ANAIS

IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA: AVANÇOS TEÓRICOS E OPORTUNIDADES PRATICÁVEIS

LETÍCIA LIMA FERREIRA
leticia.l.ferreira@unesp.br
UNESP

ANDREIA MARIZE RODRIGUES
andreiamarize@fcav.unesp.br
FAAV-UNESP

RESUMO: O mundo tem enfrentado alterações climáticas significativas. As temperaturas e precipitações atuais distanciam-se das médias históricas e o ciclo hidrológico apresenta-se vulnerável, intensificando cenários de déficit hídrico. Grandes desafios surgem para a agricultura, uma vez que a produção de alimentos deve acompanhar a ascendente demanda. Aos sistemas de produção, demandam-se inovações que contribuam para altos rendimentos com o menor impacto negativo ao meio ambiente. Como técnica agrícola complementar, a irrigação mostra-se favorável à contemporânea problemática hídrica, mediante uso responsável da água como alternativa para suprir insuficiências. A agricultura moderna induz maior aporte de informações, técnicas e tecnologias, resultando em incrementos econômicos, sociais e ambientais. Conforme levantamento de dados por análise bibliométrica, foram apurados 173 artigos científicos, publicados entre os anos 2015 e 2024, os quais contemplavam os tópicos de busca: “irrigation”, “agriculture”, “water management”, “drought” e “productivity”. O presente trabalho concluiu que estudos recentes têm explorado a irrigação como instrumento de aperfeiçoamento, com foco na produtividade e na sustentabilidade dos cultivos. Não se limitando ao campo teórico, exemplares destacaram que pequenos e grandes produtores têm buscado por inovações que tornem os cultivos estáveis e sustentáveis. Ainda, as discussões sugeriram que novas técnicas factíveis, alternativas ou complementares à prática de irrigação, sejam investigadas, tendo como base a necessidade de que a agricultura se mantenha resiliente às mudanças climáticas.

PALAVRAS CHAVE: Mudanças climáticas, seca, agricultura, gestão hídrica, irrigação, produtividade.

ABSTRACT: The world has been experiencing significant climate changes. Current temperatures and precipitation levels are deviating from historical averages, making the hydrological cycle more vulnerable and intensifying scenarios of water shortages. This presents major challenges for agriculture, as food production must keep pace with rising demand. Production systems require innovations that promote high yields while minimizing negative environmental impacts. As a complementary agricultural technique, irrigation proves to be a viable solution to contemporary water-related issues, provided that water is used responsibly to compensate for deficiencies. Modern agriculture increasingly relies on information, techniques, and technologies, leading to economic, social, and environmental improvements. A bibliometric analysis revealed 173 scientific articles published between 2015 and 2024, covering topics such as "irrigation," "agriculture," "water management," "drought," and "productivity". The study concluded that recent research has focused on irrigation as a means of improving crop productivity and sustainability. The findings also show that both small and large-scale producers are actively seeking innovations to ensure the stability and sustainability of their crops. Additionally, the discussions suggest that new, practical techniques - either alternatives or complements to traditional irrigation - should be explored to ensure agriculture remains resilient to climate change.

KEY WORDS: Climate changes, drought, agriculture, water management, irrigation, productivity.

1. INTRODUÇÃO

Globalmente, as mudanças climáticas agravam as condições de déficit hídrico, afetando a disponibilidade de nutrientes no solo, a produção de culturas e a composição da qualidade dos produtos, refreando os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e comprometendo a segurança alimentar ao redor do mundo (Alfadil et al., 2021).

O ciclo hidrológico, frente a alterações nos padrões de variações, a eventos climáticos extremos e a oscilações na temperatura média global da Terra, apresenta-se suscetível a modificações nos padrões de precipitação e evapotranspiração, em conjunto a impactos relacionados a reservas subterrâneas, à umidade e ao escoamento superficial do solo (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

Referindo-se à agricultura bem desenvolvida, a irrigação e a drenagem encontram-se em evidência, sendo consideradas fundamentais para garantir a melhoria da qualidade de vida, em especial, no contexto dos 8 bilhões de pessoas que habitam o planeta atualmente (De Wrachien, 2021). A escassez de chuvas deve ser compensada a fim de endossar uma produção agrícola adequada (Gerts et al., 2020). Para isso, considera-se a irrigação como um conhecimento praticado há séculos, o qual permanece conveniente mediante à utilização de água de boa qualidade, natural de rios, águas subterrâneas e, por vezes, de águas residuais (Singh, 2018).

Na contemporaneidade, a agricultura irrigada é caracterizada pelo maior uso da água em escala mundial, respondendo por cerca de 70% do total de água usada. Ainda, espera-se que, em 2050, haja 318 milhões de hectares com tecnologias de irrigação instaladas e em funcionamento (FAO, 2018).

No Brasil, a intensificação da prática sucedeu entre as décadas de 1970 e 1980, tendo sido influenciada por fatores heterogêneos, incluindo estímulos governamentais, facilidades de financiamentos e regiões com climas desfavoráveis. Em conformidade, nota-se que a maior parte das áreas irrigadas presentes possui registro privado, totalizando 97% (ANA, 2019).

