas elevações (altitudes relativas de até 50 m e de 50 m a 100 m, respectivamente), caracterizada por declives suaves.

- c) Ondulado (8% a 20%) – superfície moderadamente inclinada, formada por um conjunto de colinas ou elevações, com declives moderados.
- d) Fortemente ondulado (20% a 45%) – superfície bastante acidentada, composta de elevações como morros e colinas, caracterizada por declives íngremes.
- e) Montanhoso e escarpado (> 45%) – superfície muito íngreme, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas de morros, montanhas e maciços montanhosos, com desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes.

Resultados e discussão

Com os mapas gerados e o indicador para a análise do potencial de infraestrutura de irrigação calculado, foram validados os dados em áreas irrigadas e, em nível geral, em todo o território brasileiro. Para isso, fez-se uma análise estatística descritiva dos resultados. Foram considerados os dados de áreas de arroz irrigado, áreas com pivô central e áreas com outorgas de água para irrigação. O IAI foi calculado individualmente para cada mapa.

As principais contribuições deste trabalho são a modelagem, o cálculo dos valores do indicador e a implementação de um sistema web para visualização dos resultados. O IAI está disponível na plataforma GeoSisNIR (Figura 1).

Além do indicador, a plataforma exibe inúmeras camadas de dados georreferenciados referentes à agricultura irrigada brasileira. Depois de selecionada a camada do IAI, será possível navegar em todo o território nacional para consultar o valor do indicador em cada ponto do mapa. O usuário poderá buscar a área de interesse e, então, clicar em uma posição no mapa. Em resposta, a aplicação exibirá os resultados do indicador, bem como de cada um dos parâmetros, de forma isolada.

Por exemplo, se o valor do indicador for de 6,5, ou seja, alta aptidão, em que os recursos de infraestrutura estão disponíveis, seriam necessários pequenos ajustes estruturais para a implantação de

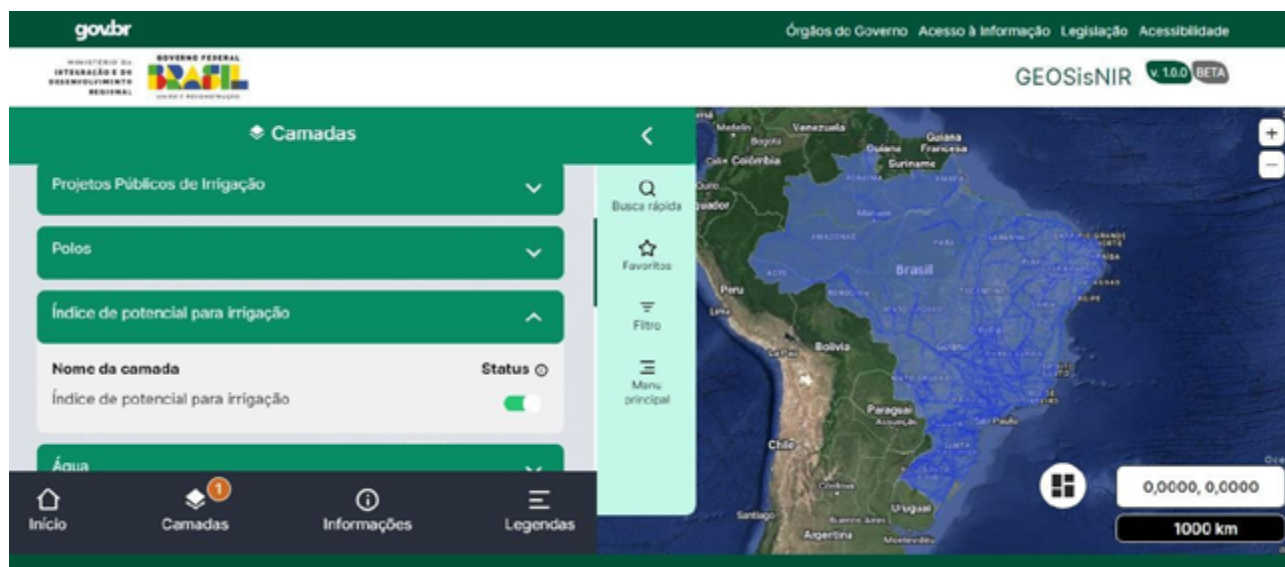


Figura 1. Tela inicial da plataforma GeoSisNIR com a camada do indicador de potencial para irrigação ativada.

um projeto de irrigação. A Tabela 4 mostra as informações e recomendações sobre as classes do IAI.

