

Mapeamento da Produção Científica sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água: Uma Análise Bibliométrica na Base Scopus

Bruno Pereira Diniz (UFCG-CDSA) *bruno.pereira@estudante.ufcg.edu.br*

Daniel Augusto de Moura Pereira (UFCG-CDSA) *danielmoura@ufcg.edu.br*

Hugo Moraes de Alcântara (UFCG-CDSA) *hugo.morais@professor.ufcg.edu.br*

Resumo

A análise de dados aplicada à qualidade da água é fundamental para compreender as condições físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos, bem como sua adequação aos diferentes usos, como abastecimento humano, irrigação, dessedentação animal e preservação ambiental. Essa abordagem contribui para diagnósticos mais precisos, intervenções preventivas e decisões técnicas fundamentadas, promovendo a proteção dos recursos hídricos e a segurança hídrica das populações. Dessa forma, dada a importância da análise de dados na gestão da qualidade da água, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica acerca das publicações de trabalhos na base Scopus, considerando publicações entre os anos de 1984 a 2025 após aplicação de filtros. Foram identificados 804 trabalhos relacionados a essa temática. A análise foi realizada utilizando o software Bibliometrix, que forneceu informações sobre a produção ao longo do tempo, produção por ano, nuvem de palavras, rede de co-ocorrência, mapa temático e rede de colaboração entre países. Além disso, na própria base Scopus foi utilizada a funcionalidade “*analyze search results*”, por meio da qual foi possível obter as informações sobre a produção científica anual, países com mais produções e principais áreas por documento. O software também permitiu identificar as principais temáticas, bem como as que estão emergindo ou em declínio. Isso possibilitou compreender as características e particularidades dos trabalhos nesse campo, além de revelar as lacunas existentes, sendo essas demonstradas em gráficos sobre a produção científica da análise de dados na gestão da qualidade da água.

Palavras-Chaves: *Gestão Hídrica, Qualidade da Água, Análise de dados, Bibliometria, Bibliometrix.*

1. Introdução

A gestão da qualidade da água é um dos pilares fundamentais da sustentabilidade ambiental e da segurança hídrica em escala global. A crescente pressão sobre os recursos hídricos, provocada pela urbanização acelerada, pela intensificação das atividades industriais e agrícolas e pelos efeitos das mudanças climáticas, exige o aprimoramento de estratégias que garantam a disponibilidade e a qualidade desse recurso essencial à vida (Dixit et al., 2022).

Nesse contexto, o uso de inteligência e análise de dados tem se consolidado como ferramenta indispensável para apoiar decisões baseadas em evidências e promover uma gestão mais eficiente e integrada dos sistemas hídricos (Ncube; Ngulube, 2024).

O avanço das tecnologias digitais e o acesso a grandes volumes de informações ambientais permitem hoje a aplicação de abordagens analíticas capazes de identificar padrões, prever cenários e otimizar o monitoramento da qualidade da água. Ferramentas de business intelligence (BI), como o Power BI, associadas a métodos de análise estatística, mineração de dados e visualização interativa, vêm sendo amplamente utilizadas para transformar dados brutos em conhecimento estratégico (Adewusi et al., 2024).

Essas tecnologias facilitam a compreensão de indicadores e índices de qualidade da água, subsidiando políticas públicas, processos de regulação e ações de planejamento voltadas à sustentabilidade dos recursos hídricos (Alexakis, 2021).

Entretanto, a produção científica sobre a aplicação da inteligência e análise de dados na gestão da qualidade da água ainda se apresenta dispersa entre diferentes áreas do conhecimento, como engenharia ambiental, ciência da computação, geoprocessamento e políticas públicas (Miller et al., 2025). Essa fragmentação dificulta a identificação de tendências, lacunas e convergências entre os estudos, limitando o avanço integrado da pesquisa e o desenvolvimento de soluções inovadoras no campo da gestão ambiental (Ezeigweneme et al., 2025).

Diante disso, a análise bibliométrica surge como uma ferramenta eficaz para compreender o estado da arte dessa temática. Por meio do mapeamento de publicações, autores, países, redes de coautoria e palavras-chave, a bibliometria permite identificar os principais focos de investigação, a evolução histórica do tema e as áreas emergentes de pesquisa.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo geral conduzir uma análise bibliométrica ampla sobre a produção científica relacionada à inteligência e análise de dados aplicada à qualidade da água publicadas na base Scopus. O estudo busca identificar lacunas existentes na literatura, oferecendo uma visão comparativa entre as abordagens globais e

nacionais. Ao sistematizar esse conhecimento, pretende-se contribuir para o direcionamento de pesquisas futuras e para o aprimoramento das políticas públicas no setor.

2. Referencial Teórico

Essa seção refere-se ao referencial teórico, elaborado a partir de pesquisa bibliográfica, apresentando temas relacionados a gestão de recursos hídricos, qualidade da água e análise e inteligência de dados. Ademais, aborda também os conceitos da análise bibliométrica em si e a mesma no Bibliometrix.

2.1. Gestão de Recursos Hídricos

A administração dos recursos hídricos no Brasil configura-se como uma temática de elevada importância, considerando tanto a expressiva disponibilidade de água no território nacional quanto o crescimento contínuo da demanda hídrica decorrente da expansão populacional e do desenvolvimento industrial. Nesse contexto, a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº 9.433, de 1997 (Brasil, 1997), representa um marco fundamental, ao estabelecer princípios de descentralização e estimular a participação de diferentes atores no processo decisório (Diniz et al., 2024).