Em estudo realizado por Barbosa e Brizola (2024), mediante aplicação de questionário na prospecção de três cenários possíveis (otimista, realista e pessimista), tornou-se possível visualizar prioridades de investimentos para a contemporânea problemática hídrica. Os resultados evidenciaram priorização no aperfeiçoamento dos sistemas de captação de água, irrigação inteligente e práticas apropriadas às condições locais. Destacaram-se alternativas que garantam a produção estável, incluindo irrigação sub-ótima, plantio direto, cultivares resistentes e bioinsumos. Os autores ressaltaram que, a partir da década de 1990, houve um expressivo processo de inovação tecnológica na agricultura brasileira, notando-se modificações substanciais quanto às formas de produção e, especialmente, à adoção de técnicas modernas, viabilizando que o agronegócio se consolidasse como um sistema produtivo de alta competitividade e eficiência, refletindo diretamente o valor do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Como exemplares, China e Índia tiveram suas produções triplicadas em 25 anos, em razão, principalmente, de investimentos em técnicas de irrigação (FAO, 2011). Logo, a técnica vem apresentando influências positivas sobre a produção agrícola mundial, demonstrando oportunidades favoráveis a novos investimentos.

Frente à elevada competitividade vivenciada no mercado internacional, Wang e Chien (2007) salientaram o papel valoroso da tecnologia no crescimento econômico, uma vez que o constante progresso tecnológico se constitui em uma das ferramentas que propicia a manutenção das empresas agroindustriais no setor.

2. CONJUNTURA ATUAL

Desde 1961, a área irrigada mais que dobrou, passando de 139 milhões de hectares para

mais de 328 milhões de hectares em 2018 (FAO, 2021). Ainda, cerca de 40% da produção agrícola global vem de terras irrigadas, que representam em torno de apenas 20% de todas as terras agrícolas (FAO/OECD, 2021).

A irrigação desempenha um papel crucial na transição da agricultura de subsistência para a agricultura comercial, favorecendo o crescimento econômico e impactando no cenário de pobreza das populações. Em regiões com uma estação seca pronunciada, a irrigação permite estender a temporada de cultivo; e os rendimentos irrigados tendem a ser de 30 a 100% maiores em comparação com áreas de sequeiro. Adicionalmente, a irrigação favorece produtos mais ricos em nutrientes, estabiliza a produção diante das mudanças climáticas e pode servir como um canal para ampliar o acesso rural aos recursos hídricos (FAO, 2021).

A exemplo do Brasil, na região do Planalto Central do Cerrado, a produção posiciona-se entre os meses de novembro e abril em virtude da temporada de chuvas. Esta circunstância poderia ser beneficiada caso adotada a irrigação, uma vez que se ampliaria a janela produtiva (Rodrigues, 2017). Contudo, além do regime de chuvas no qual a cultura se encontra cultivada, torna-se concebível ponderar as características de solo, além da duração do ciclo fecundativo. Ilustrada na Tabela 1, a estimativa de água para irrigação no Brasil, dentro do período de um ano, pôde ser calculada para os cultivos de arroz, cana-de-açúcar, milho, café, feijão, soja e trigo, tomando como base as outorgas dos rios federais entre 2001 e 2015 (GV AGRO, 2016).

TABELA 1. Demanda de água das culturas no Brasil.

Cultura	Demanda de água em um ano (m^3/ha)
Cana-de-açúcar	7.100
Arroz	7.500
Milho	4.800
Café	2.600
Feijão	5.200
Soja	2.824
Trigo	4.620

Fonte: GV AGRO (2016)

Subjetivamente, a irrigação consiste em complementar as insuficiências hídricas da cultura pela aplicação racional de água, reduzindo os impactos do clima sobre o seu rendimento, de modo a estabelecer produções viáveis economicamente. Portanto, em síntese, a irrigação traduz-se em definir como, quanto e quando irrigar, exigindo que decisões sejam tomadas diariamente, a considerar a área irrigada como uma unidade homogênea (Rodrigues, 2017). De maneira adicional, o autor salienta que, direta ou indiretamente, a agricultura irrigada induz à maior aporte de informações, conhecimento com desenvolvimento de capacidades, técnicas, tecnologias e inovações, corroborando para gradativas inserções de práticas vinculadas aos conceitos de desenvolvimento sustentável. Em vista disso, além de elevar a produtividade das culturas, o uso da irrigação sugestiona retornos sociais e financeiros para o homem do campo, abrangendo melhorias na qualidade de vida e no respeito aos ecossistemas.

3. DIAGNÓSTICO

O eminente desafio da agricultura brasileira e mundial tornar-se-á, por sucessivos anos, em dominar as medidas congruentes para incrementar a produção de alimentos com o menor impacto negativo ao meio ambiente, considerando as variadas regiões e suas peculiaridades.

Certamente, o incremento de produção, fulcral para sustentar o aumento de demanda, deverá ser acompanhado do aprimoramento e da intensificação das tecnologias e inovações, além do desenvolvimento de novas capacidades pelos agricultores, a fim de que as terras agrícolas sejam usufruídas de forma sustentável.

