

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PANORAMA CIENTÍFICO DAS PESQUISAS SOBRE NASCENTES NO PERÍODO 1980 A 2024 – UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

*Íris Maria Souza Saraiva¹ ; Celme Torres Ferreira da Costa²; Ana Rute Batista Pereira³;
Francisco Dreno Viana da Silva⁴; Rayanne Bezerra de Melo⁵; Adélia Alencar Brasil⁶ &
Francisco José de Paula Filho⁷*

Abstract: Springs are strategic elements for water security and socio-environmental sustainability, being essential to ecosystem maintenance and the supply of both rural and urban communities. Considering the increasing relevance of this topic in the face of climate change and natural resource degradation, this study aimed to map and analyze the international scientific production on springs between 1980 and 2024. A bibliometric analysis was conducted using the VOSviewer software as a tool for data visualization and structuring. The research was based on documents indexed in the Web of Science, Scopus, and Dimensions databases, which were processed to generate co-authorship, source co-citation, and keyword co-occurrence maps. The results revealed a significant growth in publications on the subject, highlighting the rise of interdisciplinarity and the emergence of applied approaches focused on risk assessment, water management, and environmental monitoring. International collaboration networks indicated the leading roles of countries such as the United States, China, and Germany, along with the increasing participation of Latin American countries. Thematic clusters revealed a consolidated scientific foundation, integrating hydrogeology, geochemistry, and environmental planning. It is concluded that advancing scientific knowledge about springs is essential not only to protect these critical water sources but also to reinforce their strategic role in promoting more resilient and sustainable territories. The findings underscore the relevance of springs as key units for research, conservation, and transformation in the socio-environmental contexts in which they are embedded.

Keyword – Water security; VOSviewer; Environmental sustainability.

Resumo: As nascentes constituem elementos estratégicos para a segurança hídrica e a sustentabilidade socioambiental, sendo essenciais à manutenção dos ecossistemas e ao abastecimento de comunidades rurais e urbanas. Considerando a crescente relevância do tema frente às mudanças climáticas e à degradação dos recursos naturais, este estudo teve como objetivo mapear a produção científica internacional sobre nascentes no período de 1980 a 2024. Para isso, utilizou-se a análise

1) Bolsista CNPq, Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, CE, (88) 9 9654-3452, iris.saraiva@aluno.ufca.edu.br

2) Prof. Titular, Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, CE, (88) 9 9980-1070, celme.torres@ufca.edu.br

3) Bolsista BPI/Funcap, Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, CE, (88) 9 9903-2662, anarutebpereira@gmail.com

4) Prof. Associado, Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, CE, (88) 9 9630-9928, dreno.viana@ufca.edu.br

5) Mestranda, Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, CE, (88) 9 9756-6806, rayanne.melo@aluno.ufca.edu.br

6) Professora, Universidade Regional do Cariri, Rua Cel. Antonio Luiz, 11 – Pimenta, Crato, CE, (88) 9 9942-2753, adeliaalencar@gmail.com

7) Prof. Associado, Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, CE, (88) 9 9782-1278, francisco.filho@ufca.edu.br

bibliométrica como método e o software VOSviewer como ferramenta de visualização e estruturação dos dados. A pesquisa foi conduzida a partir de documentos indexados nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions, os quais foram tratados e processados para gerar mapas de coautoria, cocitação de fontes e coocorrência de palavras-chave. Os resultados revelaram um crescimento expressivo nas publicações sobre o tema, com destaque para o aumento da interdisciplinaridade e a emergência de abordagens aplicadas, voltadas à avaliação de riscos, à gestão da água e ao monitoramento ambiental. As redes de colaboração internacional evidenciaram o protagonismo de países como Estados Unidos, China e Alemanha, bem como a inserção crescente de países da América Latina. Os *clusters* temáticos indicam uma base científica consolidada, articulando hidrogeologia, geoquímica e planejamento ambiental. Conclui-se que conhecer cientificamente as nascentes é um passo essencial para protegê-las e integrar seu papel estratégico na promoção de territórios mais resilientes e sustentáveis, bem como reforçam sua importância como unidades-chave de pesquisa, conservação e transformação nos contextos socioambientais em que estão inseridas.

Palavras-Chave – Segurança hídrica, VOSviewer, sustentabilidade ambiental.

INTRODUÇÃO

As nascentes constituem a origem dos cursos d'água e desempenham papel fundamental na manutenção dos ecossistemas aquáticos, na segurança hídrica e no desenvolvimento de comunidades rurais e urbanas (Davis et al., 2017). Como fontes primárias de água doce, seu papel vai além da dimensão ecológica: elas são estratégicas para a agricultura, o abastecimento e a preservação da biodiversidade, tornando-se elementos-chave para a sustentabilidade ambiental (Braga, 2011). A crescente degradação desses ambientes e as pressões provocadas pelas mudanças climáticas e pelo uso intensivo do solo têm ampliado o interesse científico sobre sua conservação e manejo (Silva et al., 2024). Do ponto de vista hidrológico, as nascentes representam zonas de transição entre os sistemas subterrâneos e superficiais, assegurando a regularidade do fluxo hídrico e contribuindo para o funcionamento das bacias hidrográficas (Felippe & Magalhães Junior, 2009). A sua proteção é, portanto, essencial para manter os serviços ecossistêmicos e promover a resiliência dos territórios frente aos eventos extremos e à escassez hídrica. No entanto, apesar de sua importância reconhecida, ainda existe uma carência de estudos integrativos que sistematizem a produção científica sobre o tema em escala global, o que pode auxiliar na identificação de lacunas, tendências e perspectivas emergentes (Sousa, 2021).

