DIFUSÃO DE CONHECIMENTO TÉCNICO PARA IRRIGAÇÃO NA CAFEICULTURA: UMA ANÁLISE ESPACIAL DO POTENCIAL DA IRRIGAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS

Dissemination of technical knowledge for irrigated coffee farming: a spatial assessment of irrigation potential in Minas Gerais

Difusión de conocimiento técnico para el café irrigado: una evaluación espacial del potencial de riego en Minas Gerais

DOI: 10.48075/wg7h7r59

Maria Tereza do Prado Rosa
Universidade Federal de Rondonópolis – UFR/Rondonópolis

Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR/Sorocaba

Claudio Eurico Seibert Fernandes da Silva
Universidade Federal de Rondonópolis – UFR/Rondonópolis

DIFUSÃO DE CONHECIMENTO TÉCNICO PARA IRRIGAÇÃO NA CAFEICULTURA: UMA ANÁLISE ESPACIAL DO POTENCIAL DA IRRIGAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS

Dissemination of technical knowledge for irrigated coffee farming: a spatial assessment of irrigation potential in Minas Gerais

Difusión de conocimiento técnico para el café irrigado: una evaluación espacial del potencial de riego en Minas Gerais

Maria Tereza do Prado Rosa[1]
Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini[2]
Claudio Eurico Seibert Fernandes da Silva[3]

Resumo: A presença de escolas agrícolas e órgãos públicos de extensão rural pode exercer papel central na transferência de tecnologias, na capacitação de produtores e na promoção de práticas agrícolas sustentáveis, contribuindo para o enfrentamento de perdas no campo. Assim, o presente estudo tem por objetivo geral investigar se há associação espacial entre a presença de agentes públicos de difusão técnica e a concentração de áreas irrigadas na cafeicultura em Minas Gerais. Para atingir o objetivo proposto utiliza-se da estatística do I de Moran Local (LISA) univariado e levantamento bibliográfico sobre aos órgãos públicos transmissores de conhecimento rural. Os resultados evidenciam regiões de aglomeração local na agricultura irrigada do café como os municípios de Coromandel, Estrela do Sul, Monte Carmelo, Romaria, Patrocínio e municípios com áreas potenciais para avançar a irrigação subutilizadas como é o caso de Abadia dos Dourados, Cascalho Rico, Cruzeiro da Fortaleza, Lagamar, Monte Alegre de Minas, Tupaciguara, Araxá, Guimarânia, Iraí de Minas, Pedrinópolis, Uberlândia. Apesar da rede existente para a extensão rural, a análise sugere que o atual efetivo público de capital humano pode ser insuficiente para impulsionar a expansão sustentável da irrigação, especialmente nas regiões de fronteira identificadas.

Palavras-chave: Extensão rural, áreas potenciais, irrigação.

Abstract: *The presence of agricultural schools and public rural extension agencies can play a central role in technology transfer, producer training, and the promotion of sustainable agricultural practices, contributing to mitigating losses in the field. Thus, the present study has the general objective of investigating whether there is a spatial association between the presence of public technical diffusion agents and the concentration of irrigated areas in coffee farming in Minas Gerais. To achieve this objective, we use univariate Local Moran's I (LISA) statistics and a bibliographic survey of public agencies that transmit rural knowledge. The results highlight regions of local clustering in irrigated coffee agriculture, such as the municipalities of Coromandel, Estrela do Sul, Monte Carmelo, Romaria, Patrocínio, as well as municipalities with potential areas for advancing underutilized irrigation, such as Abadia dos Dourados, Cascalho Rico, Cruzeiro da Fortaleza, Lagamar, Monte Alegre de Minas, Tupaciguara, Araxá, Guimarânia, Iraí de Minas, Pedrinópolis,*

[1] Zootecnista pela Universidade Vila Velha, UVV, Brasil e Economista pela Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). E-mail:maria.tereza@aluno.ufr.edu.br

[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). Pós-Graduada em Controladoria e Finanças na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC) Londrina-PR (2010), com graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual de Londrina - UEL (2008). Professora na Universidade Federal de São Carlos campus de Sorocaba. Experiência na área: Microeconomia e Mercado de Trabalho. Pesquisas nas áreas de Economia Regional, Métodos econométricos e modelos Computacionais de Equilíbrio Geral. E-mail: angel.ferrarini@ufscar.br

[3] Possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Mato Grosso (2013), graduação em Relações Internacionais pelo Centro Universitário Internacional (2024), mestrado em Economia pela Universidade Federal de Mato Grosso (2015) e doutorado em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2024). Professor e Coordenador do Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Aplicadas e Políticas da Universidade Federal de Rondonópolis. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia Regional, atuando principalmente nos seguintes temas: agronegócio, meio ambiente e comércio internacional pela aplicação de métodos como matrizes de Insumo-Produto e modelos de equilíbrio geral computável. E-mail: claudio.seibert@ufr.edu.br

Uberlândia. Despite the existing network for rural extension, the analysis suggests that the current stock of human capital may be insufficient to drive the sustainable expansion of irrigation, especially in the identified frontier regions.

Keywords: *Rural extension, potential areas, irrigation.*

Resumen: *La presencia de escuelas agrícolas y organismos públicos de extensión rural puede desempeñar un papel central en la transferencia de tecnologías, la capacitación de productores y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, contribuyendo a enfrentar las pérdidas en el campo. Así, el presente estudio tiene como objetivo general investigar si existe asociación espacial entre la presencia de agentes públicos de difusión técnica y la concentración de áreas irrigadas en la caficultura en Minas Gerais. Para alcanzar el objetivo propuesto se utiliza la estadística del I de Moran Local (LISA) univariado y un levantamiento bibliográfico sobre los organismos públicos transmisores de conocimiento rural. Los resultados evidencian regiones de aglomeración local en la agricultura irrigada del café, como los municipios de Coromandel, Estrela do Sul, Monte Carmelo, Romaria, Patrocínio, y municipios con áreas potenciales para avanzar en la irrigación subutilizadas, como es el caso de Abadia dos Dourados, Cascalho Rico, Cruzeiro da Fortaleza, Lagamar, Monte Alegre de Minas, Tupaciguara, Araxá, Guimarânia, Iraí de Minas, Pedrinópolis, Uberlândia. A pesar de la red existente para la extensión rural, el análisis sugiere que el actual efectivo de capital humano puede ser insuficiente para impulsar la expansión sostenible de la irrigación, especialmente en las regiones de frontera identificadas.*

Palabras clave: *Extensión rural, áreas potenciales, irrigación.*

INTRODUÇÃO

A difusão de conhecimento técnico voltado à agricultura irrigada no Brasil enfrenta desafios estruturais, como a desarticulação entre políticas públicas e a escassez de agentes extensionistas capacitados (Silveira, 2011). Na cafeicultura, setor que movimentou R$ 53,4 bilhões em valor bruto de produção e ocupou 1,6 milhão de hectares na safra de 2023 (CONAB, 2023; IBGE, 2024), os estudos sobre a difusão e a espacialização do conhecimento técnico ainda são incipientes, e as discussões sobre o tema permanecem fragmentadas. Essa lacuna mostra-se relevante ao se considerar a importância da cafeicultura de Minas Gerais, que tem sido afetada por estiagens prolongadas e ondas de calor intensas, que comprometeram a produtividade e a uniformidade de maturação de culturas. Diante desse cenário, a irrigação consolida-se como estratégia essencial não apenas para mitigar riscos climáticos e elevar a produtividade, mas também para assegurar a qualidade e a regularidade da oferta, atributos cada vez mais exigidos em um mercado internacional competitivo (Braga; Campos, 2023).

No entanto, apesar do avanço da irrigação ao longo das décadas no Brasil, apenas 15% da área cafeeira nacional é irrigada (ANA, 2021), revelando um descompasso entre o potencial produtivo proporcionado pela irrigação e sua adoção efetiva. Segundo dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019) e da Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA, 2021), a área irrigada no país passou de 0,5 milhões de hectares (Mha) em 1960 para 6,7 Mha em 2017, um crescimento superior a 1.000%. Entre 2006 e 2017, a expansão foi de 2,2 Mha, representando um aumento de 49% segundo dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Esse avanço, contudo, não se refletiu de forma proporcional na cafeicultura, persistem desigualdades regionais no acesso à irrigação e à assistência técnica, resultando em variações significativas de produtividade entre as microrregiões (Serenini et al., 2020).