Partindo da análise de cenários produtivos desfavoráveis em razão do clima (comparado às médias históricas) ou da própria produção em áreas ou em calendários de maior vulnerabilidade, o estudo sobre o "Uso da Água na Agricultura de Sequeiro no Brasil (2013-2017)" (ANA; IBGE, 2020) estimou, para a agricultura brasileira, o uso da água verde (do ambiente), os déficits hídricos e seus derivados riscos à produção. Como consequência, o monitoramento da água verde e sua relação com a água azul (irrigação) elevou-se determinante para o planejamento da agricultura, nomeando áreas potenciais com eventuais prejuízos sistemáticos. Deste modo, para as localidades destacadas, segundo os autores, poder-se-ia estimular a irrigação, reforçar o seguro rural ou desestimular o crédito agrícola.

O relatório veiculado por *Workshop on Adoption of Technologies for Sustainable Farming Systems* (2001) assinala que a integração e a adoção de tecnologias na escala de fazenda encontram-se sugestionadas por aspectos científicos, econômicos e pelo próprio comportamento humano. Em geral, atributos da tecnologia, tais como simplicidade, visibilidade dos resultados, qualidade em suprir uma necessidade e baixo capital de investimento, configuram-se fatores facilitadores da vulgarização e adesão pelas partes interessadas.

Por essa razão, o presente artigo tecnológico teve como objetivo qualificar os estudos recapitulativos da temática exposta, sistematizando a literatura e estruturando as origens dos conceitos existentes, identificando correntes teóricas e ferramentas metodológicas mais utilizadas, mapeando comunidades acadêmicas e redes de pesquisadores, além de aproveitar resultados encontrados em trabalhos anteriores.

Impulsionado pelos avanços teóricos, o trabalho elencou projetos desenvolvidos por pesquisadores envolvendo a participação de pequenos e grandes produtores da agricultura. Em função disso, os impactos relacionados à irrigação consciente como inovação tecnológica puderam ser listados, considerando diferentes cenários práticos ao redor do mundo.

4. SISTEMÁTICA

A análise bibliométrica ocorreu através da interface gráfica *Biblioshiny*, contida na ferramenta bibliométrica de código aberto *Bibliometrix*. Difundida como uma técnica de pesquisa, esta análise tornou factível a avaliação das produções científicas dispostas em periódicos acadêmicos quantitativa e arbitrariamente, tendo acesso a padrões e métodos estatísticos (Silva et al., 2022).

A base *Web of Science* (ou ISI) - Coleção Principal (Clarivate *Analytics*/Thomson Reuters) foi adotada como fonte de dados, por meio da qual o *Journal Citation Report* (JCR) se origina. A partir do campo amostral, fez-se fulcral a definição das palavras-chave para seleção dos periódicos. Desse modo, a busca caracterizou-se por produções que contivessem os termos "*irrigation*" como parte do título e "*agriculture*", "*water management*", "*drought*" e "*productivity*" em qualquer campo.

Mediante resultado inicial, foram identificados 424 documentos. Entretanto, para garantir maior efetividade da análise, foram aplicados filtros para refinar a busca, dentre eles:

I. Tipo de produção: apenas artigos científicos publicados em periódicos. Nesse momento, 20 documentos foram desconsiderados;
II. Filtro temporal: artigos publicados nos últimos dez anos (2015 a 2024), objetivando-se verificar as publicações mais relevantes com dados mais recentes. A partir dessa segregação, 57 artigos passaram a ser desprezados;

III. Tipo de acesso: acesso livre. Com este filtro, identificou-se que 174 não possuíam acesso livre.

Portanto, após a triagem descrita, a pesquisa retornou um total de 173 artigos, os quais compuseram a base de dados para as análises quantitativas e qualitativas. Assim sendo, dentre os indicadores bibliométricos, o vigente trabalho destacou como parâmetros relevantes:

- A evolução da publicação de artigos por ano, com o objetivo de aferir ascensão temática durante o período;
- Os principais países por quantidade de produções, apontando a centralização por região geográfica;
- A convergência das palavras-chave dentro dos artigos analisados, indicando maior relevância e associação;
- Os conteúdos mais relevantes com base em métricas de densidade e centralidade, identificando itens propulsores do tema central.