Nesse contexto, a bibliometria configura-se como uma ferramenta estratégica para analisar o estado do conhecimento científico, permitindo a mensuração de tendências, a identificação de autores, instituições e redes colaborativas, além da delimitação dos principais eixos temáticos (Araújo, 2006). Como apontam Guedes e Borschiver (2005), a bibliometria contribui para compreender a dinâmica de produção do saber, tornando-se particularmente útil em campos interdisciplinares como os estudos sobre recursos hídricos. Adicionalmente, ela fornece subsídios para decisões sobre políticas de pesquisa e gestão ambiental ao mapear com precisão as contribuições e lacunas existentes (Vanti, 2002). No estudo empregou-se o *software* VOSviewer, que permite a visualização de redes e agrupamentos, facilitando a compreensão das conexões entre pesquisadores, instituições e temas abordados. A análise foi realizada nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions, proporcionando um retrato abrangente e comparativo da evolução da pesquisa sobre nascentes ao longo de sete décadas. Ao sistematizar o conhecimento científico sobre nascentes, este trabalho reforça a importância das águas como pontos de conexão entre ciência, gestão territorial e saberes locais, essenciais para construir soluções sustentáveis e integradas nos diferentes contextos socioambientais.

Dessa forma, o objetivo do trabalho é mapear a produção científica internacional sobre nascentes, identificando os principais autores, países, periódicos, colaborações e temáticas recorrentes e emergentes. Os resultados visam contribuir para o fortalecimento das políticas públicas voltadas à gestão dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de estratégias integradas de conservação das nascentes.

METODOLOGIA

A presente pesquisa é caracterizada como bibliográfica, descritiva e quantitativa, com aplicação de técnicas de análise bibliométrica. O estudo tem como foco a sistematização da produção científica relacionada às nascentes, empregando o *software* VOSviewer como ferramenta central para a construção e visualização de mapas de redes científicas. O delineamento metodológico foi estruturado a partir do protocolo proposto por Zupic e Čater (2015), que organiza as etapas de uma análise bibliométrica em cinco fases: (i) definição da questão de pesquisa e objetivos; (ii) seleção das bases de dados; (iii) extração dos dados e refinamento da amostra; (iv) análise e visualização dos dados; e (v) interpretação e síntese dos resultados.

Definição da abordagem e palavra-chave

Inicialmente, buscou-se delimitar o campo temático da pesquisa com base na relevância ambiental, hidrológica e científica das nascentes. Para captar de forma precisa a produção científica internacional sobre o tema, diversas expressões-chave foram testadas, como “*spring*”, “*spring AND water*” e “*springwater*”. Contudo, devido à polissemia da palavra “*spring*” no idioma inglês, foi escolhida a expressão “*spring-water*”, que se mostrou mais eficaz em recuperar publicações diretamente relacionadas ao conceito hidrológico de nascentes.

Seleção das Bases de Dados

A coleta de dados foi realizada nas três principais bases bibliográficas de caráter multidisciplinar e alto impacto científico: Web of Science (WoS), Scopus e Dimensions. Essas bases foram selecionadas por sua ampla cobertura de publicações indexadas em engenharia, recursos hídricos e ciências ambientais, além da compatibilidade com o VOSviewer.

Na Web of Science, a busca inicial retornou 4.591 documentos. Após a aplicação de filtros por área temática (recursos hídricos e engenharia), obteve-se uma amostra refinada de 1.098 artigos, dos quais 818 foram selecionados após tratamento. Na Scopus, os 8.545 resultados iniciais foram reduzidos para 1.681 artigos após filtragem por áreas de Engenharia e Ciências Ambientais e pela expressão “água de nascentes”. Após o tratamento, 1.253 artigos foram considerados válidos. Na Dimensions, a busca inicial resultou em 91.771 documentos. Após filtros por área (ciência ambiental e hidrologia), restaram 1.332 publicações, das quais 988 compuseram a amostra final.

Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados ocorre por meio da organização e checagem de informações. Este processo resultou na eliminação de artigos duplicados e aqueles sem correspondência temática clara com o conceito de nascentes. A identificação de duplicidade utilizou a correspondência de DOI e, na ausência deste, comparação manual por título. Para verificar a aderência temática, utilizou-se uma estratégia com palavras-chave relacionadas em títulos, resumos e descritores. Também foram excluídos artigos com metadados incompletos (sem autor, ano, título ou palavras-chave). Ao final desse processo, a amostra consolidada reuniu 3.059 publicações válidas nas três bases, totalizando um corpus robusto para análise quantitativa e visual.