Embora o café seja a sexta principal cultura do país em área plantada, essa área tem diminuído, passando de 2,3 Mha em 2006 para 1,9 Mha em 2023. Paralelamente, a produtividade aumentou de 1.112 para 1.773 kg/ha (quilograma por hectare) no mesmo período no país (IBGE, 2024). Em Minas Gerais, principal estado produtor, responsável por mais de 50% da produção nacional, a produtividade do café avançou 31% entre 2006 e 2023, passando de 1.233 kg/ha para 1.621 kg/ha[4] (IBGE, 2024).

Em 2023, os cafeicultores de Minas Gerais colheram cerca de 1,3 milhão de toneladas, representando metade da safra nacional. A extensão dos cafezais no estado totalizou 1.070.358 hectares em 2023, distribuídos em regiões com diferentes altitudes, solos e condições climáticas (IBGE, 2024). Essa heterogeneidade contribui para a diversificação dos sistemas produtivos agrícolas e agroindustriais (Barra, 2021), o que tem exigido estratégias específicas de manejo, incluindo a adoção de tecnologias como a irrigação, que podem influenciar tanto a produtividade quanto os atributos de qualidade do produto final. Desde 1996, o governo de Minas Gerais tem adotado políticas públicas voltadas ao incentivo da cadeia produtiva do café. Contudo, a falta de continuidade e a desintegração entre as ações fragilizam a eficácia dessas iniciativas, limitando seu alcance e sua capilaridade junto aos produtores (Dutra, et al. 2009).

Em Minas Gerais, o quadro de empregos públicos da Emater-MG prevê 658 vagas para extensionistas agropecuários I, das quais 465 estavam ocupadas em 2023.

[4] Tabela 5457 da Produção Agrícola Municipal -PAM (IBGE, 2024).

Para a categoria de extensionistas agropecuários II, há 508 vagas aprovadas por lei, todas preenchidas (Emater, 2024). No entanto, conforme dados do Censo Agropecuário de 2017, o estado contava com 607.557 estabelecimentos agropecuários, o que corresponde a uma média de aproximadamente 1.306 estabelecimentos para cada extensionista agropecuário I e 1.195 para cada extensionista II (IBGE, 2019). Esses números evidenciam uma elevada quantidade de estabelecimentos rurais em relação à capacidade humana de extensionistas, o que impõe uma barreira na difusão de conhecimentos técnicos no campo.

Essa limitação é particularmente crítica na cafeicultura, onde decisões técnicas, como a escolha da variedade a ser cultivada requerem uma avaliação integrada de fatores socioeconômicos e ambientais, incluindo a disponibilidade e a qualidade da água que dependem, em grande parte, da orientação de profissionais qualificados para sua adequada implementação (Batista et al., 2010). A implementação de unidades de observação e pesquisa em agricultura irrigada pode transformar as faculdades/cursos de agricultura em referências regionais de manejo em irrigação, ampliando as interações entre unidades de ensino e comunidade rural para a difusão de tecnologias de irrigação (Rosa, 2011).

Nesse aspecto, a Política Nacional de Irrigação estabelece diretrizes para a expansão sustentável da irrigação no país, prevendo maior eficiência no uso da água e redução de vulnerabilidades climáticas (Brasil, 2013; ANA, 2021). Contudo, a efetivação dessa política depende de fatores estruturais, ambientais e técnicos como o manejo adequado dos recursos escassos para uma agricultura sustentável, sendo este último adquirido com o auxílio da extensão rural. Esses profissionais, vinculados a escolas técnicas, universidades e órgãos de assistência técnica, exercem papel fundamental na transferência de inovações, em especial aquelas que exploram a difusão de sistemas de irrigação que economizam água (Martinez et al., 2022). Entretanto, a distribuição espacial destes agentes e a localização geográfica das principais áreas irrigadas de café ainda são pouco exploradas na literatura.

Diante desse panorama, este estudo busca investigar se há associação espacial entre a presença de agentes públicos de difusão técnica (escolas técnicas, universidades, órgãos estaduais e federais) e a concentração de áreas irrigadas na cafeicultura em Minas Gerais. Parte-se da hipótese de que há autocorrelação espacial positiva entre a localização desses agentes e as áreas irrigadas, mas com cobertura insuficiente para agricultores. É importante destacar que esta pesquisa adota uma abordagem exploratória baseada em análise espacial descritiva, não sendo capaz de estabelecer relações causais diretas. O objetivo é identificar padrões de associação geográfica que possam indicar potenciais lacunas ou oportunidades de reforço na infraestrutura institucional de apoio à irrigação. O estudo está dividido em cinco seções, sendo esta seção a primeira. A segunda seção apresenta os aspectos gerais sobre a extensão rural. A terceira seção destaca a base de dados e a metodologia. A quarta seção os resultados são apresentados e discutidos. Por último, as considerações finais.

2 – EXTENSÃO RURAL: AGENTES DIFUSORES DO CONHECIMENTO

Embora práticas de extensão tenham existido desde a antiguidade, o conceito moderno surgiu com as universidades inglesas na segunda metade do século XIX. No início do século XX, os Estados Unidos institucionalizaram pela primeira vez a extensão rural, por meio de um serviço cooperativo estruturado com a participação das universidades (Jones; Garforth, 1997). No Brasil, a origem dos serviços de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) remonta à década de 1940, com destaque para o ano de 1948, quando foi criada, em Minas Gerais, a Associação de Crédito e Assistência Rural (ACAR) sob influência de empresas privadas dos Estados Unidos, como o grupo Rockefeller[5] (Nunes et al., 2020).

Com o avanço dos serviços da ATER no Brasil, foi fundada, em 1975, a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), que passou a coordenar as instituições estaduais, agora chamadas de Empresas Estaduais de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATERs). Entretanto, a crise da década de 1980 afetou o setor público, e a EMBRATER foi extinta pela Lei nº 8.029/1990, o que fragilizou o atendimento aos agricultores familiares, já excluídos da modernização agrícola, enquanto os grandes produtores seguiram com maior acesso a serviços privados (Medeiros et al., 2021).

Com a extinção da EMBRATER, houve uma descentralização dos serviços de ATER, transferindo a responsabilidade majoritária para os estados, o que gerou desigualdades regionais na oferta e qualidade do serviço (Castro, 2017). A partir dos anos 2000, discutiu-se uma nova abordagem para a ATER pública, com foco em desenvolvimento rural sustentável, métodos participativos e base agroecológica. O Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), na época, passou a coordenar esse processo por meio da formulação da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER), que foi construída de forma participativa pela Lei nº 12.188/2010 e estabelece as diretrizes da política pública de assistência técnica e extensão rural no Brasil (Caporal; Dambrós, 2017). Ainda assim, persistem desafios relacionados à articulação entre ensino, pesquisa e extensão, especialmente voltados para a agricultura familiar.

Posto esse breve contexto histórico, a extensão rural pode ser compreendida como o processo educativo que visa promover mudanças nos conhecimentos, atitudes e práticas dos produtores, com base na aplicação do conhecimento técnico-científico para contribuir com o desenvolvimento econômico e melhoria das condições de vida das famílias do meio rural (Gurgel, et al., 2022). Os métodos utilizados na extensão rural podem ser descritos em três tipos: individuais (como visitas técnicas e observações em campo), em grupo (como palestras, cursos, dias de campo e demonstrações) e de massa (como feiras, campanhas e exposições), todos voltados à educação e disseminação de conhecimento (Peixoto, 2008).

Pereira e Castro (2022) discutem o papel da ATER no Brasil e no mundo, reforçando que diversos fatores contribuíram para a modernização da agropecuária no século XX, sendo a inovação e a difusão tecnológica, ofertas de linhas de crédito, eletrificação rural, infraestrutura e inovações lógicas como fatores importantes nesse processo. Os autores destacam que o elo entre as instituições de pesquisa e os agricultores, com múltiplas finalidades, promovem o processo de difusão tecnológica.