Essa legislação deu origem ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), responsável por articular as ações de gestão e assegurar o uso racional e sustentável da água. Todavia, a atuação do SINGREH tem sido limitada por diversas fragilidades operacionais, bem como pela necessidade de maior articulação entre os diferentes níveis de governo e a sociedade civil. Embora esta última exerça um papel relevante, ainda enfrenta entraves que dificultam uma participação mais efetiva na governança dos recursos hídricos (Marcon, 2023).

O panorama hídrico brasileiro caracteriza-se por fortes assimetrias regionais, nas quais determinadas áreas apresentam situações críticas de disponibilidade de água. Um caso emblemático é o da Bacia do Alto Tietê, responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, onde a disponibilidade hídrica per capita encontra-se significativamente abaixo da média nacional (Silva, 2023).

O avanço contínuo dos processos de urbanização e industrialização tem intensificado a pressão sobre os recursos hídricos, tornando necessárias iniciativas de transposição e captação

de água a partir de bacias adjacentes. Essas estratégias, por sua vez, acarretam relevantes desafios de ordem econômica e ambiental (Santos; Carvalho; Martins, 2023). Tal conjuntura reforça a necessidade de uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, que considere simultaneamente os aspectos quantitativos e qualitativos da água disponível (Candido, 2022).

2.2. Qualidade da Água

A qualidade da água é um conceito que envolve a avaliação integrada de parâmetros físicos, químicos e biológicos, os quais determinam sua adequação para diferentes usos, como abastecimento humano, irrigação, recreação e preservação dos ecossistemas aquáticos. Esses parâmetros refletem tanto características naturais do ambiente quanto impactos decorrentes das atividades humanas, sendo amplamente utilizados em programas de monitoramento ambiental em escala local, regional e nacional (Verma et al., 2025).

Entre os principais indicadores de qualidade da água destacam-se o pH, a turbidez, a temperatura, o oxigênio dissolvido, a condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos, os nutrientes (nitrogênio e fósforo) e os microrganismos indicadores de contaminação fecal. A variação desses parâmetros pode indicar processos de poluição difusa, lançamento de efluentes, assoreamento e alterações no regime hidrológico, afetando diretamente a disponibilidade e a segurança dos recursos hídricos (Debassi et al., 2025).

Diversos organismos internacionais ressaltam que a degradação da qualidade da água está fortemente associada ao crescimento urbano desordenado, à intensificação das atividades agropecuárias e à deficiência nos sistemas de saneamento básico. Em regiões semiáridas, esses impactos tendem a ser potencializados pela irregularidade climática e pela baixa capacidade de diluição dos corpos hídricos, tornando o monitoramento ainda mais relevante para a gestão sustentável.

2.3. Análise de Dados

A análise de dados desempenha papel importante na interpretação de informações ambientais, permitindo transformar conjuntos complexos de dados brutos em conhecimento estruturado para apoio à tomada de decisão. No monitoramento da qualidade da água, essa etapa é fundamental para compreender a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros analisados,

bem como para identificar padrões e tendências associadas a processos naturais ou antrópicos (Miller et al., 2025).

Inicialmente, técnicas de estatística descritiva são empregadas para resumir e caracterizar os dados, por meio de medidas como média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação. Essas técnicas fornecem uma visão preliminar do comportamento dos parâmetros de qualidade da água, auxiliando na identificação de valores atípicos, inconsistências e possíveis falhas de amostragem (Ghaemi; Noshadi, 2022).

Além disso, métodos estatísticos inferenciais e exploratórios permitem avaliar relações entre variáveis e testar hipóteses sobre o comportamento dos sistemas hídricos. Análises de correlação, regressão e testes de normalidade são frequentemente utilizadas para investigar associações entre parâmetros físico-químicos e fatores ambientais, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada das fontes e dos impactos da poluição (Kumar; Saharia, 2024).

2.4 Inteligência de Dados

A inteligência de dados representa uma evolução da análise tradicional, incorporando técnicas avançadas de processamento, integração e interpretação de grandes volumes de dados para geração de conhecimento acionável. Diferentemente das abordagens estatísticas clássicas, a inteligência de dados enfatiza a automação, a escalabilidade e a capacidade de adaptação dos modelos analíticos, características essenciais em contextos ambientais dinâmicos (Eboigbe et al., 2023).

Na gestão da qualidade da água, a inteligência de dados tem sido aplicada para apoiar a previsão de cenários, a identificação de padrões complexos e a detecção precoce de anomalias. O uso de algoritmos de aprendizado de máquina e mineração de dados permite explorar relações não lineares entre variáveis ambientais, ampliando a capacidade de diagnóstico e antecipação de eventos críticos, como episódios de contaminação ou escassez hídrica (Rajeev et al., 2025).

Dessa forma, a inteligência de dados consolida-se como uma ferramenta estratégica para fortalecer a governança hídrica, especialmente em cenários de mudanças climáticas e aumento da pressão sobre os recursos naturais (Kamyab et al., 2023). Ao apoiar decisões mais rápidas, transparentes e baseadas em evidências, essa abordagem contribui para a sustentabilidade e a eficiência das políticas públicas voltadas à gestão da qualidade da água.