Análise e Visualização com o VOSviewer

Com os dados tratados, foram gerados mapas bibliométricos utilizando o VOSviewer. A ferramenta foi utilizada nas seguintes modalidades de análise: (i) Coocorrência de palavras-chave, identificando os termos mais frequentes e seus agrupamentos temáticos; (ii) Mapa de coautoria de países, evidenciando colaborações internacionais entre instituições; (iii) Mapa de citação de fontes, destacando os periódicos mais referenciados e suas inter-relações e (iv) Mapa *overlay* de palavras-chave, aplicando uma escala temporal de evolução temática ao longo dos anos.

Por se tratar de pesquisa com dados secundários e públicos, adotaram-se princípios de integridade científica, com citação adequada das fontes e respeito à originalidade dos dados. Uma limitação do estudo está associada à ausência de bases regionais ou não indexadas internacionalmente, o que pode subestimar a produção de países em desenvolvimento. Ainda assim, a triangulação entre a Web of Science (WoS), Scopus e Dimensions oferece uma cobertura suficientemente abrangente para os objetivos propostos.

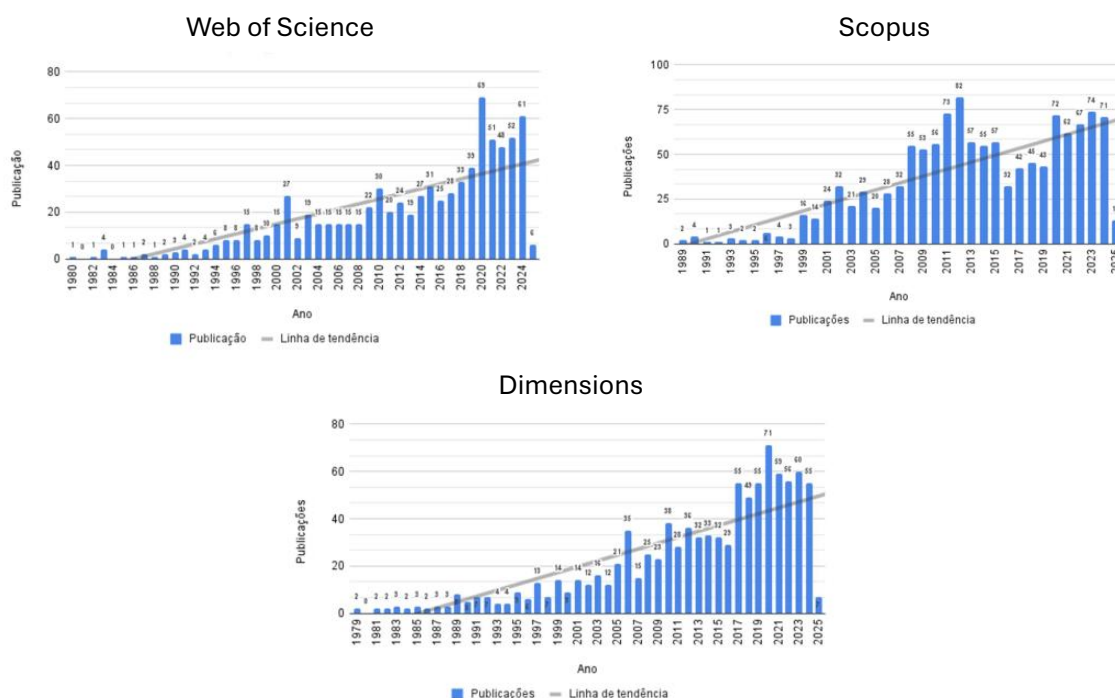
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa sessão são apresentados os resultados e a discussão que permite compreender como a temática das nascentes tem sido abordada na literatura científica internacional, evidenciando avanços conceituais, áreas prioritárias de pesquisa e lacunas ainda pouco exploradas no campo dos recursos hídricos.

Evolução Temporal da Produção Científica

A análise temporal da produção científica nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions, apresentada na Figura 1, revelou uma tendência crescente nas publicações sobre nascentes a partir dos anos 2000, com destaque para os anos de 2012 a 2020 como marcos de maior produtividade nas bases Web of Science e Scopus, respectivamente.

Figura 1 - Evolução anual das publicações sobre nascentes nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions.