[5] As agências fundadas no começo do século XX, como a Fundação Rockefeller, pautaram-se por um estilo de atuação voltada para a doação, sem fins lucrativos, em atividades científicas, em universidades e institutos de pesquisa, diante do crescimento da importância e das necessidades da ciência e da tecnologia (Faria; Costa, 2006).

Contraponto à extensão rural voltada para a difusão de pacotes tecnológicos, Caporal e Costabeber (2004) e Caporal (2006) defendem uma assistência técnica crítica e participativa, que valorize os saberes locais e promova a transição agroecológica. Os autores ainda reforçam a importância de políticas públicas, como a PNATER, para consolidar a agroecologia como estratégia de desenvolvimento rural sustentável. A crítica dos autores advém de uma análise dos impactos negativos da Revolução Verde, com a ascensão dos monocultivos, à dependência de insumos químicos e a fatores atrelados à tecnologia que nem sempre atendem aos pequenos agricultores. Com isso, os autores propõem a agroecologia como alternativa.

Nessa mesma perspectiva, Santana et al. (2024) fazem uma crítica à extensão rural convencional, vinculada ao agronegócio, que promove pacotes tecnológicos (agrotóxicos, sementes híbridas), uma prática que aumenta a dependência dos agricultores, podendo degradar o meio ambiente e muitas vezes se mostra financeiramente insustentável para pequenos produtores. Os autores destacam a ATER agroecológica como alternativa, propondo um enfoque participativo, dialógico e adaptativo que valoriza saberes tradicionais, os quais deveriam ser incorporados às políticas públicas regionais.

Essa dicotomia entre modelos de extensão rural revela-se particularmente relevante quando aplicada a cultivos específicos, como a cafeicultura. Na atividade cafeeira, onde o manejo inadequado da irrigação pode ter consequências graves, seja pelo excesso (que causa percolação e lixiviação de nutrientes, contaminando lençóis freáticos) ou pela escassez hídrica (levando à murcha permanente e morte das plantas) como reforça Thebaldi et al. (2014). A abordagem agroecológica mostra seu potencial ao integrar conhecimento técnico e saberes locais para soluções sustentáveis.

Contudo, os novos modelos de extensão rural, marcados pela crescente participação de instituições privadas, tendem a priorizar grandes produtores, ampliando as desigualdades no campo. Enquanto isso, os pequenos agricultores continuam enfrentando desafios estruturais como deficiências em logística, comercialização e acesso a tecnologias (Ferris et al., 2014). Esse cenário se torna mais complicado com o estreitamento dos vínculos entre os setores agrícola e industrial, que, embora tenha gerado novas formas de difusão tecnológica e serviços especializados, como gerenciamento de riscos e assessoria em gestão de propriedades (Norton; Alwang, 2020), podem não estar acessível ou adaptado às necessidades da agricultura familiar.

Paralelamente a esse processo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tornou-se uma referência nacional no desenvolvimento agrícola e se destaca não apenas pela produção de conhecimento técnico, mas também por seu compromisso com os impactos sociais e ambientais, com atenção especial aos pequenos produtores (Ávila et al., 2008). No entanto, é importante distinguir os desafios da difusão tecnológica, que também é promovido pela Embrapa, dos problemas específicos da extensão rural. A difusão bem-sucedida de tecnologias requer um ambiente institucional com menores imperfeições de mercado, condição ainda distante para muitos pequenos produtores (Alves et al., 2016).

É importante destacar que a extensão rural esteve, por décadas, associada à difusão das tecnologias da Revolução Verde, que estavam voltadas à agricultura industrial capitalista e pouco adaptadas à diversidade socio produtiva do meio rural (Caporal; Dambrós, 2017). A proposta de extensão rural agroecológica busca promover tecnologias social, cultural e economicamente adequadas, com menor impacto ambiental (Dambrós et al., 2015).

Diante dessa complexidade, a extensão rural tradicional atua como elo essencial entre os avanços da pesquisa e sua aplicação no campo, orientando os produtores quanto ao manejo eficiente da irrigação, independentemente do porte da propriedade. Já a extensão rural agroecológica permite o incentivo a práticas sustentáveis, como manejo ecológico do solo e diversificação produtiva, com benefícios para a agricultura familiar, incluindo os cafeicultores, com vistas para a redução de custos com insumos externos (Santana et al., 2024).

Outro ponto a ser destacado sobre a extensão rural pública no Brasil é a questão orçamentária, especialmente com a redução dos recursos do sistema nacional de ATER e interrupções dos repasses federais. As Emateres enfrentaram significativas reduções orçamentárias ao longo das décadas, o que levou ao corte de atividades essenciais, como visitas técnicas e capacitações em campo (Pereira; Castro, 2022). Diante desse cenário, organizações alternativas passaram a suprir parte das demandas por assistência técnica, como associações, cooperativas e parcerias entre agricultores e empresas privadas de assistência.

Em Minas Gerais, destacam-se 18 Escolas Famílias Agrícolas (EFA), mantidas por comunidades rurais e baseadas na Pedagogia da Alternância. Voltadas para adolescentes, jovens e adultos do meio rural (e também para estudantes urbanos com vínculos rurais), essas escolas conciliam formação teórica com atividades práticas em propriedades agrícolas (AMEFA, 2024). A trajetória de consolidação das EFAs no estado, contudo, seguiu um percurso em que as unidades escolares foram criadas de forma isolada, e apenas mais tarde surgiu uma articulação estadual com a fundação da Associação Mineira das Escolas Famílias Agrícolas (AMEFA).

As primeiras EFAs surgiram a partir de distintas iniciativas locais, impulsionadas por diferentes grupos sociais e políticos atuantes em cada território. No entanto, esse movimento inicial foi marcado por uma estruturação dispersa e sem articulação entre as escolas, o que impôs obstáculos relevantes tanto ao fortalecimento institucional quanto ao reconhecimento oficial por parte do Estado (AMEFA, 2024). Os Institutos Federais, criados pela Lei nº 11.892/2008, também desempenham importante papel na interiorização da educação profissional e tecnológica. Com perfil multicampi e currículos voltados à realidade local, essas instituições buscam contribuir para a redução das desigualdades regionais (Pacheco et al., 2010.

Tanto as EFAs quanto os Institutos Federais compartilham, no entanto, um mesmo desafio estrutural: a descontinuidade e a fragmentação das políticas que os sustentam, o que limita sua atuação como agentes públicos de transformação no campo. Esse cenário não se restringe à educação formal, mas se agrava quando se observam as práticas de extensão rural. A difusão de conhecimentos depende de agentes extensionistas capacitados e de políticas integradas, condições que historicamente são frágeis no país. A limitada difusão de práticas adequadas de manejo hídrico pode resultar em ineficiências produtivas e em externalidades ambientais, como lixiviação de nutrientes e contaminação de corpos d'água por fontes difusas (Lopes et al., 2023). Esses entraves evidenciam que a expansão sustentável da irrigação na cafeicultura depende não apenas da disponibilidade tecnológica, mas também do fortalecimento institucional da extensão rural e da capacitação dos agentes envolvidos, reforçando a relevância de diagnósticos espaciais como o proposto neste artigo.

3 – BASE DE DADOS E METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto e elucidar o problema de pesquisa. O presente estudo utiliza dados municipais de área irrigada disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Atlas da Irrigação (ANA, 2021) com informações referentes ao ano de 2019. A escolha da fonte de informações decorre da disponibilidade de dados consolidados em nível municipal para as variáveis analisadas. Especificamente, trata-se da base mais recente disponibilizada pela ANA que contempla, simultaneamente, informações sobre área irrigada de café e área potencialmente irrigável no município. Os dados referem-se à estimativa da área irrigada total por município, expressa em hectares, e representam uma importante fonte de informação sobre a distribuição espacial da atividade irrigada no território nacional.

Para este trabalho, foram utilizados os dados de área irrigada (hectares) do café em Minas Gerais e dados de área potencialmente aptas para avançar a irrigação, também expressa em hectares. Dos 853 municípios analisados, 140 apresentaram área irrigada no café e 529 municípios com áreas (hectares) em que há potencial para avançar a irrigação segundo os dados do Atlas da Irrigação (ANA, 2021). Estes dados foram inseridos na base cartográfica (*shapefile*) proveniente da malha municipal disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

No presente estudo, optou-se por considerar apenas instituições públicas na análise da estrutura de extensão rural, incluindo Escolas Famílias Agrícolas (EFAs), Institutos Federais (IFs), Universidades Federais e a Emater, com base em dados provenientes de diferentes fontes oficiais. Embora reconheça-se que associações, cooperativas e empresas privadas também desempenham um papel relevante na difusão de conhecimentos técnicos junto aos agricultores, a delimitação à estrutura pública justifica-se pela importância institucional na formulação e execução de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural.