2.5 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica é uma técnica fundamental para avaliação de resultados científicos e, especialmente no Brasil, tem sido amplamente utilizada para medir a evolução e o impacto de pesquisas em diferentes áreas do conhecimento (Pessin; Yamane; Siman, 2022).

No Brasil, a aplicação da bibliometria tem ganhado destaque, principalmente no campo da ciência da informação, onde é utilizada para mapear a produção científica e identificar tendências emergentes. Um estudo recente destacou que as técnicas de análise de conteúdo e estatística descritiva são mais utilizadas em pesquisas bibliométricas para visualizar claramente os dados e facilitar a interpretação dos resultados (Agbo et al., 2021).

Essa combinação de tecnologias é essencial para ampliar a rede de relações entre pesquisadores e proporcionar um campo de estudo mais abrangente. Além disso, a bibliometria desempenha um papel importante na avaliação dos programas de pós-graduação no Brasil e contribui para melhorar a política científica.

A mineração de textos e a geração de redes de co-ocorrência utilizando softwares como Bibliometrix, VOSviewer e Vantage Point aprimoraram essas análises para fornecer uma compreensão mais detalhada da dinâmica da produção científica no país (Oyewola; Dada, 2022). Esses avanços tecnológicos permitem que a bibliometria vá além da simples contagem de publicações e citações para integrar diferentes técnicas para explorar novas relações e padrões no desenvolvimento científico.

2.5.1. Análise Bibliométrica no Bibliometrix

Bibliometrix é uma ferramenta utilizada na análise bibliométrica para facilitar a visualização e interpretação de dados relacionados à produção científica (Passas, 2024). Desenvolvido em R, o Bibliometrix oferece uma ampla gama de funcionalidades que permitem análises complexas a serem realizadas, como construção de redes de co-ocorrência de palavras-chave, análise de citações e mapeamento da colaboração entre autores e instituições.

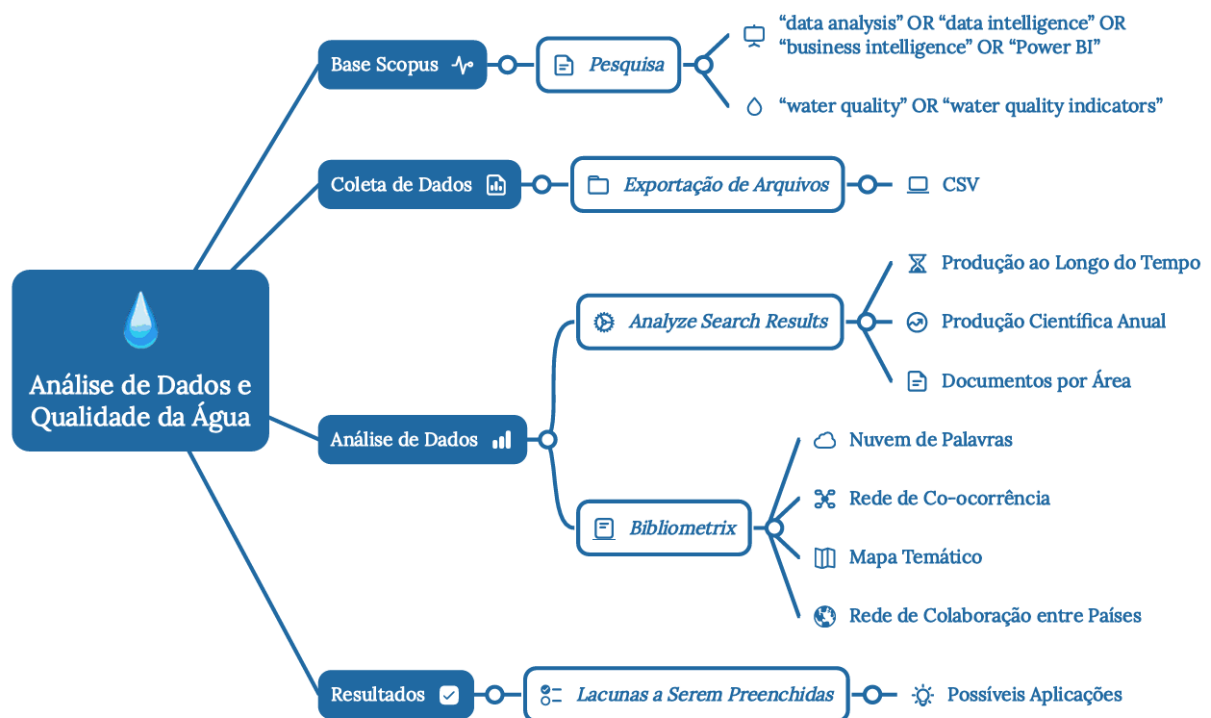
Por meio de sua interface amigável (Biblioshiny), pesquisadores podem gerar gráficos interativos e explorar grandes volumes de dados com maior facilidade, o que contribui significativamente para a popularização da bibliometria como um método de análise na ciência da informação. Essas ferramentas permitem que os pesquisadores não apenas quantifiquem a

produção científica, mas também identifiquem padrões e tendências emergentes que podem orientar pesquisas futuras (Aria; Cuccurullo, 2017).