5. RESULTADOS

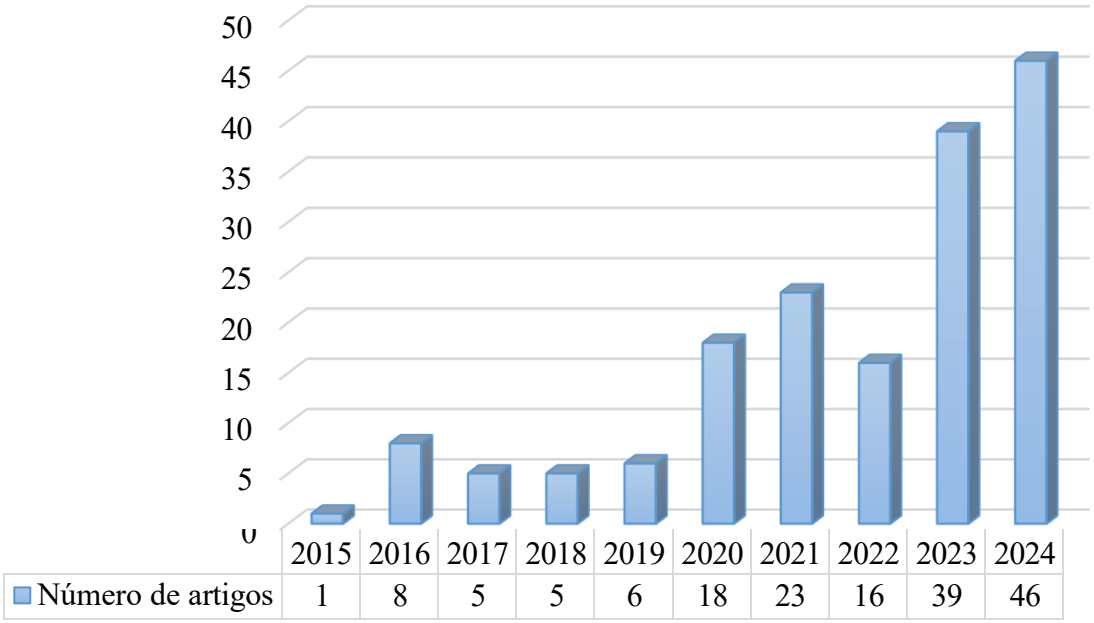
Nesta sessão, a priori, foram apresentados os resultados obtidos pela análise bibliométrica, com uso de figuras e tabelas para exposição de indicadores provocativos. Na sequência, discutiu-se os ensaios de proeminente interesse considerando campos práticos.

5.1. Análise Bibliométrica

Anexos à garantia hídrica para subsistência agrícola, os sistemas de irrigação são considerados estratégias promissoras ao aumento de produtividade, uso intensivo da terra, melhoria da qualidade do produto e redução do risco econômico da atividade agrícola (Andrade et al., 2006).

Isto posto, para visualizar o potencial de impacto do tópico, a análise bibliométrica contribuiu para mensurar, interpretar e avaliar as produção e disseminação científicas. Como resultado, 173 documentos alinhados ao tema de interesse foram apurados e examinados com a utilização da ferramenta de código aberto *Bibliometrix*. Pela Figura 1, visualiza-se a evolução das pesquisas científicas no período de 2015 até 2024. É notório que o número de artigos publicados vem crescendo nos últimos anos, o que caracteriza a expansão atual do tema, instigando a participação de, cada vez mais, pesquisadores na área.

FIGURA 1. Evolução dos artigos publicados entre 2015 e 2024.



Fonte: Das Autoras (2025)

Explicitamente, a quantidade de artigos recém produzidos, isto é, publicados nos anos 2023 e 2024, indica uma tendência de evolução da temática. De 2022 para 2023, houve um incremento de, aproximadamente, 144% das produções e, entre 2023 e 2024, o crescimento foi em torno de 18%. Além disso, somadas as publicações de 2023 e 2024 (85 no total), tem-se, praticamente, o mesmo número de trabalhos realizados entre 2015 e 2022 (82 artigos).

Ademais, na Tabela 2, pode-se visualizar a participação dos países no que tange às produções científicas mundiais. Dentre eles, destaca-se a China com o maior número de contribuições e o Brasil, ocupando a 6ª posição.

TABELA 2. Países com maior contribuição por número de publicações.

País	**Quantidade**
China	46
EUA	31
Egito	11
Irã	9
Itália	8
Brasil	7
Etiópia	6
Índia	5
Arábia Saudita	5
Austrália	3
Total	**131**

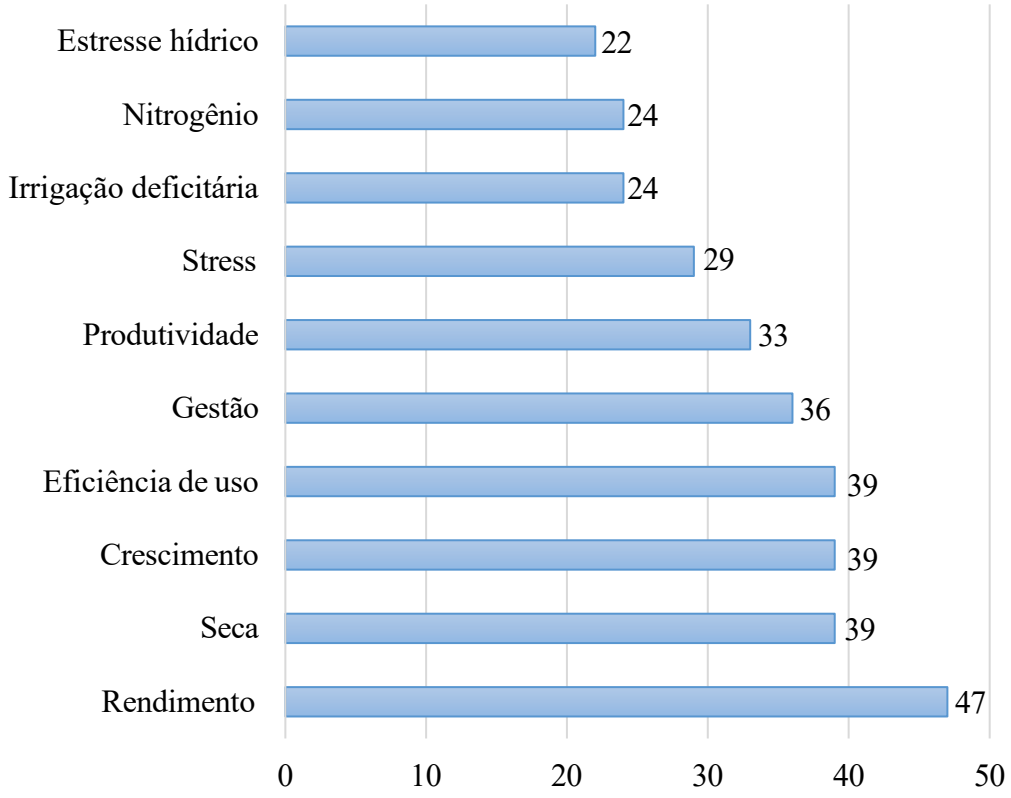
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2025)