As informações relativas às instituições de ensino e extensão foram obtidas por meio de levantamento em fontes institucionais, refletindo a estrutura disponível no período de coleta dos dados (2025), enquanto as variáveis de irrigação referem-se ao ano de 2019 publicadas pela ANA (2021). O detalhamento das variáveis de entrada, descrição dos dados e a fonte de dados estão organizados no Quadro resumo 1.

Quadro 1 – Descrição das variáveis utilizadas e das fontes de dados consultados

Variável	Descrição	Fonte de dados	Tipo variável
Cafe_irr	Área irrigada de café em 2019	Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA,2021)	hectares
AAI	Área irrigada potencial	Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2021)	hectares
AMEFA	Escolas Famílias Agrícolas	Associação Mineira Das Escolas Famílias Agrícolas (AMEFA, 2024) – dados das EFAs	unidades
IF	Institutos Federais	Sites institucionais de cada Instituto Federal (dados institucionais coletados pelos pesquisadores em 13 de junho 2025)	unidades
UFs	Universidades Federais	Sites institucionais de cada Universidade Federal (dados institucionais coletados pelos pesquisadores em 13 de junho 2025)	unidades
Emater	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER, 2024).	unidades

Fonte: Elaborado pelos autores.

A EMATER-MG está presente em todos os 853 municípios mineiros, com um escritório local em cada cidade, além de 32 escritórios regionais que coordenam as ações em suas respectivas áreas de abrangência. Para a análise proposta, optou-se por utilizar as informações locacionais dos escritórios regionais, uma vez que esses representam a estrutura organizacional intermediária da instituição e concentram a gestão técnica, administrativa e operacional das atividades extensionistas.

A fim de compreender como a irrigação do café se distribui no território mineiro e se essa distribuição apresenta relação com o potencial agroclimático e a presença de estruturas públicas de difusão técnica, adotou-se a estatística de autocorrelação espacial local, o Índice de Moran Local (LISA) Univariado. Tal abordagem permite identificar *clusters* espaciais (agrupamentos) significativos de municípios com valores similares, distinguindo regiões com alta concentração (alto-alto) ou baixa concentração (baixo-baixo) de determinada variável, bem como possíveis outliers espaciais (Almeida, 2012).

No presente estudo, o LISA Univariado foi aplicado a duas variáveis de interesse: a área irrigada de café (Cafe_irr) e a área potencialmente irrigável (AAI), ambas expressas em hectares e com abrangência municipal. A análise busca verificar se há dependência espacial significativa entre municípios em termos do uso atual da irrigação e de seu potencial, o que pode revelar padrões de uso ineficiente, coerente ou subutilizado. O coeficiente I de Moran Local para uma variável y padronizada, observada na região i, z_i, pode ser expresso como (Almeida, 2012).

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^{j} w_{ij} z_j$$

O cômputo de I_i só abrange os vizinhos das observações de i, definidos conforme a matriz de pesos espaciais w_{ij} que representa o elemento i, j da matriz de pesos (Almeida, 2012), definida neste estudo a partir de uma matriz de pesos baseada nos k vizinhos mais próximos (KNN)[6], adotando-se o menor valor de k que garante uma matriz totalmente conectada. Esse tipo de matriz define a vizinhança com base na proximidade geográfica, garantindo que cada município possua o mesmo número de vizinhos, o que contribui para a estabilidade da análise.

Para a variável área irrigada de café (cafe_irr), os valores de I_i observados variaram de [-0.6701] a [6.5661]. Para a variável área potencial irrigável (AAI), a variação foi de [-0.4465] a [22.5631][7]. Ressalta-se que o Moran Local não possui limites fixos, podendo assumir valores superiores a 1 em função da estrutura da matriz de pesos espaciais adotada. Assim, os valores observados refletem a intensidade e a heterogeneidade dos padrões locais de autocorrelação espacial[8].

No Python, com a biblioteca *esda*, o cálculo do Moran Local (LISA) já inclui automaticamente a verificação de significância estatística via simulações de Monte Carlo. O nível de significância adotado na estimação do Moran local foi de 5% (p-valor simulado <0.05) e os cálculos foram feitos somente para valores positivos para

[6] O parâmetro k foi definido de forma a garantir a conectividade da matriz de pesos espaciais, adotando-se o menor número de vizinhos capaz de gerar uma única componente conexa.

[7] A análise foi conduzida considerando apenas municípios com valores positivos para as variáveis de interesse, o que contribui para evidenciar padrões espaciais mais concentrados e pode intensificar a magnitude dos indicadores locais de autocorrelação.

[8] A programação pode ser solicitada aos autores.

verificar a correta semelhança espacial e não inflar artificialmente a autocorrelação. Com isso, os resultados apresentados já exibem essa significância desejada.

O resultado da média do I de Moran local é apresentado nos resultados juntamente com a quantidade de vizinhos para cada variável analisada (café irrigado e área potencial). Após a estimação, realizou-se um cruzamento dos dados identificados considerando as seguintes análises dispostas no Quadro resumo 2.

Quadro 2 – Matriz de cruzamento informacional

Resultado do I de Moran Local (Área irrigada no café em 2019)	Resultado do I de Moran Local (Área potencialmente irrigada)	Resultado esperado
Baixo-Baixo	Alto-Alto	Identificar regiões de subaproveitamento
Alto-alto	Alto-alto	Identificação de uso coerente com o potencial

Fonte: Elaborado pelos autores.

A identificação de regiões classificadas simultaneamente como baixo-baixo na irrigação existente e alto-alto para novas áreas potenciais pode subsidiar ações de política pública voltadas à expansão qualificada da irrigação, sobretudo por meio da atuação de agentes de extensão rural. Regiões em que há potencial subutilizado podem se beneficiar da intensificação de ações técnico-educativas, enquanto zonas de uso coerente podem servir como referência ou estudo de caso.

4– RESULTADOS MINAS GERAIS

A produção de café em Minas Gerais é majoritariamente composta pela espécie arábica, que representa 97,7% do total. De acordo com a ANA (2021) os municípios de Monte Carmelo, Patrocínio, Araguari, Romaria, Coromandel, Patos de Minas e Indianópolis se destacam pela extensa área de irrigação em Minas Gerais, sendo Monte Carmelo o principal produtor de Café irrigado no estado. Contudo, é o município de Uberlândia, o maior em potencial para expandir a irrigação, não apenas para o café, mas de forma abrangente para toda a agricultura irrigada.

De acordo com o Atlas de Irrigação, o Brasil possui 449,3 mil hectares de café irrigado, equivalente a cerca de 25% da área total cultivada com café no país. Deste total, Minas Gerais irriga 134.183 hectares (29,86%). Apesar de ser responsável por pouco mais de 50% da produção nacional de café, apenas 14% dos cafezais em Minas Gerais são irrigados, indicando um potencial significativo ainda não explorado dessa prática. A adoção da irrigação enfrenta um conjunto de desafios estruturais e técnicos ao longo da cadeia produtiva. Entre eles, destacam-se as restrições de acesso a crédito sobretudo para pequenos produtores (Cunha et al., 2013), a necessidade de adequação das tecnologias às condições edafoclimáticas locais, como altitude, declividade, tipo de solo e regime hídrico (Romano et al., 2025), e os custos associados à implantação e manutenção dos sistemas, que variam conforme a modalidade adotada (Vieira et al., 2010).

Apesar desses entraves, alguns municípios mineiros reúnem condições naturais e infraestruturais que os credenciam como polos estratégicos para a expansão da irrigação na cafeicultura. É o caso de Uberlândia, Uberaba, Ibiá, Araguari e Tupaciguara, reconhecidos pela topografia favorável (planícies e suaves colinas), pela grande disponibilidade hídrica (bacias do Paranaíba e São Francisco) e pelo acesso à infraestrutura elétrica (ANA, 2021). Localizados em regiões estratégicas do estado, esses municípios apresentam condições climáticas e infraestrutura adequadas para a adoção de sistemas modernos de irrigação, como gotejamento e

microaspersão. Além disso, dados do Atlas da Irrigação indicam que Minas Gerais contava com 415.804 hectares irrigados em pivôs centrais (exceto arroz, café e cana) e 256.282 hectares irrigados em outras culturas e sistemas.