3. Metodologia

Este estudo adota uma abordagem quantitativa com caráter exploratório. A pesquisa bibliométrica foi conduzida utilizando técnicas de mineração de dados, com informações extraídas da base Scopus, a maior base de dados científicos do mundo, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Esquema Metodológico da Pesquisa



Fonte: Autores (2026)

Os dados obtidos foram processados e analisados por meio do software Bibliometrix (Aria; Cuccurullo, 2017), uma biblioteca da linguagem R desenvolvida especificamente para estudos bibliométricos. Essa ferramenta possibilita a extração de métricas descritivas, a construção de redes de co-ocorrência de palavras-chave e a elaboração de mapas temáticos e gráficos de colaboração científica.

A estratégia de busca foi elaborada a partir de combinações de palavras-chave relacionadas aos eixos principais do estudo, inteligência de dados, análise de dados, tomada de

decisão e qualidade da água, utilizando operadores booleanos para ampliar a abrangência e a precisão dos resultados. O Power BI também foi incluído por representar uma das principais ferramentas de BI aplicadas à análise ambiental. Assim, a consulta principal na base Scopus seguiu a seguinte estrutura:

- (“*data analysis*” OR “*data intelligence*” OR “*business intelligence*” OR “*Power BI*”) AND (“*water quality*” OR “*water quality indicators*”)

O período de análise considerou filtros aplicados (seção resultados), que resultou em publicações entre os anos de 1984 e 2025. Após a coleta, os registros foram submetidos à limpeza e padronização de metadados, incluindo títulos, autores, afiliações, países e palavras-chave, a fim de garantir a consistência dos resultados.

Com base nos dados tratados, foram geradas diversas métricas bibliométricas, como:

- Evolução temporal das publicações;
- Produção por países;
- Documentos por Área
- Nuvem de palavras;
- Rede de co-ocorrência;
- Mapa temático; e
- Rede de colaboração internacional.

Esse procedimento possibilitou uma visão integrada e quantitativa sobre o desenvolvimento da pesquisa em inteligência e análise de dados na gestão da qualidade da água, contribuindo para identificar lacunas, tendências emergentes e oportunidades para futuras investigações científicas.

4. Resultados e Discussão

A pesquisa bibliométrica iniciou-se com a definição das Strings de busca, aplicada na base de dados Scopus. O resultado inicial foi de 2.718 trabalhos, como mostra a Tabela 1, o que demonstra a amplitude e a consolidação do tema na literatura internacional, cobrindo diferentes enfoques metodológicos, técnicos e geográficos.

Tabela 1 – Strings Utilizada na Pesquisa

Base de Dados	Strings de Busca	Número de Trabalhos
Scopus	(<i>“data analysis”</i> OR <i>“data intelligence”</i> OR <i>“business intelligence”</i> OR <i>“Power BI”</i>)	2.718
	AND	
	(<i>“water quality”</i> OR <i>“water quality indicators”</i>)	
	Total	2.718

Fonte: Autores (2026)

Para delimitar melhor o escopo da pesquisa, foram aplicados filtros, descritos na Tabela 2, que restringiram os resultados a artigos e papéis de conferência publicados em periódicos e anais, em inglês, espanhol e português, com publicação final e com acesso. Após esse processo, o corpus foi reduzido a 804 publicações, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 2 – Filtros Utilizados na Pesquisa

Critério	Critério de Inclusão
Tipo de Documento	Artigos e Papéis de Conferência
Tipo de Fonte	Jornal e Anais de Conferência
Publicação	Final
Idioma	Inglês, Espanhol e Português
Acesso	Acesso Aberto
Período	Até 2025

Fonte: Autores (2026)

Tabela 3 – Strings Utilizada na Pesquisa

Base de Dados	Strings de Busca	Número de Trabalhos
Scopus	(<i>“data analysis”</i> OR <i>“data intelligence”</i> OR <i>“business intelligence”</i> OR <i>“Power BI”</i>)	804
	AND	
	(<i>“water quality”</i> OR <i>“water quality indicators”</i>)	
	Total	804

Fonte: Autores (2026)

A pesquisa realizada na base Scopus identificou 804 documentos relacionados à aplicação da inteligência e análise de dados na gestão da qualidade da água, publicados entre os anos de 1984 e 2025. Os dados foram processados e analisados por meio do software Bibliometrix, o que permitiu gerar indicadores bibliométricos e gráficos interpretativos.

O sumário bibliométrico na Figura 2 apontou a existência de 804 publicações, distribuídas em 360 fontes diferentes, com 3.786 autores no total. O número médio de coautores

por artigo foi de 10, evidenciando um grau moderado de colaboração científica. A taxa média anual de crescimento das publicações foi de 11,44%, o que demonstra um crescimento moderado da temática nos últimos anos. O conjunto de publicações apresentou idade média de 5,9 anos e média de 15,97 citações por documento, o que indica que os estudos possuem relevância crescente na literatura recente.