Consoante aos dados da FAO (2020) citados pela ANA (2020), o Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. China e Índia ocupam posições líderes, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha). O Brasil aparece na sexta posição com 8,2 Mha, seguido por países como Turquia, Itália e Espanha (áreas entre 4 e 7 Mha). Associadamente, os países evidenciados pelo estudo, com as maiores áreas agrícolas com sistemas de irrigação, destacam-se quanto aos aportes científicos conforme Tabela 1. Logo, as ciências físicas ou biológicas, isoladas ou em conjunto, podem ser interpretadas como a base para o desenvolvimento de tecnologias; enquanto a economia, frequentemente, atua como um potente agente motivador para sua adoção (*Workshop on Adoption of Technologies for Sustainable Farming Systems*, 2001).

Outrossim, na Figura 2, tem-se a listagem das palavras-chave cujas assiduidades foram altas. Nesse sentido, a frequência com que o assunto aparece no texto é proporcional ao seu índice de importância. A palavra-chave "rendimento", em destaque quando comparada aos demais campos, apresenta elevada reincidência nos documentos selecionados, demonstrando direta associação à irrigação na agricultura.

Paralelamente, nota-se outras palavras em evidência, como: "seca", "crescimento" e "eficiência de uso". Estes termos estão relacionados a parâmetros importantes do uso da irrigação. De acordo com o estudo analisado dos autores Rey et al. (2016), mesmo em clima úmido, a prática da irrigação deve ter tomada como importante suplementação para a agricultura, uma vez que futuras secas ou restrições na disponibilidade de recursos hídricos podem representar riscos para os sistemas agrícolas, os meios de subsistência e a economia rural.

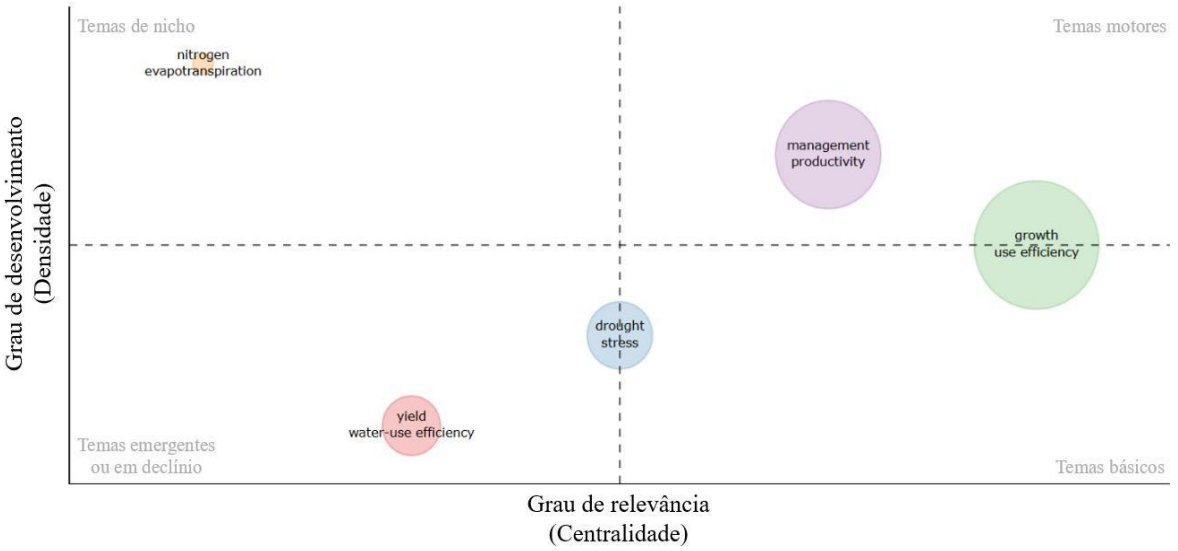
FIGURA 2. Palavras-chave com alta assiduidade na amostra.



Fonte: Das Autoras (2025)

Na representação gráfica do mapa temático (Figura 3), foram utilizadas as métricas: densidade e centralidade. A centralidade representa o grau de relevância de determinado grupo para um campo científico; enquanto a densidade indica o grau de desenvolvimento, isto é, a interação de temas dentro do próprio grupo.

FIGURA 3. Levantamento dos temas mais relevantes dentro do processo em estudo.