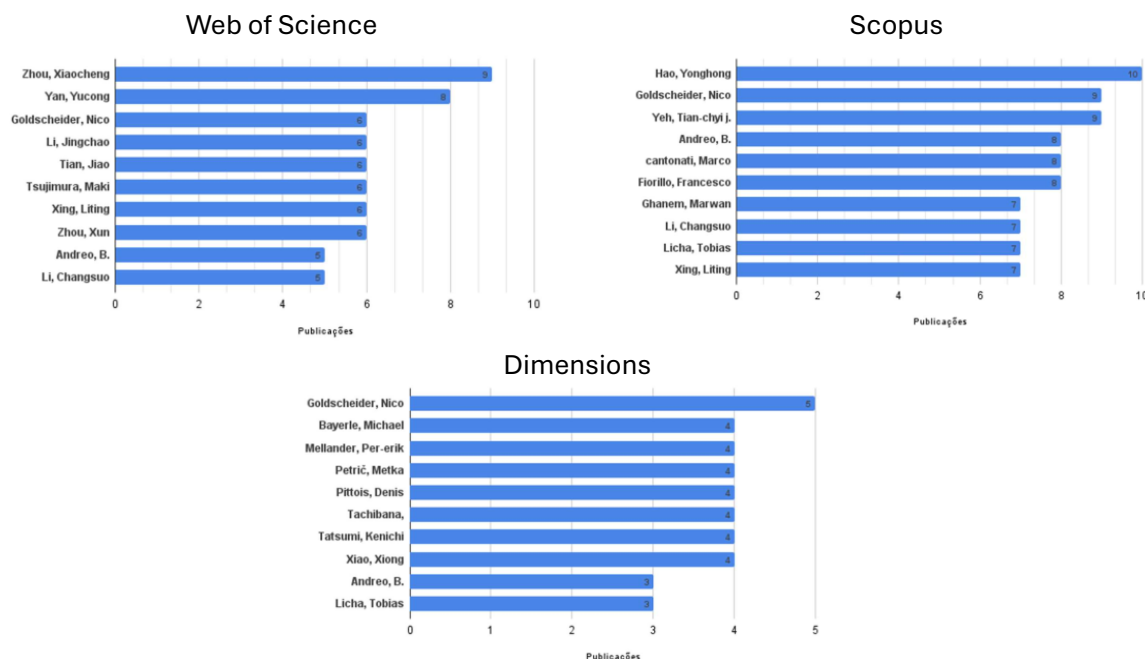


A curva ascendente, comum às três bases, reflete o aumento do interesse científico diante das crises hídricas globais e da emergência dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, sobretudo o ODS 6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água. A partir de 2005, observa-se uma intensificação significativa na base Dimensions, indicando um esforço ampliado de documentação, inclusive com inserção de documentos e materiais acadêmicos, técnicos ou institucionais que não são publicados comercialmente ou que não estão disponíveis por meios editoriais convencionais, como periódicos científicos com revisão por pares.

Autores Mais Produtivos e Recorrência em Diferentes Bases

A análise dos autores mais produtivos demonstrou recorrência de nomes relevantes em múltiplas bases, evidenciando sua consolidação na temática. Destaca-se Goldscheider Nico, presente como autor de destaque nas três plataformas, com atuação concentrada em hidrogeologia cárstica e modelagem de aquíferos. Outros autores recorrentes, como Andreo B., Xing Liting e Licha Tobias reforçam a presença de uma comunidade científica estável e interconectada. A Figura 2 mostra os autores mais produtivos em cada base de dados, com destaque para recorrências dos autores que aparecem em mais de uma base, evidenciando sua relevância consolidada no campo das pesquisas sobre nascentes.

Figura 2 - Autores com maior número de publicações sobre nascentes nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions.