Figura 2 – Sumário sobre o Emprego da Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água



Fonte: Autores (2026)

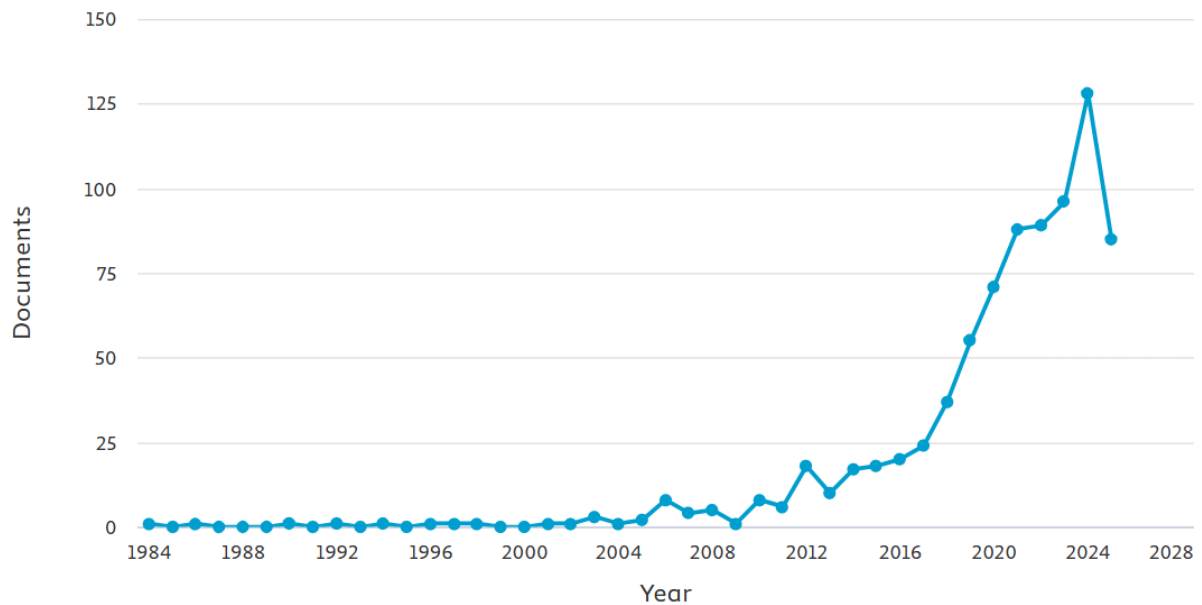
A evolução temporal da produção científica, conforme apresentada na Figura 3, evidencia um crescimento progressivo ao longo do período analisado, com intensificação claramente observável a partir de 2017. Até esse momento, a produção manteve-se baixa e irregular, caracterizando uma fase inicial de desenvolvimento do tema. Em 2017, registram-se 24 documentos publicados, marcando o início de um ciclo de crescimento contínuo e sistemático.

Nos anos subsequentes, observa-se uma expansão expressiva da produção científica, com aumento para 37 publicações em 2018 e 55 em 2019. Essa tendência de crescimento se mantém em 2020, com 71 documentos, e se intensifica em 2021, quando o volume anual atinge 88 publicações. Em 2022 e 2023, a produção permanece em patamares elevados, com 89 e 96 documentos, respectivamente, evidenciando a consolidação do tema no cenário científico internacional.

O pico da série histórica ocorre em 2024, com 128 documentos publicados. Em 2025, observa-se uma redução para 85 publicações, valor que deve ser interpretado com cautela devido ao caráter ainda parcial do ano. De modo geral, esse comportamento temporal indica um processo de amadurecimento e consolidação do tema a partir de 2017, possivelmente

associado ao avanço e à disseminação de tecnologias como big data, aprendizado de máquina e business intelligence, amplamente aplicadas em sistemas de monitoramento da qualidade da água e em ferramentas de apoio à tomada de decisão.

Figura 3 – Produção Científica Anual sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água

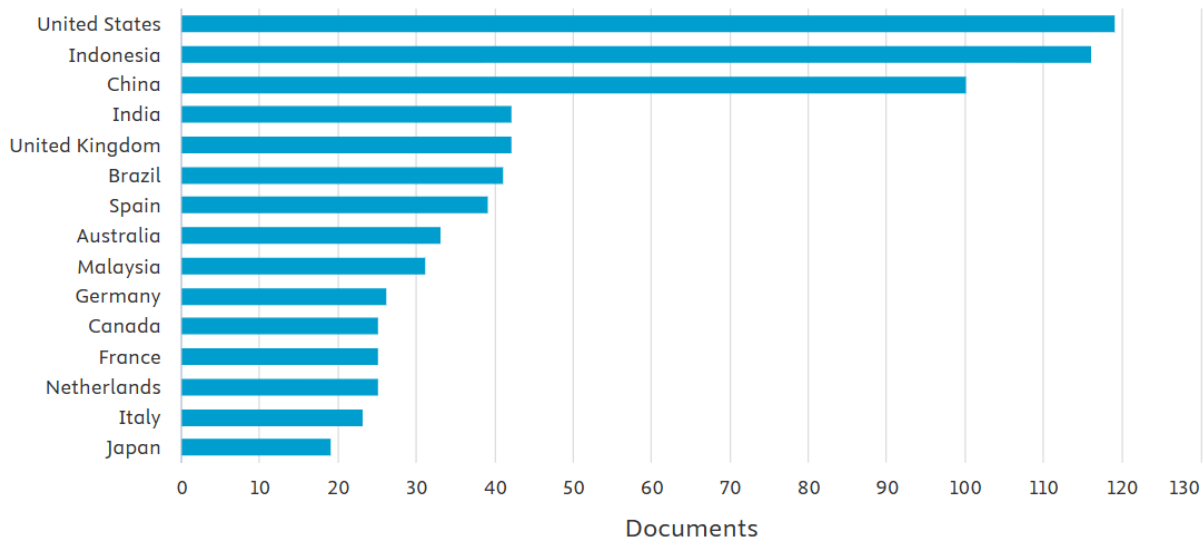


Fonte: Autores (2026)