Com o resultado, foi possível fazer uma análise mais detalhada do impacto de cada parâmetro sobre o indicador. Nesse caso, os parâmetros que mais contribuíram positivamente foram a disponibilidade de recurso hídrico e a declividade do relevo, enquanto a disponibilidade de energia elétrica e a aptidão do solo influenciaram negativamente o indicador.

Os resultados fornecidos pelo IAI possibilitam duas formas de análise. A primeira é através do próprio valor do indicador, já que é possível identificar e visualizar de forma mais ampla e generalista a aptidão da região em estudo quanto à disponibilidade de infraestrutura para irrigação. Já a segunda forma se refere ao impacto de cada parâmetro sobre o indicador, permitindo, assim, uma análise mais detalhada da aptidão da região, bem como a visualização do parâmetro através da camada de dados georreferenciados correspondente a esse parâmetro, que também está disponível na plataforma. Por exemplo, se o fator limitante é a disponibilidade de energia, é possível habilitar no sistema a camada de dados sobre a localização de subestações e linhas de transmissão, para entender melhor o cenário. Essa análise detalhada pode direcionar o usuário aos principais pontos fortes e fracos da região, indicando quais parâmetros merecem maior atenção e, talvez, maior investimento para adequação e otimização da agricultura irrigada.

De acordo com Sparovek et al. (2014), a análise integrada de diferentes informações é fundamental para um planejamento adequado sobre novos investimentos de irrigação no Brasil, sendo merecedoras de destaque aquelas relacionadas à infraestrutura. Maule (2020) identificou uma limitação muito grande na cobertura de sinal de telefonia móvel de banda larga (4G), de modo que apenas 5% dos pivôs centrais hoje poderiam ser automatizados remotamente.

A Figura 2 mostra os valores resultantes do cálculo do indicador em gradiente de tonalidade azul. Quanto mais próximo de zero, mais claro e transparente, e, quanto mais próximo de 10, mais escuro e denso. Um clique nas coordenadas alvo abrirá um informativo do valor do próprio IAI e dos valores de cada um dos parâmetros.

Com o desenvolvimento do indicador e a geração do mapa interativo, foi possível fazer uma verificação e validação dos resultados. Para isso, foi analisada o desempenho do indicador em diferentes áreas irrigadas no Brasil. A Figura 3 mostra a base de dados do IAI, em que os tons de vermelho significam alto potencial e os valores em azul, baixo potencial (vermelho > verde > azul). Nota-se que os tons de vermelho estão relacionados aos cursos d'água, o que justifica a importância dada ao recurso hídrico e a relevância da disponibilidade hídrica em projetos de irrigação.

Na Figura 4, foram incluídos os dados referentes às áreas de arroz irrigado (pontos roxos) e as áreas com pivô central (pontos azuis). A Figura 5



Figura 2. Visualização da camada do indicador para análise do potencial de infraestrutura de irrigação ativada na plataforma GeoSisNIR.

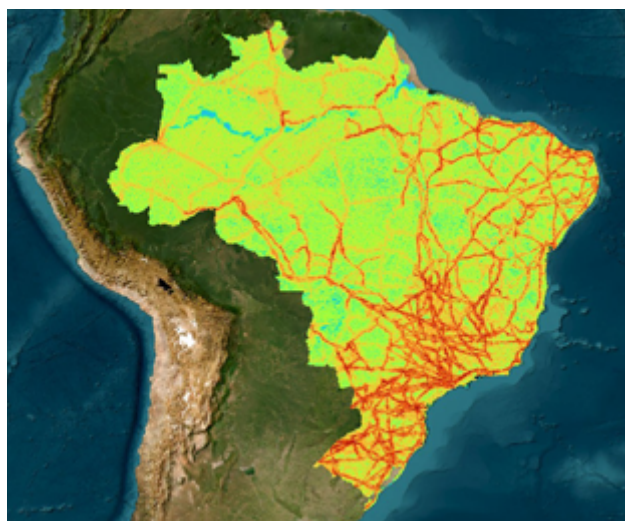


Figura 3. Indicador para análise do potencial de infraestrutura de irrigação no território brasileiro.

mostra os pontos de outorga para captação de água para irrigação. A maior densidade de pontos está, principalmente, nas áreas onde há os maiores tons de vermelho, que indicam alto potencial de infraestrutura. Esse resultado é comprovado pela análise estatística descritiva (Tabela 5). Os dados referentes ao IAI foram aplicados nas diferentes áreas irrigadas (arroz irrigado, áreas com pivô central e área com outorga de água para irrigação) em todo o território nacional.