Nesse contexto, torna-se relevante considerar a infraestrutura institucional existente para apoiar essa possível expansão. O Quadro 3 apresenta as cidades mineiras onde foram identificadas instituições públicas de ensino agrícola e extensão rural, como Escolas Família Agrícola (EFAs), Institutos Federais (IFMGs), Universidades Federais e Estaduais, além das unidades regionais da Emater. Em alguns casos, uma mesma cidade possui mais de uma instituição, como exemplo a cidade de Uberlândia que abriga IFMG, UFMG e unidade regional da EMATER.

Quadro 3 – Cidades em que há instituições públicas com escolas agrícolas

Instituições Públicas	Cidades
EFA	Acaiaca, Araçuaí, Araponga, Catas Altas do Noruega, Comercinho, Cruzília, Ervália, Itaipé, Itaobim, Itinga, Jequeri, Malacacheta, Natalândia, São Francisco, Sem Peixe, Serra dos Aimores, Simonésia, Taiobeiras, Veredinha, Virgem da Lapa, Jequitinhonha.
IFMG	Almenara, Arinos, Bambuí, Barbacena, Campo Verde, Inconfidentes, Januária, Machado, Patrocinio, Rio Pomba, Salinas, Teófilo Otoni, Uberaba, Uberlândia, São João Evangelista, Manhuaçu.
UFMG	Diamantina, Floresta, Iturama, Lavras, Monte Carmelo, Montes Claros, Rio Paranaíba, Sete Lagoas, Uberlândia, Unaí e Viçosa.
UEMG	Divinópolis, Frutal, Ituiutaba, Janaúba e Passos.
EMATER – Unidade Regional	Alfenas, Almenara, Belo Horizonte, Capelinha, Cataguases, Curvelo, Diamantina, Divinópolis, Governador Valadares, Guanhães, Guaxupé Ipatinga, Janaúba, Januária, Juiz de Fora, Lavras, Manhuaçu, Montes Claros, Muriaé, Passos, Patos de Minas, Ponte Nova, Pouso Alegre, Salinas, São Francisco, São João Del Rei, Sete Lagoas, Teófilo Otoni, Uberaba, Uberlândia, Unaí e Viçosa.

Elaboração pelos autores.

A rede de instituições públicas de ensino e extensão em Minas Gerais é fundamental para o desenvolvimento agrícola regional. Em municípios como Almenara, Januária, Muzambinho e Uberaba, a concentração de múltiplas instituições de ATER, incluindo IFMG, UFMG e EMATER destaca a importância desse suporte especializado. Nesse ponto, evidencia-se o papel das universidades como agentes difusores do conhecimento para a inovação e desenvolvimento, gerando importantes *spillover* do conhecimento conforme destaca Oliveira, Rito e Marques (2023), especialmente por meio da formação de capital humano (Paula Junior e Máximo, 2020).

Contudo, a análise da presença institucional foi realizada com base na localização das unidades nos municípios, não captando diretamente o alcance regional de atuação dessas instituições. A difusão de conhecimento técnico no meio rural não se restringe aos limites administrativos, mas ao efeito *spillover* de conhecimento (Ramos et al., 2010). Além disso, o processo de adoção tecnológica não é passivo, sendo mediado pelas decisões e capacidades dos produtores rurais (Vieira Filho e Silveira, 2012), o que reforça a natureza difusa e territorialmente interdependente da disseminação do conhecimento. Nesse sentido, a utilização de uma matriz de pesos espaciais baseada nos k vizinhos mais próximos permite captar relações de proximidade geográfica que independem das fronteiras municipais, incorporando indiretamente efeitos de transbordamento espacial.

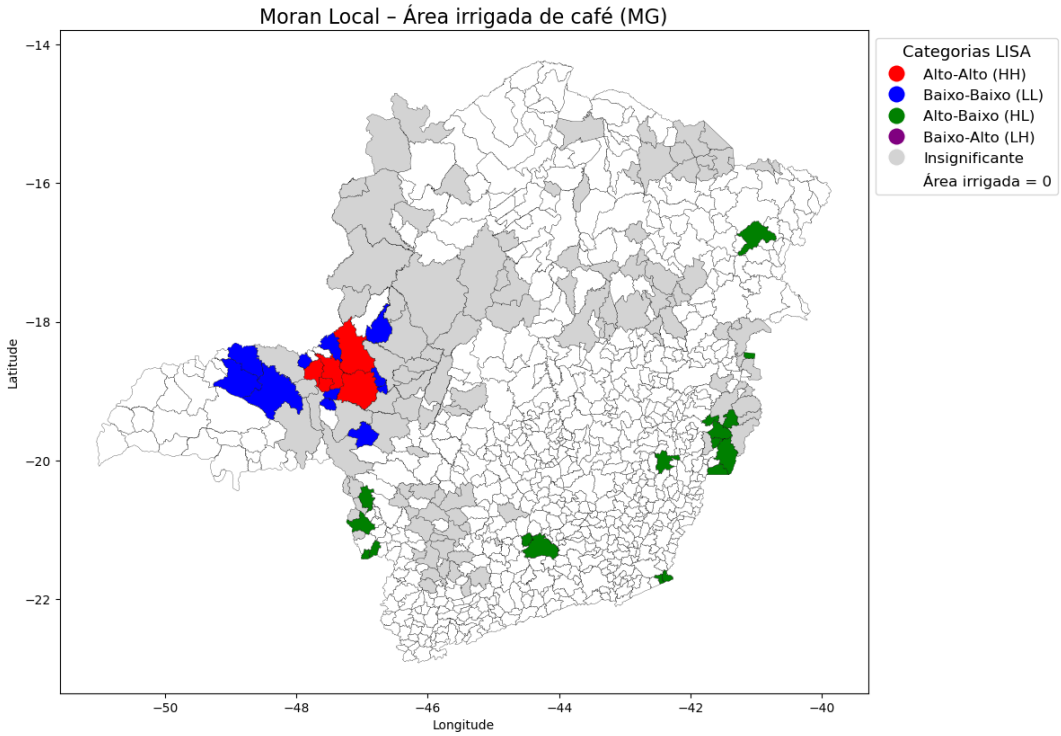
Nessas localidades, a atuação coordenada da ATER tem sido crucial para capacitar os produtores a implementar manejos que minimizam os efeitos das adversidades climáticas, como a gestão de floradas desuniformes e o estresse hídrico.

Adicionalmente, a assistência técnica contribui para que pragas e doenças não sejam destruidores do potencial produtivo e para que os cafeicultores capitalizem os benefícios dos ciclos de bienalidade positiva (Conab, 2024). Assim, a densidade de serviços de ATER é um fator-chave para a resiliência e aprimoramento contínuo da cafeicultura mineira, permitindo a adaptação e a preservação da qualidade e do potencial produtivo, mesmo em cenários desafiadores.

Para suporte técnico, a EMATER-MG mantém um escritório em cada um dos 853 municípios do estado, além de 32 escritórios regionais localizados em Alfenas, Almenara, Belo Horizonte, Capelinha, Cataguases, Curvelo, Diamantina, Divinópolis, Governador Valadares, Guanhães, Guaxupé, Ipatinga, Janaúba, Januária, Juiz de Fora, Lavras, Manhuaçu, Montes Claros, Muriaé, Passos, Patos de Minas, Ponte Nova, Pouso Alegre, Salinas, São Francisco, São João Del Rei, Sete Lagoas, Teófilo Otoni, Uberaba, Uberlândia, Unaí e Viçosa. Contudo, a disponibilidade de capital humano aparenta ser insuficiente para um projeto de expansão da irrigação no estado, especialmente considerando as múltiplas políticas públicas para a agricultura no país.