A distribuição geográfica da produção científica, conforme apresentada na Figura 4, evidencia a liderança dos Estados Unidos, com 119 documentos, seguidos pela Indonésia, com 116 publicações, e pela China, com 100 documentos. Em um segundo grupo, destacam-se Índia e Reino Unido, ambos com 42 publicações, além do Brasil, com 41 documentos, indicando participação relevante de países emergentes e desenvolvidos na temática analisada.

Outros países também apresentam contribuição expressiva, como Espanha (39 publicações), Austrália (33) e Malásia (31), além de Alemanha, Canadá, França, Países Baixos, Itália e Japão, com volumes menores, porém consistentes. Esse padrão revela uma distribuição geográfica diversificada, com forte presença de países da América do Norte, Ásia, Europa e América Latina, evidenciando o caráter global do tema e sua relevância transversal em diferentes contextos científicos e institucionais.

Figura 4 – Produção Científica Anual sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água por País



Fonte: Autores (2025)

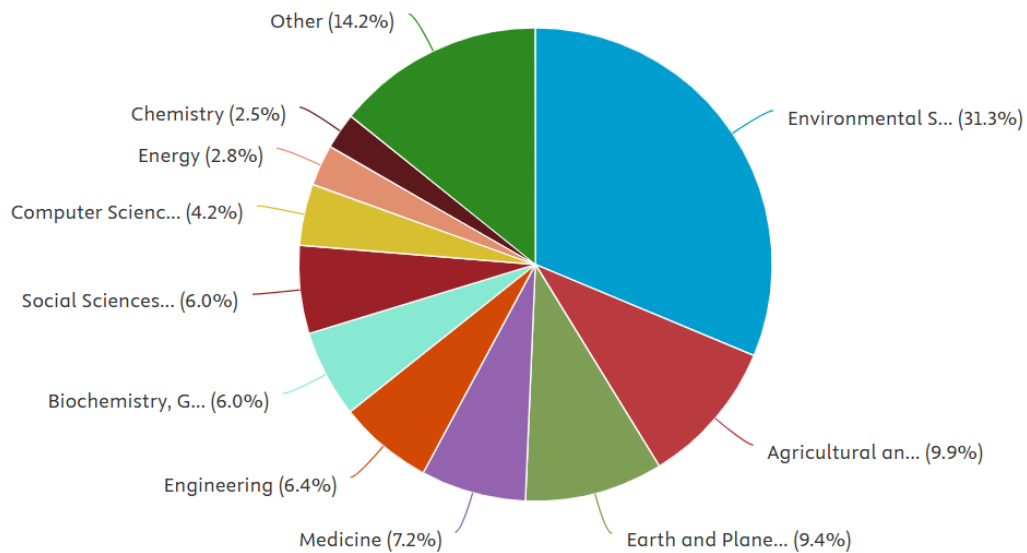
Conforme os dados da base Scopus, a Figura 5, observa-se o predomínio da área de “*Environmental Sciences*” (Ciências Ambientais), que concentra 31,3% das publicações (aproximadamente 252 documentos), evidenciando o forte vínculo do tema com questões ambientais. Em seguida, destacam-se “*Agricultural and Biological Sciences*” (Ciências Agrárias e Biológicas), com 9,9% (cerca de 80 documentos), e “*Earth and Planetary Sciences*” (Ciências da Terra e Planetárias), com 9,4% (aproximadamente 76 documentos), reforçando a interface com estudos ambientais aplicados e sistemas naturais.

As áreas de “*Medicine*” (Medicina), com 7,2% (cerca de 58 documentos), “*Engineering*” (Engenharia), com 6,4% (aproximadamente 51 documentos), “*Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*” (Bioquímica, Genética e Biologia Molecular), com 6,0% (cerca de 48 documentos), e “*Social Sciences*” (Ciências Sociais), também com 6,0% (aproximadamente 48 documentos), apresentam participação intermediária, indicando o caráter multidisciplinar do tema.

Outras contribuições incluem “*Computer Science*” (Ciência da Computação), com 4,2% (cerca de 34 documentos), “*Energy*” (Energia), com 2,8% (aproximadamente 23 documentos), e “*Chemistry*” (Química), com 2,5% (cerca de 20 documentos), além do agrupamento “*Other*” (Outros), que representa 14,2% do total (aproximadamente 114 documentos). Essa distribuição

evidencia que, embora o eixo central das pesquisas esteja fortemente ancorado nas ciências ambientais, o tema apresenta ampla transversalidade e caráter interdisciplinar.