A terceira coluna da Tabela 5 mostra que, independentemente da área irrigada, os valores do

indicador ficaram próximos de 7,0, o que revela que, mesmo em áreas irrigadas, há desafios relacionados à infraestrutura. Ou seja, um ou mais dos parâmetros considerados no estudo podem estar afetando negativamente o resultado do indicador.

Nesse sentido, o indicador pode ser aplicado também para identificar quais parâmetros podem estar limitando a infraestrutura - a distância entre as áreas irrigadas e as rodovias ou a disponibilidade de linhas de transmissão de energia elétrica, por exemplo. Algumas regiões irrigadas, cujo acesso à energia elétrica é difícil, fazem uso de outras fontes de energia, como o diesel. Isso aumenta os custos da irrigação (Berwanger et al., 2024; Daga, 2024).

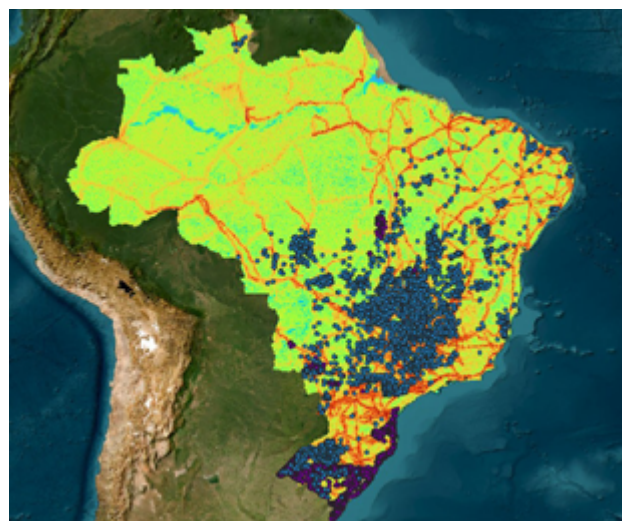


Figura 4. Distribuição das áreas irrigadas no Brasil.

Nota: os pontos roxos representam as áreas de arroz irrigadas; os pontos azuis, as áreas com pivô central.

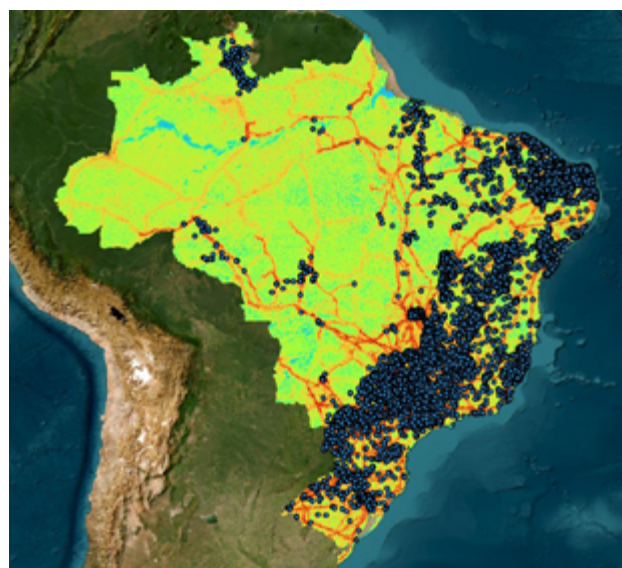


Figura 5. Distribuição dos pontos de outorga para captação de água para irrigação.

Tabela 5. Análise estatística descritiva do indicador para análise do potencial de infraestrutura para irrigação aplicado nas diferentes áreas irrigadas e em todo território nacional.