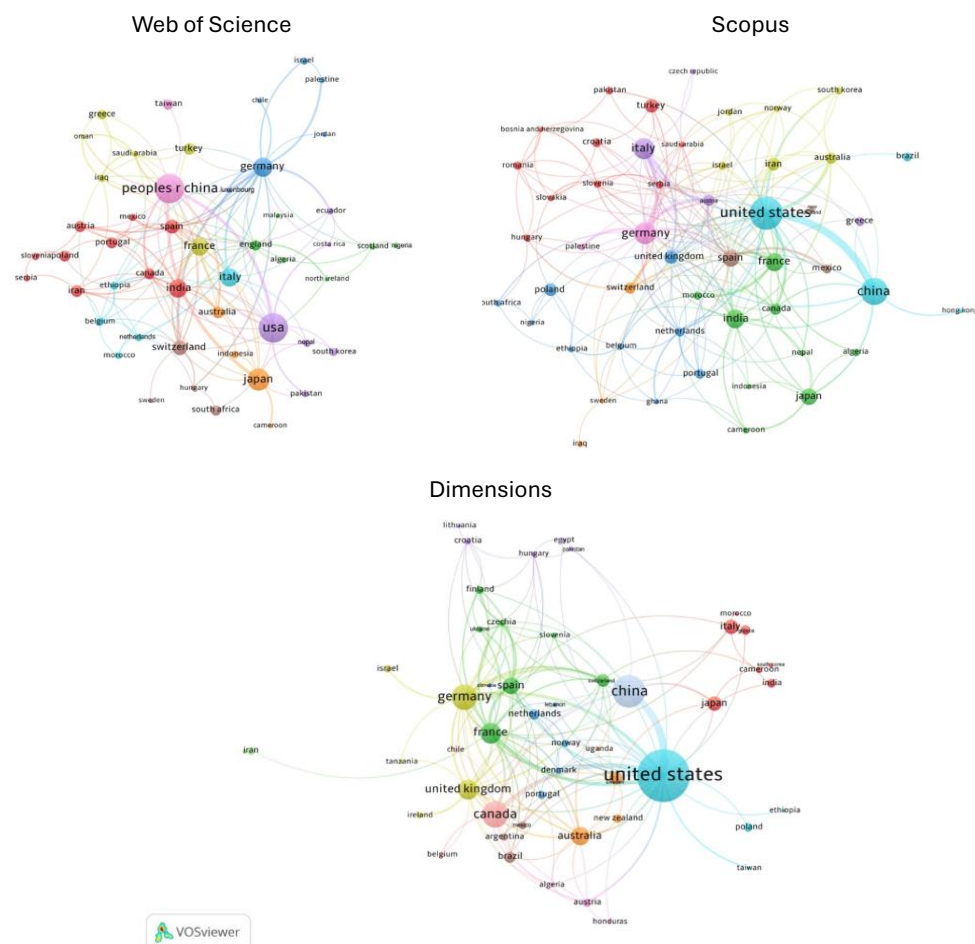


Mapa de Coautoria de Países

Os mapas de coautoria destacaram Estados Unidos e China como núcleos centrais de colaboração internacional. Ambos os países não apenas lideram em número absoluto de publicações, mas também atuam como *hubs* que conectam diversos países periféricos, como Brasil, Irã e Etiópia. A Alemanha, França e Itália também desempenham papel relevante, especialmente em redes intraeuropeias. As conexões observadas sugerem que diversos fatores como acordos bilaterais de ciência e tecnologia, língua comum e projetos multinacionais contribuem significativamente para a formação dos *clusters*. A inclusão mais marcante de países da América Latina, como Brasil e Argentina, na base Dimensions pode indicar maior cobertura da produção regional nesta base. A Figura 3 apresenta as redes de colaboração científica internacional no tema das nascentes. Os

tamanhos dos nós representam a produtividade de cada país, enquanto a espessura das conexões indica a intensidade das parcerias entre os países.

Figura 3 – Mapas de coautoria entre países nas publicações sobre nascentes nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions



Coocorrência Focalizada de Palavras-Chave

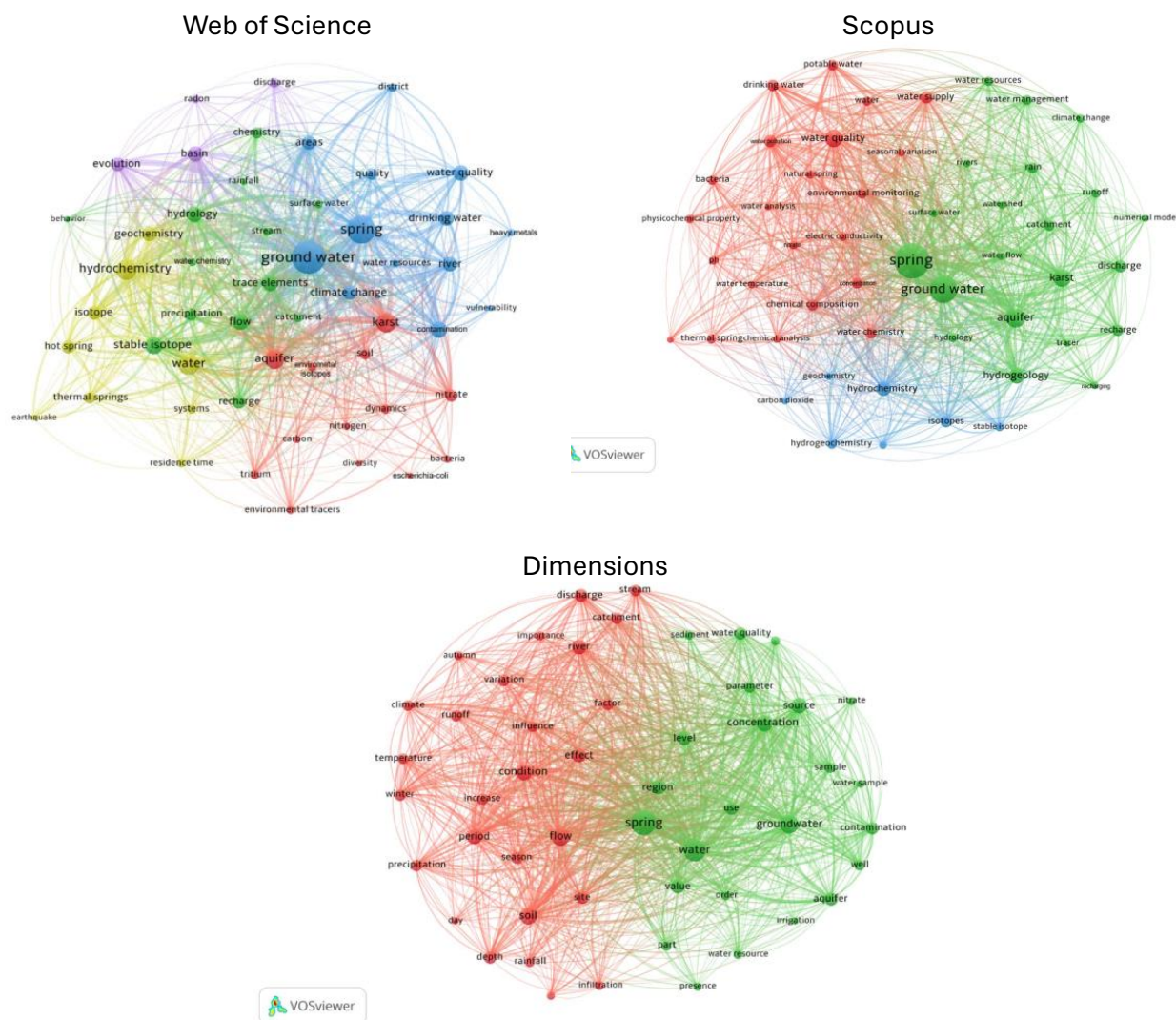
Figura 4 apresenta os mapas de coocorrência de palavras-chave evidenciando a estrutura temática da produção científica sobre nascentes entre 1980 e 2024. A análise realizada permitiu a identificação de *clusters* inter-relacionados, que revelam os principais eixos conceituais e metodológicos da área. Entre os termos centrais recorrentes destacam-se *spring*, *groundwater*, *aquífer*, *karst* e *water quality*, os quais compõem o núcleo temático vinculado à hidrogeologia e à dinâmica dos aquíferos.