Fonte: Das Autoras (2025)

Analisando a Figura 3, identifica-se cinco (5) temas principais. Os temas "*growth*" e "*use efficiency*" apresentam maior destaque, forte centralidade, sendo caracterizados como temas básicos. Isso pode estar relacionado ao fato de que, dentro da temática, não se pode pensar em escala de produção e em segurança alimentar e nutricional unicamente com base na agricultura de sequeiro, a qual apresenta como principais desafios a melhoria das técnicas de manejo e a redução dos riscos associados ao clima (Rodrigues, 2017).

A exemplo dos estudos de análise, os experimentos desenvolvidos por Yan et al. (2020) apontaram a irrigação suplementar por gotejamento como uma estratégia de produção agrícola sustentável que auxilia na mitigação do estresse hídrico, no crescimento da cultura e no rendimento estável. Estes levantamentos foram conduzidos em milho de verão em plantio direto em uma região semiúmida e propensa à seca no noroeste da China.

Em conjunto, os tópicos "*management*" e "*productivity*" aparecem como maior destaque no quadrante de tema motor, representando um papel crucial na evolução e desenvolvimento da gestão dos fatores produtivos na agricultura. Nesse contexto, de acordo com Rodrigues (2017), a introdução de tecnologias tem proporcionado um ciclo virtuoso de intensificação da agricultura, que, por sua vez, passou a demandar o avanço de novas tecnologias para solucionar novos desafios, entre eles os ambientais.

5.2 Discussões

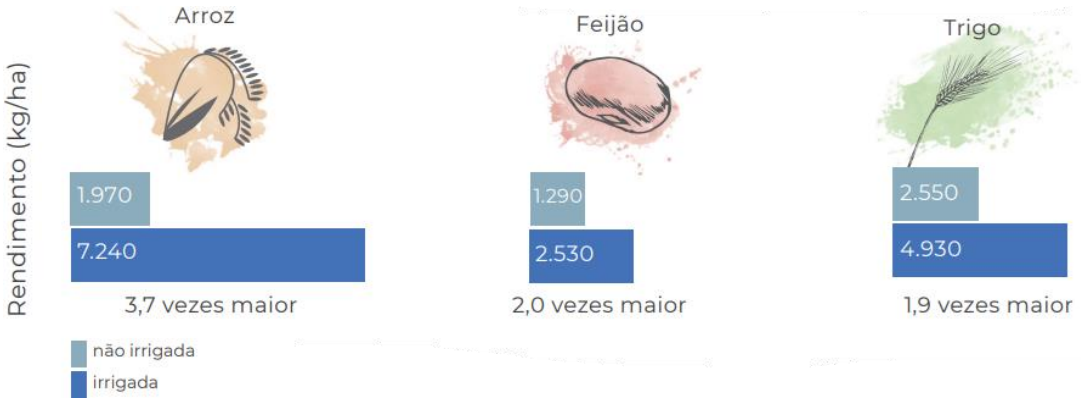
Munido das informações e compilação dos trabalhos acadêmicos de produção referidos diretamente ao tema do atual estudo, optou-se por discutir ensaios de proeminente interesse.

Por sua vez, o Protocolo BRCana, idealizado por pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, exibe um conjunto disruptivo de coeficientes, parâmetros e estratégias para o manejo sustentável e eficiente da irrigação, especificamente para o cultivo da cana-de-açúcar. Como objetivos, deseja-se verticalizar a produção, minimizar o custo e fortalecer a resiliência ao déficit hídrico acentuado pelas mudanças climáticas. A recomendação tecnológica inclui o manejo da irrigação da cultura pelo método combinado, o qual adota o processo via clima como

base; ao mesmo tempo que conjuga o sensoriamento da planta e a umidade do solo como informações adicionais para aferição. A critério de avaliação, a tecnologia esteve sob acompanhamento da Embrapa em usinas dos grupos Santa Adélia, Jalles Machado, Alta Mogiana, São Martinho, Raízen e Grupo Pedra Agroindustrial. O estudo analisou ciclos de 12 anos, com dois cenários de adaptação, isto é, com índices de irrigação cobrindo 32% e 45% da área total, os quais impactaram em um salto de 70% da produtividade média, partindo de 71 toneladas de cana por hectare (t/ha) para 120 t/ha (Pesquisa valia método de irrigação de cana como estratégia às mudanças climáticas, 2024).

Em somatória, indicadores publicados pela PAM (IBGE, 2020) e pela Embrapa Arroz e Feijão (2020) demonstraram aumento da produtividade dos cultivares de trigo, arroz e feijão - importantes grãos presentes na alimentação brasileira - a considerar a produção predominantemente irrigada, alcançando, respectivamente, rendimentos 1,9, 3,7 e 2,0 vezes superiores à produção em sistema de sequeiro (média entre os anos 2010 e 2019) (ANA, 2021). O comparativo é ilustrado pela Figura 4.

FIGURA 4. Rendimento em condição predominantemente irrigada e não irrigada no Brasil.