Figura 5 – Documentos por Tipo na Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água



Fonte: Autores (2024)

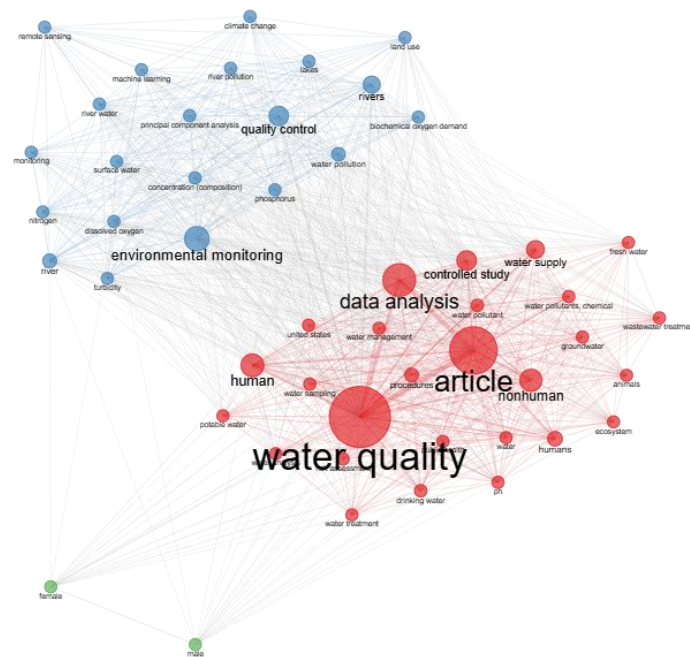
A Figura 6 apresenta a análise de frequência das palavras-chave, evidenciando a centralidade de termos diretamente associados ao objeto de estudo. Observa-se o claro predomínio do termo “*water quality*” (qualidade da água), que apresentou a maior frequência, com 746 ocorrências, confirmando seu papel estruturante na produção científica analisada. Em seguida, destacam-se os termos “*article*” (artigo), com 281 ocorrências, “*environmental monitoring*” (monitoramento ambiental), com 194 ocorrências, e “*data analysis*” (análise de dados), com 176 ocorrências, indicando a forte associação entre avaliação da qualidade da água, práticas sistemáticas de monitoramento e abordagens analíticas orientadas por dados.

Outros termos com elevada recorrência incluem “*quality control*” (controle de qualidade), com 135 ocorrências, e “*water supply*” (fornecimento de água), com 122 ocorrências, reforçando o foco dos estudos em processos de gestão, operação e garantia da qualidade dos sistemas de abastecimento. A presença expressiva dos termos “*nonhuman*” (não humano), com 112 ocorrências, e “*human*” (humano), com 111 ocorrências, evidencia a abrangência dos estudos tanto em contextos ecológicos quanto em impactos e implicações para a saúde humana.

O cluster azul está relacionado ao monitoramento ambiental e aos processos hidrológicos, destacando termos como “*environmental monitoring*” (monitoramento

ambiental), “*quality control*” (controle de qualidade), “*rivers*” (rios), “*river pollution*” (poluição de rios), “*nitrogen*” (nitrogênio), “*phosphorus*” (fósforo), “*dissolved oxygen*” (oxigênio dissolvido), “*turbidity*” (turbidez), “*climate change*” (mudanças climáticas) e “*machine learning*” (aprendizado de máquina), evidenciando o uso de indicadores físico-químicos e técnicas computacionais para avaliação ambiental.

Figura 7 – Rede de Co-ocorrência sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água



Fonte: Autores (2026)

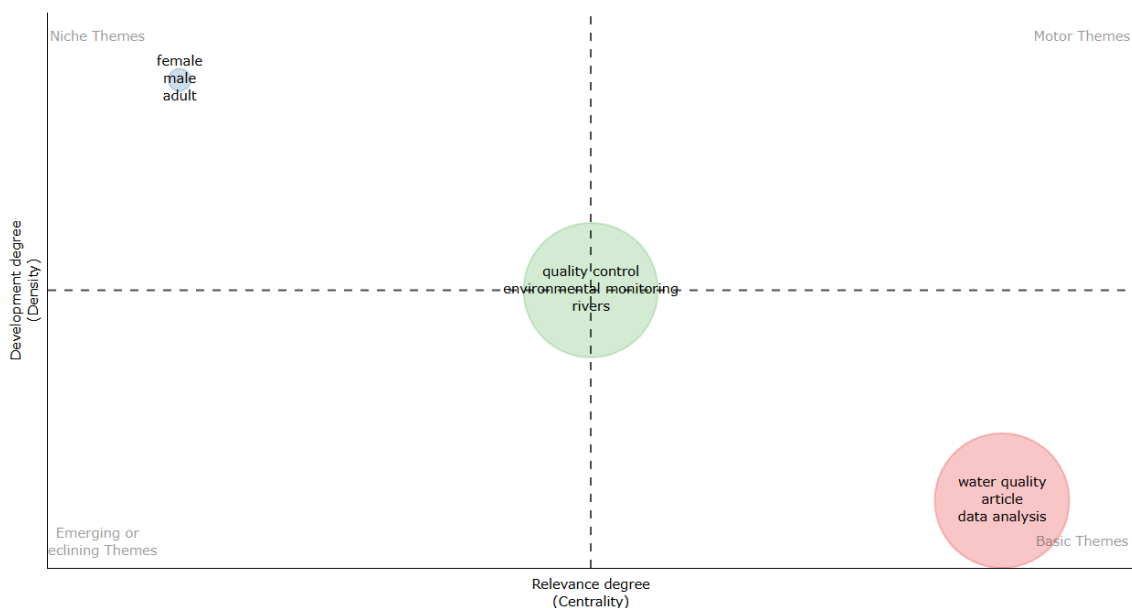
Por fim, o cluster verde, de menor densidade, reúne termos associados a características demográficas e biológicas, como “*male*” (masculino) e “*female*” (feminino). Esse agrupamento, embora menos representativo em termos de volume, indica a presença de estudos que consideram variáveis biológicas e de caracterização populacional na análise da qualidade da água, especialmente em pesquisas com abordagem experimental ou voltadas à saúde ambiental.