Cada base contribuiu com especificidades importantes: a Web of Science apresentou cinco agrupamentos distintos, com foco em hidrogeologia cárstica, geoquímica isotópica, contaminação por metais pesados e gestão de bacias; a Scopus destacou termos associados à qualidade da água e processos geoquímicos; a base Dimensions enfatizou aspectos climáticos, uso e ocupação do solo e impactos da agricultura. *Clusters* complementares evidenciaram a incorporação de abordagens voltadas à avaliação de riscos ambientais, saúde pública e planejamento territorial, com destaque para os termos *climate change*, *precipitation*, *land use* e *vulnerability*.

A presença de termos como *stable isotope*, *hydrochemistry*, *tracers* e *residence time* demonstra o avanço técnico das pesquisas, sobretudo na caracterização de fluxos subterrâneos e no

monitoramento da qualidade da água. Esses resultados confirmam a natureza multidisciplinar e aplicada da temática, articulando saberes das ciências da água, geociências, ecologia e políticas públicas. A configuração dos *clusters*, portanto, não apenas delimita os subcampos emergentes e consolidados, como também reforça a centralidade das nascentes na agenda científica atual voltada à segurança hídrica e sustentabilidade dos ecossistemas.

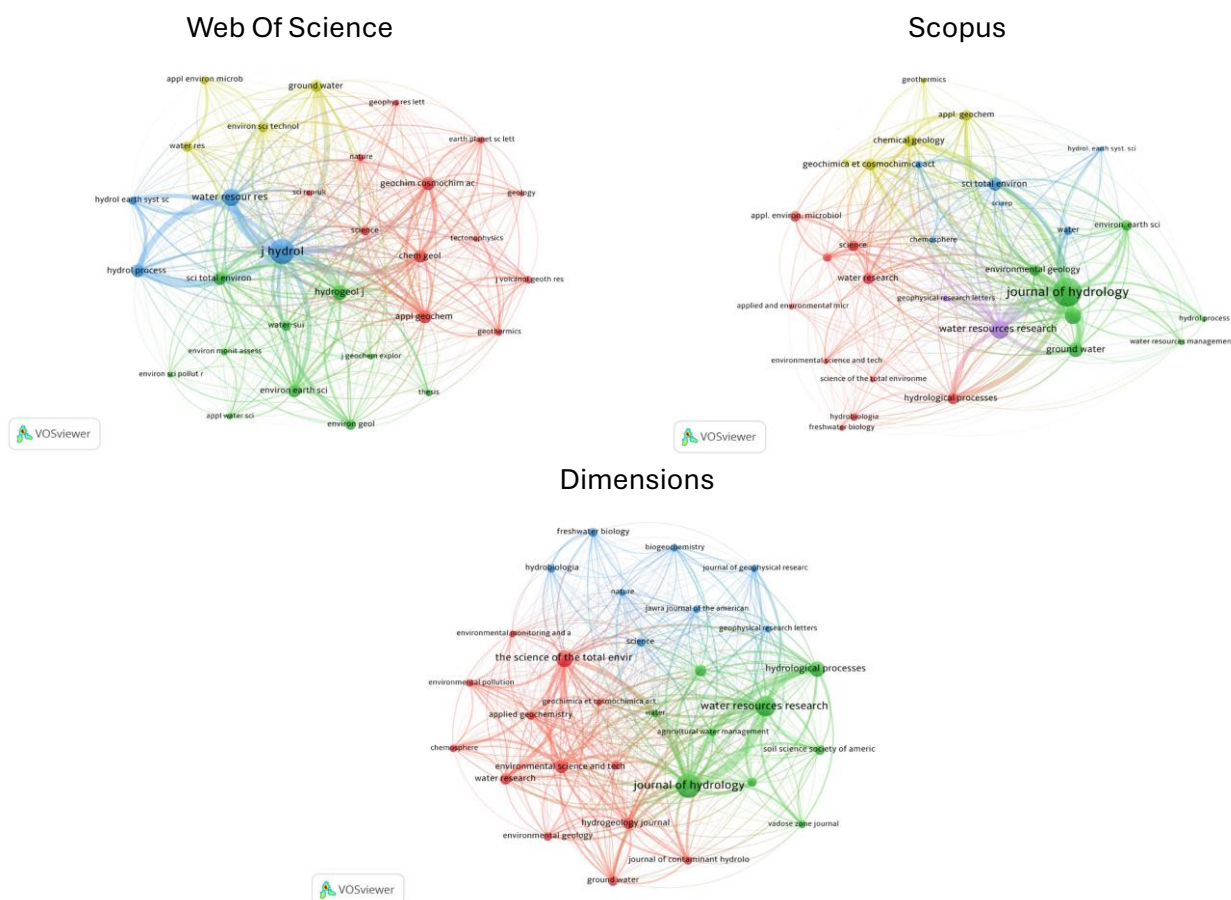
Figura 4 – Mapas de coocorrência de palavras-chave em publicações sobre nascentes nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions



Mapa de Cocitação de Fontes

A análise de cocitação das fontes reforça a centralidade de periódicos da hidrologia e ciências ambientais no campo das nascentes. O *Journal of Hydrology* foi consistentemente o mais cocitado nas três bases, seguido por *Hydrological Processes* e *Water Resources Research*, evidenciando a solidez teórica da área. A presença de periódicos como *Science of the Total Environment*, *Environmental Pollution* e *Geochimica et Cosmochimica Acta* revela a consolidação de abordagens interdisciplinares, envolvendo geoquímica, qualidade da água e ecologia. As redes de cocitação foram mais densas e interligadas na Dimensions, refletindo sua cobertura ampla e atualização recente de fontes. A Figura 5 apresenta os periódicos mais cocitados nas publicações sobre nascentes, organizados em *clusters* temáticos. O tamanho dos nós representa o volume de citações, e as cores indicam grupos de periódicos com afinidades bibliográficas e temáticas.

Figura 5 – Mapas de cocitação de fontes nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions.



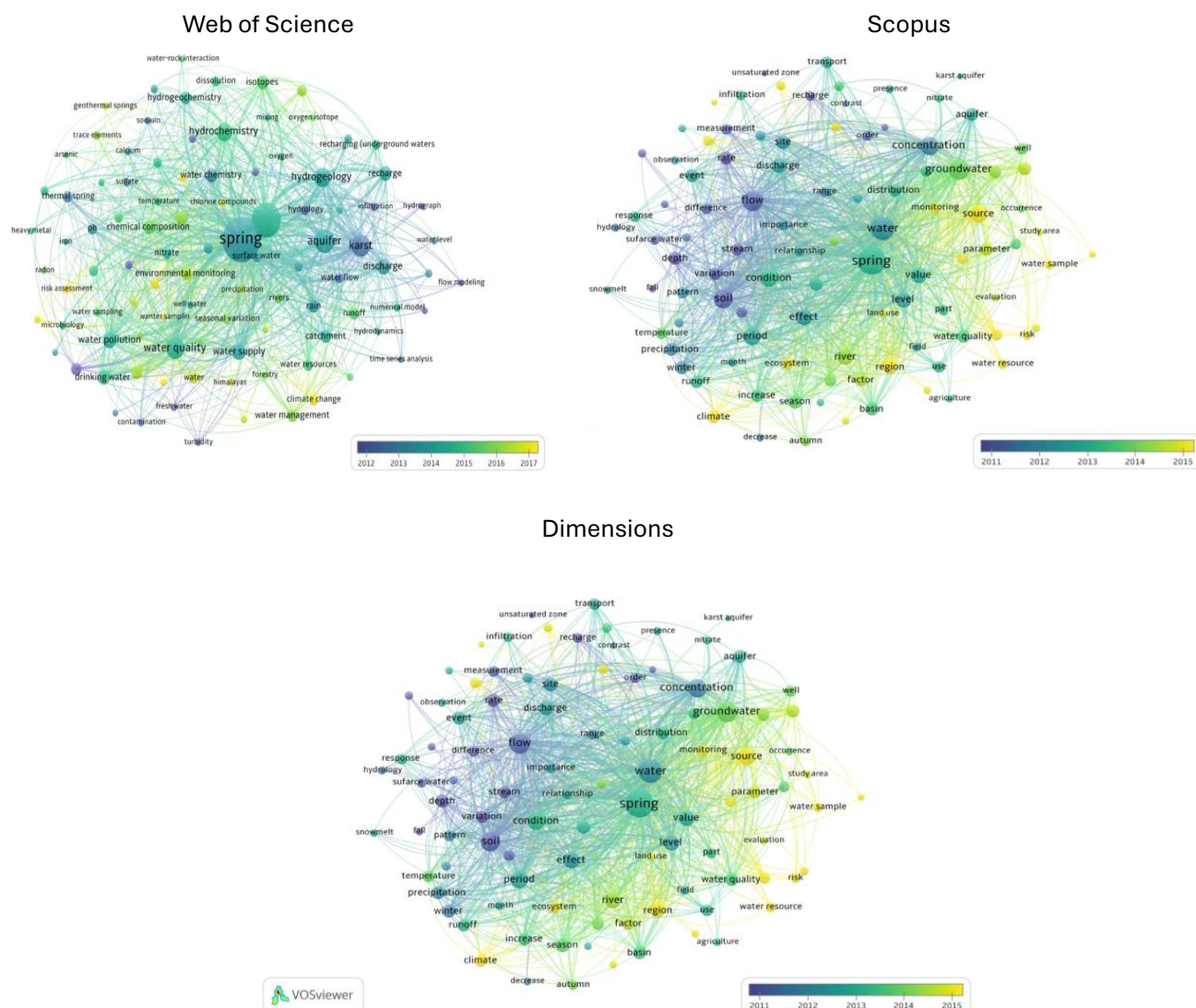
Coocorrência *Overlay* de Palavras-Chave: Tendências temporais