Fonte: ANA (2020); Embrapa Arroz e Feijão (2020)

Ainda, considerando a primordialidade de produzir alimentos de forma sustentável, o relatório divulgado pelo *International Finance Corporation* (2017) enfatiza a importância de incorporar técnicas de manejo de água. À vista disso, nesse mesmo relatório, foram compartilhados levantamentos sobre os estados indianos de Gujarat e Andhra Pradeshe no que tange ao impacto da adoção de tecnologias mais eficientes (inovações) na qualidade de vida de pequenos agricultores. Para os produtores do estado de Andhra Pradesh, o acesso às tecnologias de irrigação foi garantido e tomado como variável de análise. Dentre os resultados, constatou-se: (a) aumento de 30% e 60% na eficiência de uso da água; (b) redução de 350 a 450 kWh/ha no uso de energia; (c) diminuição de cerca de 25% nas despesas com mão de obra, fertilizantes e pesticidas; (d) aumento de 40% a 110% nos rendimentos das culturas; e (e) aumento de 30% a 100% na renda dos produtores.

Notadamente, a disponibilidade de acesso às tecnologias não consiste na única variável de estudo quando o interesse é avaliar a adequação de sistemas agrícolas mediante implantação de um projeto de irrigação. Por esse ângulo, Rodrigues (1998a) documentou análise técnica comparativa entre o sistema convencional de preparo do solo e o sistema de plantio direto na palha, tomando como fatores: modificação do regime hídrico, intensificação do manejo do solo, acentuação do sistema de produção, revolução do comportamento de pragas e doenças, reforma da infraestrutura, mudança das relações trabalhistas, remodelagem da base econômica e sustentabilidade do sistema. Mantendo-se o sistema convencional de cultivo, com revolvimento repetido do solo e exposição à erosão, o autor demonstrou impacto negativo com a introdução

da irrigação.

Logo, a abordagem dos impactos ambientais potenciais da agricultura irrigada deve incluir detalhamento de vantagens e desvantagens, de modo a favorecer a alteração e a adequação tecnológica sem negligenciar indicadores objetivos de qualidade ambiental. Para isso, Rodrigues e Irias (2004) estruturaram um exemplo prático de "Lista de Verificação de Conformidade", a fim de colaborar no processo de análise da viabilidade de implantação de sistemas de irrigação, considerando as vocações do ambiente e das comunidades locais. Esta lista assemelhou-se a modelos empregados em programas de certificação de atividades produtivas, os quais direcionam a verificação da conformidade de projetos em relação à observância de critérios para o planejamento apropriado da técnica, indicando níveis de obrigatoriedade ou recomendação da adoção de medidas preventivas ou corretivas pelo produtor/planejador.

Destarte, dentre os potenciais benefícios da irrigação, desde que planejada de forma a mitigar seus impactos aos meios abióticos, bióticos e socioeconômicos e culturais, enfatiza-se o incremento da produtividade da ordem de duas a três vezes em comparação à agricultura de sequeiro, a redução do fator sazonalidade climática e dos riscos congruentes e o avanço na oferta e na regularidade de alimentos agrícolas. Sincronicamente, tem-se a modernização dos sistemas de produção, com estímulo à introdução de inovações tecnológicas, a majoração da renda do produtor rural e a regularidade na oferta de empregos (ANA & Embrapa, 2019).

6. CONTRIBUIÇÕES FINAIS

A saber, o desenvolvimento deste estudo teve como objetivo analisar, pela metodologia bibliométrica, a produção científica internacional no que tange ao desenvolvimento de artigos científicos com abordagens do tópico "irrigação". Os dados foram extraídos da base *Web of Science*, considerando as produções divulgadas entre 2015 e 2024. Consoante ao histórico das publicações, observou-se expansão da temática ao longo do período destacado, com avanço expressivo nos dois últimos anos (2023 e 2024).

Para os países com o maior número de contribuições, foi possível estabelecer forte correlação com suas áreas equipadas para irrigação. Em tal caso, ao mesmo tempo que os índices apontaram a China como líder em extensão territorial com equipamentos de irrigação, as análises evidenciaram o país em primeiro lugar dentre os que mais publicaram cientificamente. O Brasil, por sua vez, ocupou a sexta posição para ambos os parâmetros.

Outro aspecto pertinente acerca dos resultados consistiu na assiduidade das palavras-chave. Dentre elas, "rendimento" recebeu destaque, indicando fortes tendências para que os investimentos em irrigação sejam pautados na necessidade de que os riscos climáticos às colheitas sejam minimizados e, em especial, eliminado.

Além do mais, ao considerar os temas motores, com alta centralidade e alta densidade, elucidou-se o desenvolvimento da gestão dos fatores produtivos na agricultura. À vista disso, tornou-se evidente que, conjuntamente aos avanços tecnológicos, os aprimoramentos capacitivos, considerando os agentes humanos, são indispensáveis. Inclusive, o Protocolo BRCana foi exposto como exemplar, uma vez que surgiu como ferramenta tecnológica para que coeficientes, parâmetros e estratégias fossem monitorados e garantissem o manejo sustentável e eficiente da irrigação.

Não obstante, para garantir que os sistemas de irrigação sejam implementados em acordo às diretrizes ambientais, indicadores objetivos foram sugeridos para a etapa de análise da viabilidade de projetos de implementação. À vista disso, as medidas de conservação ambiental e de mitigação de impactos negativos às áreas irrigadas devem envolver aspectos abióticos, especialmente referentes ao uso do solo; bióticos, como conservação de áreas úmidas e remanescentes de vegetação nativa; e socioeconômicos e culturais, não limitando a

comunidade pelo seu espaço geográfico e sim incluindo suas fronteiras sociais, culturais, econômicas e políticas.