Diante dessa limitação, torna-se relevante compreender onde a irrigação do café efetivamente ocorre e quais regiões possuem maior potencial para expansão, informações que podem orientar a alocação mais eficiente dos escassos esforços extensionistas. Para isso, utilizou-se o Índice de Moran LISA com o objetivo de identificar padrões de agrupamento espacial. Para a área atualmente irrigada com café, o índice de Moran foi de 0,212 (considerando uma matriz de pesos com 6 vizinhos), o que indica uma autocorrelação espacial positiva, ainda que moderada. Já para as áreas com potencial de avanço da irrigação, o valor do índice foi de 0,477, sugerindo uma concentração espacial mais expressiva dessas regiões. Esses resultados estão ilustrados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1– I de Moran Local para as áreas irrigadas de café em 2019

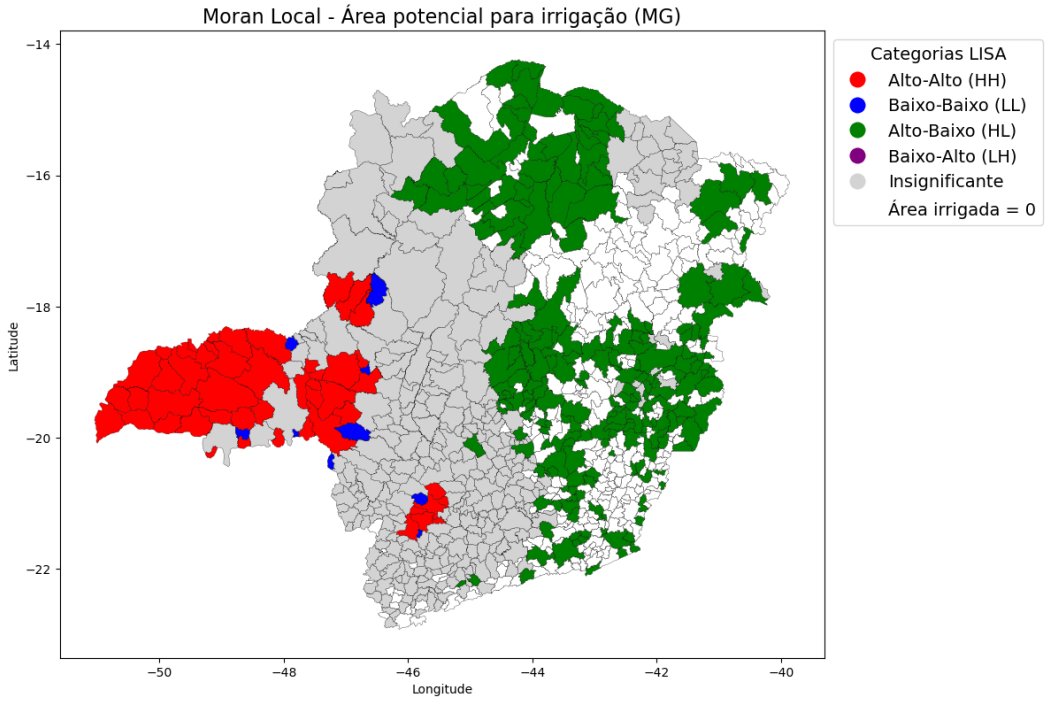


O mapa LISA revela a presença de clusters espaciais significativos na distribuição das áreas irrigadas de café em Minas Gerais, com quatro padrões

distintos, em que os Cluster HH, destacados em vermelho, estão concentrados principalmente na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (latitude -19° a -18°, longitude -48° a -47°), indicando municípios com alta área irrigada cercados por vizinhos também com alta irrigação. Os Clusters LL, em azul, predominantes no Vale do Jequitinhonha (latitude -16° a -17°, longitude -42° a -41°) e Norte de Minas, mostrando municípios com baixa irrigação cercados por vizinhos igualmente com baixo uso de irrigação, revelando áreas de subutilização do potencial, ou que pode refletir restrições locais de acesso à infraestrutura ou assistência técnica.

Quando se volta a análise para o potencial de expansão da irrigação (Figura 2), o padrão espacial se modifica. Diferentemente do observado para as áreas efetivamente irrigadas, os clusters HH de potencial irrigável concentram-se predominantemente na porção Oeste do estado (coordenadas aproximadas entre -15° e -17° S e -45° e -47° O), em uma região que não coincide integralmente com os atuais polos irrigados do Triângulo. Já os padrões mistos (HL/LH) aparecem de forma mais dispersa, sugerindo zonas de transição entre áreas de alto e baixo potencial, o que indica a necessidade de estratégias diferenciadas de fomento e extensão rural para cada contexto territorial.

Figura 2 – I de Moran Local para áreas potencialmente irrigáveis segundo Atlas da Irrigação



Algumas áreas do Triângulo Mineiro aparecem tanto como HH na irrigação efetiva quanto no potencial, indicando a importância do direcionamento técnico nestas regiões. A região do oeste mineira (HH) e nos pontos de alto-baixo (HL), em verde, emergem como fronteira prioritária para políticas de expansão da irrigação, combinando alto potencial natural com baixa saturação atual.

Os resultados revelam padrões espaciais complementares na cafeicultura irrigada mineira. Identificando o Triângulo Mineiro (localizado na porção oeste de Minas Gerais) e Alto Paranaíba como núcleos consolidados de alta concentração de áreas irrigadas e com sinergia espacial. Por outro lado, o LISA correspondente as áreas potenciais (Figura 2) apontou o noroeste mineiro como fronteira prioritária para expansão, com clusters HH de potencial irrigável ainda subutilizados.

Municípios como Uberlândia, Uberaba, Ituiutaba e Frutal, localizados na região do Triângulo Mineiro, integram os agrupamentos identificados, indicando uma concentração regional de áreas com alto potencial para expansão da irrigação. A região do Alto Paranaíba, situada a noroeste do Triângulo e próximo ao estado de Goiás, também se destaca nesse aspecto, especialmente em municípios como Patos de Minas, Patrocínio e Araxá.

Essa divergência espacial entre irrigação atual e oportunidades futura, aliada à densa rede de instituições de ATER mapeadas no Quadro 3, destaca a necessidade de políticas regionais para a consolidação tecnológica em municípios como Patrocínio e Uberaba. Posto isso, o quadro 4 apresenta o resultado do cruzamento informacional dos dados de áreas irrigadas no café, áreas com potencial para avançar a irrigação e áreas com algum órgão de extensão rural. Os resultados destacaram 11 municípios no quadrante baixo-baixo (LL) nas áreas irrigadas de café, mas com elevado potencial para avançar a irrigação (café ou outras culturas) e 5 municípios identificados com cluster alto-alto nas áreas irrigadas e que tem potencial para avançar a irrigação.

Quadro 4. Cruzamento de informações LISA para área irrigada de café e área potencial

Área irrigada no café em 2019	Área potencial	Localização Extensão rural	Resultado identificado
LL =Abadia dos Dourados, Cascalho Rico, Cruzeiro da Fortaleza, Lagamar, Monte Alegre de Minas, Tupaciguara, Araxá, Guimarânia, Iraí de Minas, Pedrinópolis, Uberlândia	Alto-Alto	Ao menos um escritório local da EMATER-MG assegura a presença institucional da extensão rural. Em Uberlândia tem-se a UFU e o Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), ambos com cursos de Agronomia. Em Tupaciguara e Lagamar, a presença do poder público se materializa por meio de escolas técnicas agrícolas estaduais.	Regiões que estão subaproveitadas na política nacional de irrigação.
HH= Coromandel, Estrela do Sul, Monte Carmelo, Romaria, Patrocínio.	Alto-alto	Ao menos um escritório local da EMATER-MG. Ainda destacam-se polos de formação técnica e superior, como Patrocínio, que sedia um campus IFTM, e Coromandel, que, embora não possua um campus, conta com um polo do IFTM que oferta cursos técnicos em Agropecuária e Agronegócio.	Identificação de uso coerente com o potencial. Alto-alto (HH) nas áreas irrigadas de café com elevado potencial para expandir a produção por meio da irrigação

Os municípios de Montes Claros, Monte Carmelo, Viçosa, Iturama, Rio Paranaíba, Florestal e Unaí abrigam unidades de ensino, pesquisa e extensão com foco em ciências agrárias. A UFMG em Montes Claros, a UFU em Monte Carmelo, a UFV em Viçosa, Rio Paranaíba e Florestal, a UFTM em Iturama, e a UFVJM em Unaí. Estas estruturas fortalecem a presença institucional na rede de ATER em Minas Gerais. Embora todos esses municípios contenham escritórios locais da EMATER-MG, constatou-se que o efetivo de capital humano ainda é insuficiente para atender completamente a demanda agrícola do estado.