Os mapas *overlay*, apresentados na Figura 6, evidenciaram uma importante transformação temática ao longo do tempo nas publicações científicas sobre nascentes. Nas três bases analisadas, observa-se que termos como *precipitation*, *karst*, *hydrology* e *geochemistry* foram predominantes nos estudos mais antigos (período entre 2010 e 2015), refletindo uma ênfase inicial na compreensão físico-natural das nascentes, com foco nos sistemas aquíferos, dinâmicas geológicas e caracterização hidroquímica.

Em contraste, as palavras-chave com média de ocorrência mais recente — como *climate change*, *risk assessment*, *environmental monitoring*, *drinking water* e *water management* — apontam para uma inflexão temática no campo. Essa mudança indica uma crescente preocupação da literatura científica com questões aplicadas e de relevância socioambiental, alinhadas às agendas globais de sustentabilidade e segurança hídrica.

O surgimento e a intensificação dessas temáticas sugerem um movimento de aproximação entre as ciências naturais e os estudos interdisciplinares voltados à gestão integrada dos recursos hídricos, planejamento territorial e resposta a eventos extremos. Além disso, a incorporação de termos relacionados à qualidade da água e ao monitoramento ambiental revela a crescente valorização de abordagens diagnósticas e preventivas, fundamentais para a formulação de políticas públicas e estratégias de conservação voltadas às nascentes como unidades-chave da paisagem hidrológica (MBAO, 2022).

Figura 6 – Mapas de coocorrência de palavras-chave com sobreposição temporal nas bases Web of Science, Scopus e Dimensions.



CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam um crescimento contínuo do interesse acadêmico pelo tema, especialmente a partir dos anos 2000, em consonância com o avanço das agendas internacionais voltadas à segurança hídrica, à sustentabilidade ambiental e ao enfrentamento das mudanças climáticas. As redes de coautoria destacaram a forte atuação de países centrais como Estados Unidos e China, além da presença crescente de colaborações em países latino-americanos e africanos, especialmente na base Dimensions. A coocorrência de palavras-chave revelou a centralidade dos estudos hidrogeológicos e de qualidade da água, além do surgimento de abordagens interdisciplinares que envolvem geoquímica, gestão de riscos e planejamento ambiental. Os mapas *overlay* confirmaram a transição temática da literatura, com ênfase crescente em soluções aplicadas, como *risk assessment* e *water management*, frente aos desafios contemporâneos impostos à conservação das nascentes.

A análise de cocitação reforçou a importância de periódicos consolidados nas ciências da água, ao mesmo tempo em que revelou a articulação de áreas como ecologia, saúde ambiental e geociências. Assim, o presente estudo não apenas sistematiza o estado atual da pesquisa sobre nascentes, mas também identifica lacunas e oportunidades para futuros trabalhos, especialmente aqueles voltados à integração entre ciência, política pública e saberes territoriais. Dessa forma, esta investigação contribui para fortalecer o entendimento das nascentes como unidades estratégicas de pesquisa e gestão, reafirmando sua relevância na promoção de territórios mais resilientes e sustentáveis. Os achados deste estudo evidenciam que conhecer cientificamente as nascentes é passo essencial para protegê-las e potencializar sua função transformadora nos contextos socioambientais onde se inserem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido à pesquisa, por meio da Chamada Universal CNPq/MCTI Nº 10/2023. O fomento proporcionado vem contribuindo diretamente para o avanço do conhecimento sobre nascentes e sua integração na agenda científica dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.
- BRAGA, B. Recursos Hídricos e Sustentabilidade. *Revista USP*, São Paulo, n. 89, p. 22–35, 2011.
- DAVIS, R. K.; MORRIS, L.; BURTON, G. A. Springs: Environmental Significance and Management Needs. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 17, p. 1–10, 2017.
- FELIPPE, M. E. R.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Nascentes: características e importância ecológica. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 9, n. 1, p. 115–123, 2009.
- GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. *Encontro Nacional de Ciência da Informação*, Salvador, v. 6, p. 1–18, 2005.
- MBAO, Evance Omondi et al. A bibliometric study on the use of diatoms in water quality monitoring and bioassessment in Africa across 10-year (2012–2022) period. *Aquatic Sciences*, v. 84, n. 4, p. 58, 2022.
- SILVA, L. M. et al. Conservação de nascentes e estratégias para segurança hídrica em tempos de mudança climática. *Revista Brasileira de Recursos Naturais*, v. 14, n. 2, p. 45–58, 2024.
- SOUSA, M. C. M. Panorama da produção científica sobre nascentes no Brasil. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 23–39, 2021.
- VANTI, N. A. P. A bibliometria e sua utilização na biblioteconomia e na ciência da informação. *Em Questão*, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 11–30, 2002.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. In: *Measuring Scholarly Impact*. Springer, Cham, 2014. p. 285–320. (Uso do VOSviewer).
- ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.