A atual conjuntura da agricultura mundial abre espaço para que estudiosos invistam recursos para expandir temáticas correlacionadas ao manejo sustentável dos recursos naturais, à diversificação de culturas (especialmente, culturas de cobertura) e ao desenvolvimento de variedades mais resistentes às condições climáticas adversas, paralelamente à implementação de sistemas de irrigação mais eficientes.

Dessarte, considerando a necessidade de que tecnologias sejam desenvolvidas a fim de que a agricultura se torne, cada vez mais, resiliente às mudanças do clima, instiga-se a continuidade do presente estudo como forma de inventariar técnicas factíveis, alternativas ou complementares à prática de irrigação, incluindo análise comparativa entre os investimentos necessários para implantação das respectivas iniciativas.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA, 2019.

Agência Nacional de Águas (Brasil); IBGE. Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017). Brasília: ANA, 2020.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - 2. ed. Brasília: ANA, 2021.

Alfadil, A.A. et al. Wheat straw biochar application improves the morphological, physiological, and yield attributes of maize and the physicochemical properties of soil under deficit irrigation and salinity stress. J. Plant Nutr. 2021. 44 (16), 2399–2420.

Andrade, C. L. T. et al. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2006.

Barbosa, V. C. R.; Brisola, M.V. Além dos campos: as prospecções tecnológicas sustentáveis da EMBRAPA para o agronegócio brasileiro. Revista de Economia e Sociologia Rural, 2024. https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.270441pt.

De Wrachien, D., Schultz, B., Goli, M.B. Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: a world-wide view. Irrig. Drain. 70, 981–995. 2021. https://doi.org/10.1002/ird.2597.

Embrapa Arroz e Feijão. Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a 2018): área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020.

FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk. New York. 2011.

FAO. WORLD FOOD AND AGRICULTURE – STATISTICAL POCKETBOOK. 2018. Rome. 254 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO/OECD (Food and Agriculture Organization of the United Nations/Organisation for Economic Co-operation and Development). 2021. Water and Agriculture: An Issues Note Produced for the G20 Presidency of the Kingdom of Saudi Arabia. Rome, FAO. www.fao.org/3/cb2392en/CB2392EN.pdf.

FAO/UN-Water. 2021. Progress on the Level of Water Stress: Global Status and Acceleration Needs for SDG Indicator 6.4.2. Rome, FAO. doi.org/10.4060/cb6241en.

Gerts, J., Juliev, M., Pulatov, A. Multi-temporal monitoring of cotton growth through the vegetation profile classification for Tashkent province, Uzbekistan. GeoScape 14, 62–69. 2020. https://doi.org/10.2478/geosc-2020-0006.

GV AGRO. Estudo sobre Eficiência do Uso da Água no Brasil: Análise do Impacto da Irrigação na Agricultura Brasileira e Potencial de Produção de Alimentos face ao Aquecimento Global. Centro de Estudos do Agronegócio - FGV AGRO, 2016. Disponível em: <https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-03/Sumario_Irrigacao-Site-FINAL%20%282%29.pdf>.

International Finance Corporation. Impact of efficient irrigation technology on small farmers. 11 de dezembro de 2014. Disponível em: <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2014/impact-efficient-irrigation-technology-small-farmers#:~:text=IFC%20recently%20commissioned%20a%20series%20of%20studies%20to,can%20have%20on%20smallholders%E2%80%99%20farming%20practices%20and%20livelihoods>.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: MCCARTHY, J.J. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1032, 2001.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge: IPCC, p. 18, 2007.

Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017). Brasília: ANA & Embrapa, 2019.

Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

Lista de bases e coleções. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/lista-a-z-bases.html>.

Pesquisa valia método de irrigação de cana como estratégia às mudanças climáticas. 9 de julho de 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/90682903/pesquisa-valida-metodo-de-irrigacao-de-cana-como-estrategia-as-mudancas-climaticas>.

Rey, D. et al. Modelling and mapping the economic value of supplemental irrigation in a humid climate, Agricultural Water Management, Volume 173, 2016, Pages 13-22, ISSN 0378-3774, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.017.

Rodrigues, G. S. Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa - Fundamentos, princípios e introdução à metodologia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998a. 66 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 14).

Rodrigues, G. S.; Irias, L. J. M. Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

Rodrigues, L. N. Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável / editores técnicos, Lineu Neiva Rodrigues, Antonio Félix Domingues - Brasília, DF: INOVAGRI, 2017.

Silva, C. L.; Sgarbossa, M.; Grzybovski, D.; Mozzato, A. R. Manual prático para estudos bibliométricos com o uso do Biblioshiny [recurso eletrônico]. Passo Fundo: EDIUPF, 2022.

Singh, A. Managing the salinization and drainage problems of irrigated areas through remote sensing and GIS techniques. Ecol. Indic. 89, 584–589. 2018. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.041.

Wang, T. Y.; Chien, S. C. The influences of technology development on economic performance: the example of ASEAN countries. Technovation, 27(8), 471-488, 2007.

Workshop on Adoption of Technologies for Sustainable Farming Systems, 2000, Wageningen. Proceedings… Paris: OECD, 2001. 149 p.

Yan, S. et al. A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system, Journal of Cleaner Production, Volume 262, 2020, 121279, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121279.