Estatística	Contagem	Média	Mediana	Desvio padrão	Minoria	Maioria	Variabilidade	Q1	Q3	IQR
Arroz irrigado	38.872	7,160	7,125	1,209	3,250	6,750	5,700	6,250	8,000	1,750
Pivôs centrais	24.081	7,068	7,000	1,160	3,750	6,500	5,100	6,250	7,875	1,625
Outorgas para irrigação	26.616	6,980	7,000	1,202	3,000	7,375	5,700	6,125	7,875	1,750
Brasil – geral	62.953	7,125	7,125	1,191	3,250	6,750	5,800	6,250	8,000	1,750

De modo geral, para o território nacional, foi de 7,125 o valor médio do IAI. Esse valor pertence à classe de alta aptidão, em que os recursos de infraestrutura estão disponíveis, sendo necessários pequenos ajustes estruturais para a implantação de um projeto. Isso revela que grande parte do território brasileiro possui boas condições de infraestrutura para irrigação, principalmente quando considerados os cinco parâmetros (água, energia elétrica, rodovia, solo e declividade). A disponibilidade e o acesso à água merecem atenção especial. Além da importância da água como um insumo direto na irrigação, a grande instabilidade climática tem gerado incertezas quanto ao seu armazenamento e disponibilidade.

Os resultados deste estudo estão de acordo com os levantamentos recentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021). O Brasil possui uma área adicional irrigável total de 55,85 milhões de hectares, com 26,69 milhões de hectares sobre áreas agrícolas de sequeiro, 26,73 milhões sobre áreas de pastagens e 2,43 milhões sobre áreas agropecuárias sem disponibilidade hídrica superficial, mas com disponibilidade subterrânea (ANA, 2021). No entanto, apesar da área expressiva em números absolutos, só 22% do total da área agricultável no País pode ser irrigada, por conta de limitações na disponibilidade hídrica dos mananciais locais (ANA, 2021).

O Brasil possui potencial de expansão concentrado em algumas regiões, principalmente no Centro-Oeste (45%), Sul (31%) e Sudeste (19%), que contribuem com 95% da área potencial irrigável efetiva, que é de 13,7 milhões de hectares (ANA, 2021). Entre os principais destaques pelo crescimento da área irrigada nos últimos anos estão Bahia, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Esses resultados estão de acordo com as Figuras 4 e 5, uma vez que a maior densidade de pivô central e a de outorga para captação de água para irrigação estão exatamente nessas regiões.

Muitas pesquisas revelam que o Brasil possui um potencial muito grande de expansão da agricultura irrigada, mas a expansão de forma adequada requer análise detalhada e avanço significativo em termos de infraestrutura, especialmente em obras de infraestrutura hídrica e energética (Sparovek et al., 2014; Assunção, 2017; Levantamento..., 2019; Ferreira & Vieira Filho, 2021). Uma região de grande potencial para alavancar a agricultura irrigada é o Semiárido brasileiro, e a busca de informações relacionadas à infraestrutura para a região será fundamental para dar o suporte necessário aos interessados em instalar projetos de irrigação nesse território (Vieira Filho, 2019; Ferreira & Vieira Filho, 2021).

Mesmo com bons resultados, o IAI revela algumas fragilidades quanto a sua ampla utilização. Um dos principais aspectos está relacionado à falta de informação sobre a cobertura do terreno, ou seja, o tipo de cultura ou vegetação. Além disso, ele não considera aspectos ambientais e socioeconômicos da região. Não foram encontrados dados georreferenciados sobre esses parâmetros em escala compatível para todo o território nacional. Outro complicador, nesse caso, é o fato de as informações e legislações ambientais variarem entre municípios e estados. Entretanto, o indicador desenvolvido neste estudo, com foco principal na infraestrutura para irrigação, pode ser aplicado de forma geoespacializada.

Um dos principais aspectos positivos, e que torna o indicador importante para a agricultura irrigada brasileira, se refere à geoespacialização da informação. Com apenas um clique no mapa, o usuário consegue obter informações sobre a aptidão do local quanto à infraestrutura disponível. A facilidade em manipular o mapa e as camadas de cada parâmetro são essenciais para qualquer usuário. Os mapas interativos possibilitam uma análise dinâmica e rápida, auxiliando os especialistas do MIDR na verificação e análise da infraestrutura para uso da irrigação em

determinado local, com base em critérios práticos relacionados à infraestrutura disponível. Os resultados são importantes para definições de demandas e geração de políticas públicas para otimizar e expandir a agricultura irrigada no Brasil.