O histórico da extensão rural brasileira revela uma trajetória marcada por transformações institucionais e desafios persistentes, onde a qualificação dos extensionistas e a ampliação do efetivo técnico emergem como fatores críticos para a adoção de práticas sustentáveis de irrigação na cafeicultura. Os resultados espaciais demonstram que Minas Gerais possui tanto áreas consolidadas no Triângulo Mineiro quanto regiões com potencial subutilizado no Noroeste, onde a presença de instituições de ATER poderia catalisar a expansão sustentável da irrigação.

Nesse aspecto, a Política Nacional de Irrigação (Brasil, 2013) tem como principais objetivos ampliar a área irrigada no Brasil de forma sustentável, e entre os instrumentos da política inclui-se a assistência técnica e a extensão rural. A política visa a garantia ao agricultor irrigante familiar a assistência técnica e extensão rural, em projetos públicos e privados de irrigação, sendo que as ações de assistência técnica e extensão rural deverão ser articuladas com o Ministério do Desenvolvimento Agrário e o Ministério da Integração Nacional. Para isso, a política prevê entre outros aspectos, o licenciamento ambiental simplificado para projetos de irrigação, Regularização fundiária de áreas irrigáveis e Incentivos à modernização de sistemas de irrigação (como pivô central e gotejamento).

Contudo, como evidenciado pela análise histórica, a eficácia das instituições na prática da extensão rural para a promoção do avanço da irrigação no âmbito da Política Nacional de Irrigação depende fundamentalmente de fatores como a capacitação contínua dos técnicos em métodos agroecológicos e gestão hídrica, a ampliação do quadro de extensionistas para cobrir as demandas territoriais; e a integração entre os saberes técnicos-científicos e os conhecimentos locais. A superação desses desafios permitiria converter o potencial mapeado em ganhos reais de produtividade, alinhando-se às diretrizes da PNATER e aos princípios da agroecologia, que é particularmente relevante em um contexto de mudanças climáticas e crescente escassez hídrica. Assim, investir na qualificação e expansão da extensão rural configura-se não apenas como estratégia de desenvolvimento agrícola, mas como imperativo para uma transição efetiva rumo à cafeicultura sustentável em Minas Gerais.

Ressalta-se que os *clusters* espaciais identificados referem-se exclusivamente à distribuição da área irrigada e da área potencialmente irrigável, não constituindo uma medida direta da difusão de conhecimento técnico total das regiões analisadas e nem dos potenciais efeitos *spillover* do conhecimento. Nesse contexto, a ausência de informações sobre agentes como cooperativas e consultorias técnicas implica que parte dos fatores que influenciam a adoção da irrigação pode não estar plenamente capturada. Em razão disso, há estudos que discutem que o processo de conhecimento no meio rural, que por vezes, ocorre entre os agricultores as empresas parceiras e cooperativas (Aguiar et al.,2021) são relevantes na ampliação dessa discussão.

O processo de inovação acontece por meio de instituições públicas e privadas e a capacidade de absorção se reflete na produtividade, custos e a absorção de cada produtor (Vieira Filho e Silveira, 2012). Assim, em regiões classificadas como alto-alto (HH), a elevada concentração de áreas irrigadas pode refletir não apenas a presença de infraestrutura pública de extensão rural, mas também a atuação de redes privadas de difusão tecnológica e organização produtiva. Consequentemente, os resultados podem subestimar a capacidade efetiva de difusão de conhecimento em determinadas regiões, devendo essa limitação ser considerada na interpretação dos achados. Esse aspecto reforça a importância de considerar a complementaridade entre agentes públicos e privados na formulação de políticas voltadas à difusão de tecnologias na cafeicultura, bem como a ampliação da discussão sobre o efeito *spillover* do conhecimento em estudos futuros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou investigar se existe associação espacial nas áreas irrigadas da cafeicultura e das áreas com potencial irrigável nos municípios de Minas Gerais, considerando também a localização de órgãos públicos difusores da extensão rural, como Universidades, Institutos Federais e outros órgãos públicos. A análise, baseada no Índice de Moran Local (LISA) Univariado, na literatura correlata e na identificação da localização dos órgãos públicos classificados como agentes potenciais de difusão do conhecimento. Os resultados revelaram padrões espaciais significativos tanto nas áreas atualmente irrigadas quanto naquelas com elevado potencial para expansão da irrigação.

A existência de *clusters* consolidados de irrigação no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, regiões de agricultura irrigada e com presença de instituições públicas, como em Monte Carmelo, são importantes para a discussão do avanço da irrigação de maneira sustentável na região. Municípios como Patrocínio, Araguari, Romaria que apresentam maiores áreas irrigadas no café, podem acessar a extensão rural pelos escritórios regionais. Por outro lado, destacaram-se regiões com elevado potencial irrigável, mas com baixa adoção prática da irrigação, especialmente no Noroeste de Minas. Esses territórios, embora contenham alguma presença institucional (escolas agrícolas, por exemplo), carecem de maior cobertura e efetivo técnico para atender à demanda por assistência rural especializada.

A rede de instituições públicas de ensino e extensão rural em Minas Gerais, incluindo as Escolas Família Agrícola, os Institutos Federais, as Universidades Estaduais e Federais, bem como os escritórios da EMATER-MG, constituem um ativo importante para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no estado. No entanto, a elevada relação entre estabelecimentos agropecuários e número de extensionistas indica limitações no capital humano para o avanço das políticas nacionais de irrigação, o que dificulta a difusão de práticas tecnológicas como a irrigação, especialmente em contextos de crescente variabilidade climática.

Diante disso, a expansão da cafeicultura irrigada em Minas Gerais não depende apenas da disponibilidade hídrica ou de fatores físicos como solo e relevo, computado na variável de áreas potenciais para avançar a irrigação e reportado no Atlas da Irrigação, mas também da capacidade institucional de promover a difusão de conhecimento técnico e de apoiar a tomada de decisão dos produtores rurais. Investimentos direcionados à qualificação contínua dos extensionistas, à ampliação do quadro técnico e à integração entre saberes acadêmicos e conhecimentos locais são essenciais para consolidar políticas públicas de irrigação e para garantir que o crescimento da agricultura irrigada ocorra de forma eficiente, sustentável e socialmente inclusiva.

Portanto, reforça-se a necessidade de políticas regionais específicas que considerem as desigualdades territoriais de acesso à assistência técnica e infraestrutura e seus possíveis efeitos *spillover* do conhecimento. A combinação entre análise espacial e mapeamento institucional, como proposta neste estudo, pode contribuir para o planejamento territorial da agricultura irrigada. Contudo, as limitações do estudo incluem a ausência de uma verificação mais ampla computando um raio de abrangência institucional, o que permitira verificar a magnitude do alcance dos órgãos públicos para a extensão rural em municípios que não dispõem de infraestrutura institucional direta. Outro ponto importante é a inclusão das cooperativas, associações e instituições.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p.: il. ISBN: 978-65-88101-10-0

AGUIAR, C. C.; JUNIOR, S. S.; SPULDARO, J. D. O papel das cooperativas agropecuárias: processo de capacidade absortiva de produtores rurais associados. Organizações Rurais & Agroindustriais, v. 23, p. e1690-e1690, 2021.
ALMEIDA, E. Econometria espacial. **Campinas–SP. Alínea**, v. 31, 2012.

ALVES, E. R. A.; SANTANA, C. A. M.; CONTINI, E. Extensão rural: seu problema não é a comunicação. Em: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Eds.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016. p. 65-86.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DAS ESCOLAS FAMÍLIAS AGRÍCOLAS. AMEFA. As Escolas Família Agrícola (EFAs). Disponível em: https://amefa.wordpress.com/as-escolas-familia-agricola-efas/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 10 mar. 2024.

AVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G. S.; VEDOVOTO, G. L. (Org.). **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: metodologia de referência**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

BARRA, G. M. J. Atuação da associação brasileira da indústria de café na dinâmica do sistema agroindustrial do café. **Informe GEPEC**, Toledo, v. 25, n. 1, p. 123–142, 2021

BATISTA, L. A., GUIMARÃES, R. J., PEREIRA, F. J., CARVALHO, G. R., CASTRO, E. M. D. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 475-481, 2010.

BRAGA, F. L. P.; CAMPOS, K. C. Desempenho das exportações brasileiras de café: aplicação do método constante market-share (2003-2016). **Informe GEPEC**, Toledo, v. 27, n. 1, p. 27–44, 2023

BRASIL. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. **Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências**. Brasília, 11 de janeiro de 2013; 192º da Independência e 125º da República. DOU de 14.1.2013.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: alguns conceitos e princípios. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. Disponível em: https://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/Agroecologia-Conceitoseprincipios.pdf . Acesso em: 16 jun. 2024.

CAPORAL, F. R. Política Nacional de ATER: primeiros passos de sua implementação e alguns obstáculos e desafios a serem enfrentados. In: **Assistência técnica e extensão rural: construindo o conhecimento agroecológico**. Manaus:

Editora Bagaço, 2006. Disponível em: https://agroecologia.pbworks.com/f/Pnater-+primeiros+passos+....+Caporal.pdf .Acesso em Acesso em: 16 jun. 2024.

CAPORAL, F. R.; DAMBRÓS, O. Extensão Rural Agroecológica: experiências e limites. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 2, p. 275-297, maio/ago. 2017.

CASTRO, C. N. de. Desafios da agricultura familiar: o caso da assistência técnica e extensão rural. Texto para Discussão, n. 6492. Brasília: Ipea, out. 2017. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6492 . Acesso em: 10 ago. 2024.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Café: Safra 2023. Brasília, 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe . Acesso em: 10 jul. 2024.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Café: Safra 2024. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe . Acesso em: 23 jul. 2025.

CUNHA, D. A. D., COELHO, A. B., FÉRES, J. G., BRAGA, M. J., SOUZA, E. C. D. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, p. 369-386, 2013.

DAMBRÓS, O.; CAPORAL, F. R.; PADILLA, M. C.. A Nova ATER e a formação de redes locais de entidades da agricultura familiar para desenvolver extensão rural agroecológica no Estado do Paraná, Brasil. **Extramuros**, Petrolina-PE, v. 3, n. 3, p. 82-96, 2015.

DUTRA, D. R.; MACHADO, R. T. M.; CASTRO, C. C. Ações públicas e privadas na implantação e desenvolvimento da indicação geográfica do café em Minas Gerais. **Informe GEPEC**, Toledo, v. 13, n. 1, p. 90–106, 2009.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER-MG). Quadro de empregos públicos e cargos de provimento em comissão.2024. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/download.do?id=20602. Acesso em 14 de julho de 2024.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER-MG). Endereços e telefones das unidades da Emater -MG. 2024. https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_endereco Acesso em 14 de julho de 2024.

FARIA, L.; COSTA, M. C. da. Cooperação científica internacional: estilos de atuação da Fundação Rockefeller e da Fundação Ford. **Dados**, v. 49, p. 159-191, 2006.

FERRIS, S., ROBBINS, P., BEST, R., SEVILLE, D., BUXTON, A., SHRIVER, J., WEI, E. Linking smallholder farmers to markets and the implications for extension and advisory services. **MEAS Brief**, v. 4, n. 10, p. 13-14, 2014.

GURGEL, R. F. S; NUNES, E. M.; DA SILVA, V. M. A assistência técnica e extensão rural (ATER) da EMATER e do projeto Dom Helder Câmara (PDHC) no Território da

Cidadania Sertão do Apodi, Rio Grande do Norte. **Extensão Rural**, v. 29, n. 1, p. e3-e3, 2022.

LOPES, I., DE OLIVEIRA, G. H. H., DE OLIVEIRA, A. P. L. R., DA SILVA, D. M. N. Identificação dos resíduos sólidos e líquidos oriundos da produção de café e seus potenciais usos: Uma revisão. **REVISTA DELOS**, v. 16, n. 49, p. 3625-3646, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM): 2024. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado . Acesso em: 10 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário de 2017. 2019. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6780. Acesso em: 10 jul. 2025.

JONES, G. E.; GARFORTH, C. The history, development, and future of agricultural extension. In: SWANSON, Burton E.; BENTZ, Robert P.; SOFRANKO, Andrew J. (org.). **Improving agricultural extension: a reference manual**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997. p. 1–15.

MARTÍNEZ, D. M.; MAIA, A. G.; GARCIA, J. R. Spatial diffusion of efficient irrigation systems: A study of são paulo, brazil. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 66, n. 3, p. 690-712, 2022.

MEDEIROS, K. N. de; NUNES, E. M.; DE MELO RAMALHO, S. Da modernização agrícola à dinâmica de desenvolvimento rural: o assentamento Maisa, Rio Grande do Norte. **Revista Grifos**, v. 30, n. 54, p. 129-156, 2021.

NUNES, E. M.; CRUZ, M. S.; SILVA, V. M. Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) no Território rural Sertão Central Cabugi e Litoral Norte (RN): o desafio da adequação sócio-técnica. **Extensão Rural, Santa Maria**, v. 27, n. 3, p. 40-64, 2020.

NORTON, G. W.; ALWANG, J. Changes in agricultural extension and implications for farmer adoption of new practices. **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 42, n. 1, p. 8-20, 2020.

OLIVEIRA, R. C. S. de; RITO, F.; MARQUES, H. Spillover do conhecimento e universidade: uma revisão Spillover of knowledge and university: a review. **Brazilian Journal of Business**, v. 5, n. 1, p. 746-765, 2023.

PACHECO, E. M.; PEREIRA, L. A. C.; SOBRINHO, M. D.. Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia: limites e possibilidades. **Linhas Críticas,** Brasília, DF, v. 16, n. 30, p. 71-88, jan./jun. 2010.

PEIXOTO, M. Extensão rural no Brasil: uma abordagem histórica da legislação. Senado Federal: **Textos para Discussão** nº 48, 27 p., 2008. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-48-extensao-rural-no-brasil-uma-abordagem-historica-da-legislacao. Acesso em 14 de julho de 2025

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. de. Assistência técnica e extensão rural no Brasil e no mundo: qual o papel da ater pública?. **Repositório IPEA nº 1158.** 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11410/1/Extensao_rural_cap10.pdf

RAMOS, R.; SURIÑACH, J.; ARTÍS, M. Human capital spillovers, productivity and regional convergence in Spain. **Regional Science**, v.89, n.2, p.435-447, 2010.

ROMANO, A. P. A. M., BRAGA, G. B., MATTIELLO, E. M., DE MOURA, A. D., ALMEIDA, K. M., DOS REIS, J. D. Mapeamento de áreas para o cultivo de café em terraços em Minas Gerais–Brasil**. Research, Society and Development**, v. 14, n. 12, p. e53141250251-e53141250251, 2025.

ROSA, J. A. Integração ensino profissional-pesquisa-extensão rural através de centros de tecnologia em agricultura irrigada. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 1212-1218, 2011.

THEBALDI, M. S. et al. Water application uniformity on the irrigation of native forest seedlings grown in recipient tubes. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 978–987, 2014.

SANTANA, G. R. de et al. Assistência técnica e extensão rural agroecológica: uma alternativa essencial à agricultura familiar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

SERENINI, R.; RAMOS, P.S.; FRIAS, L. Distribuição espacial da produtividade de café em Minas Gerais ao longo do tempo. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1–10, 2020.

SILVEIRA, K. C. da. **O papel das escolas técnicas agrícolas na difusão de ciência, tecnologia e inovação nas regiões**: o caso das escolas estaduais de Serra Talhada e de Escada. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPE_a1bdc09bc3e4e4904d5ebc3e23d24f37 Acesso em 10 de agosto de 2024.

VIEIRA, G. H. S., MANTOVANI, E. C., SOARES, A. A., CUNHA, F. F. D., MONTES, D. R. P. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 19, n. 1, p. 53-61, 26 jan. 2011.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. da. Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 50, n. 4, p. 721-742, 2012.

Recebido em 27/08/2025.
Aceito em 30/06/2026.