As informações geradas podem servir de base para auxiliar não só os especialistas do MIDR, mas outros interessados – empresas do agronegócio, fornecedores, prestadores de serviços e produtores irrigantes – a tomar as melhores decisões quanto ao planejamento de implementação de novas áreas de irrigação e a identificar fatores que podem prejudicar a viabilidade de um projeto.

Considerações finais

Os resultados deste estudo revelam que a abordagem multicritérios possibilitou o desenvolvimento de um indicador para a análise de infraestrutura de irrigação (IAI), de forma geoespacializada em todo o território brasileiro, o qual indica as áreas com maior e menor disponibilidade de recursos de infraestrutura para implantação de um projeto de irrigação. Essa informação é essencial para auxiliar os responsáveis técnicos no planejamento e tomada de decisão quanto à viabilidade dos projetos, bem como na identificação dos fatores limitantes.

O valor médio do IAI para o Brasil foi de 7,125, o que indica que os recursos de infraestrutura estão disponíveis, sendo necessário pequenos ajustes estruturais para a implantação de um projeto de irrigação. No entanto, é importante destacar a necessidade de uma análise específica de cada região/local quanto a outros parâmetros e características que não foram contempladas neste estudo.

A metodologia se mostrou satisfatória para o estudo em questão, em termos de identificação de áreas para investimentos em irrigação, o que está em consonância com os objetivos da Política Nacional de Irrigação, que são buscar o alcance do desenvolvimento local e regional, priorizando as regiões de maior vulnerabilidade social. Considera-se, dessa forma, que os resultados contribuem para subsidiar o processo de tomada de decisão sobre investimentos futuros, dentro da perspectiva da responsabilidade social e do desenvolvimento sustentável, pelo direcionamento das ações às áreas de maior exclusão social.

Estudos futuros e melhorias no indicador IAI são recomendados. Os novos desafios a serem

contemplados se referem à inclusão de informações meteorológicas e sobre a cultura, como precipitação e evapotranspiração da cultura, além do uso de novas metodologias de modelagem, como machine learning, considerando culturas e sistemas de irrigação específicos. Com base na aplicação do sistema e do indicador, a adição de uma funcionalidade com soluções e recomendações seria importante para indicar o que seria necessário para alcançar alta aptidão para a irrigação em determinado local.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro e técnico do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), da Universidade Federal de Lavras e da Agência Ufla de Inovação em Geotecnologias e Sistemas Inteligentes no Agronegócio – Zetta.

Referências

- ALVES JÚNIOR, J.; FIGUEREDO, L.G.M.; COELHO, R.D.; ZOCOLER, J.L. Quanto custa a energia elétrica na irrigação. In: INSTITUTO FNP. **Agrianual 2004**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2004. p.19-22.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2.ed. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ASSUNÇÃO, A.L.C. **Avaliação da disponibilidade de energia elétrica para expansão da área irrigada no Brasil**. 2017. 82p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2018.tde-03052018-103142>.
- BARROS, A.C. de; MINHONI, R.T. de A.; LIMA, A.A. de; BARROS, Z.X. de. Identificação de terras potenciais para irrigação por pivô central mediante técnicas de geoprocessamento. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.32329-32343, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-614>.
- BARROS, A.C. de; TAGLIARINI, F. de S.N.; GARCIA, Y.M.; MINHONI, R.T. de A.; BARROS, Z.X. de; ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento da aptidão agrícola das terras por meio de análise multicritério. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, p.295-304, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17293>.
- BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. New York: Springer Science & Business Media, 2002. 372p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>.
- BERWANGER, D.; HAUPENTHAL, S.W.; SIQUEIRA, J.A.C.; BOAS, M.A.V. Energia solar fotovoltaica autônoma na irrigação por pivô central. **Research, Society and Development**, v.13, e7813746354, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i7.46354>.
- BORGHETTI, J.R.; SILVA, W.L.C.; NOCKO, H.R.; LOYOLA, L.N.; CHIANCA, G.K. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília: FAO, 2017. 243p.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Implementação da Política Nacional de Irrigação apoia o desenvolvimento regional em todo o Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/implementacao-da-politica-nacional-de-irrigacao-apoia-o-desenvolvimento-regional-em-todo-o-brasil>>. Acesso em: 3 dez. 2023.

DAGA, C.J. **Análise de viabilidade financeira do uso de energia fotovoltaica em pivô central**. 2024. 79p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

FERREIRA, Z.R.; VIEIRA FILHO, J.E.R. Irrigação pública e fruticultura no Semiárido. **Revista de Política Agrícola**, ano30, p.34-50, 2021. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1595>>. Acesso em: 4 maio 2025.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. (Ed.). **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626p.

FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FREITAS, H.A.C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô-central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**, v.5, p.34-54, 1994.

JANNUZZI, P. de M. **Indicadores socioeconômicos na gestão pública**. 3.ed. rev. e atual. Florianópolis: UFSC, 2014. 110p.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, v.74, p.1-40, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)74029-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)74029-1).

LEVANTAMENTO da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil. 2.ed. rev. e ampl. Brasília: ANA, 2019. 46p. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-2019/view>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

LONGARAY, A.A.; MUNHOZ, P.R. da S.; TONDOLO, V.A.G.; QUADRO, R.C. Análise multicritério de decisão e sua aplicação na gestão da saúde: uma proposta de revisão sistemática da literatura. **Exacta**, v.14, p.609-618, 2016.

MARTINS, R.N.; CORTE, W.C.; BRANCO NETO, U.G.C.; SANTOS, V.K.S.; NERY, C.V.M. Identificação de áreas aptas a irrigação por pivô central no município de Paracatu-MG utilizando SIG e dados SRTM. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, SOLOS E GEOTECNOLOGIAS, 1., 2015, Uberaba. **Anais**. Uberaba: UFMT, 2015.

MAULE, R.F. **Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas**. 2020. 97p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MONTEIRO, R.O.C.; FERRAZ, P.; COELHO, R.D.; SANTOS, R.A. do. Distância da rede elétrica que viabiliza o uso de motores diesel em áreas irrigadas do Brasil. **Irriga**, v.12, p.263-272, 2007.

PIMENTA, L.B.; BELTRÃO, N.E.S.; GEMAQUE, A.M. da S.; TAVARES, P.A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios

espaciais. **Interações**, v.20, p.407-420, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>.

ROCHA, C.D.T. da; CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela agricultura irrigada. **Revista de Política Agrícola**, ano24, p.117-125, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130611/1/Vantagens-da-opcao.pdf>>. Acesso em: 2 jan. 2024.

ROCHA, D.S. da; PEREIRA, R.S.; TRINDADE, J.P.P.; VOLK, L.B. da S.; PINHO, L.B. de. Aplicação de um sistema WebGIS na agricultura de precisão. **Ciência e Natura**, v.37, p.262-273, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X18160>.

RODRIGUES, L.N. Água: seu papel na agricultura e os desafios na sua gestão. In: INSTITUTO FÓRUM DO FUTURO. **As soluções sustentáveis que vêm dos trópicos**: desenvolver sem desmatar por um novo pacto global do alimento. Juiz de Fora: Garcia, 2022. p.189-198.

SAATY, T.L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p. (Decision Making Series).

SANTOS, L.F.; CRUZ, R.B.C. da. O uso do método AHP na tomada de decisão para seleção de sistemas de lajes de edifícios comerciais. **Engenharia Estudo e Pesquisa**, v.13, p.39-52, 2013.

SILVA, V.C.B.; MACHADO, P. de S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v.31, p.66-87, 2014.

SPAROVEK, G.; DOURADO NETO, D.; BARRETTO, A.G.O.P.; MAULE, R.; ASSUNÇÃO, A.L.C. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Brasília: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura: Ministério da Integração Nacional, 2014. Disponível em: <<http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/02/FEALQ-An%C3%A1lise>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp, 2017. 209p. Disponível em: <https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 183p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. DOI: <https://doi.org/10183/72665>.

VIEIRA FILHO, J.E.R. **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: IPEA, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9507>>. Acesso em: 4 maio 2025.

XAVIER, C.J.; FERREIRA, M.L.; SANTIAGO, W.E.; RODRIGUES, R. de C. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas aptas para implantação de pivôs centrais. **Research, Society and Development**, v.10, e6110817038, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17038>.