O mapa temático apresentado na Figura 8 evidencia a estrutura conceitual do campo de pesquisa a partir da relação entre “*relevance degree*” (grau de centralidade) e “*development degree*” (grau de desenvolvimento). Observa-se que o agrupamento formado por “*water quality*” (qualidade da água), “*article*” (artigo) e “*data analysis*” (análise de dados) situa-se no

quadrante dos “*basic themes*” (temas básicos), caracterizando-se por elevada centralidade e baixa densidade, o que indica conceitos fundamentais, porém ainda pouco especializados.

Na região central do mapa, destaca-se o cluster composto por “*quality control*” (controle de qualidade), “*environmental monitoring*” (monitoramento ambiental) e “*rivers*” (rios), apresentando valores intermediários de centralidade e densidade, o que sugere temas em processo de consolidação e com papel estruturante na articulação entre monitoramento ambiental e qualidade da água.

Figura 8 – Mapa Temático sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água



Fonte: Autores (2026)

Por fim, no quadrante dos “*niche themes*” (temas de nicho), observam-se os termos “*male*” (masculino), “*female*” (feminino) e “*adult*” (adulto), que apresentam alta densidade e baixa centralidade, indicando abordagens específicas, metodologicamente bem definidas, porém pouco integradas ao núcleo central da literatura analisada.

A Figura 9 apresenta a rede internacional de colaboração científica, evidenciando uma estrutura altamente concentrada em poucos países centrais. Os Estados Unidos ocupam posição claramente dominante na rede, apresentando o maior número de colaborações bilaterais, com destaque para parcerias com Canadá (7 ocorrências), China (5), Itália (6), Japão (6), Reino Unido (4), Espanha (4) e França (3), configurando um eixo de cooperação fortemente articulado entre América do Norte, Europa Ocidental e Leste Asiático.

A China e países europeus como Reino Unido, Itália, Espanha, Alemanha e França também apresentam múltiplas conexões recorrentes, atuando como polos intermediários na rede e reforçando a integração científica entre economias desenvolvidas e emergentes. Destaca-se ainda o papel da Austrália, que mantém colaborações distribuídas com diversos países, incluindo Nova Zelândia (6), Itália (4), Países Baixos (3) e Suécia (3), evidenciando sua função de elo entre Europa, Ásia e Oceania.

Figura 9 – Colaboração entre Países sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade da Água



Fonte: Autores (2026)

Em contraste, a América Latina apresenta participação periférica na rede. O Brasil possui colaborações pontuais e de baixa frequência, destacando-se parcerias isoladas com Canadá (2), África do Sul (2), Espanha (2), Estados Unidos (3) e outros países com apenas uma ocorrência. Esse padrão revela uma inserção internacional ainda limitada, sem protagonismo estrutural na rede global de colaborações científicas em qualidade da água e gestão ambiental.

5. Considerações Finais

Este estudo realizou uma análise bibliométrica da produção científica relacionada à aplicação da inteligência e da análise de dados na gestão da qualidade da água, a partir de publicações indexadas na base Scopus. A utilização do software Bibliometrix permitiu identificar a evolução temporal das pesquisas, os principais temas investigados, bem como as

estruturas de colaboração científica, oferecendo uma visão organizada e abrangente do estado da arte desse campo interdisciplinar.

Os resultados evidenciaram um crescimento progressivo das publicações ao longo do período analisado, com intensificação nos anos mais recentes, refletindo a ampliação do uso de técnicas analíticas, modelagem e ferramentas de inteligência de dados no monitoramento e na gestão dos recursos hídricos. A recorrência de temas como qualidade da água, poluição, gestão ambiental e monitoramento demonstra a relevância dessas abordagens para subsidiar decisões técnicas baseadas em evidências.

A análise das redes de coocorrência de palavras-chave e do mapa temático revelou um domínio científico caracterizado pela integração entre diferentes áreas do conhecimento, como ciências ambientais, engenharia e análise de dados. Observou-se a coexistência de temas centrais consolidados, aplicações específicas e linhas de pesquisa ainda em processo de desenvolvimento, indicando oportunidades para aprofundamentos metodológicos e ampliação das abordagens analíticas no campo.

No que se refere à colaboração científica, constatou-se uma concentração das parcerias internacionais em países da América do Norte, Europa e Ásia, enquanto o Brasil e outros países da América Latina apresentaram participação mais limitada. Esse cenário reforça a necessidade de fortalecimento das redes científicas regionais e de maior inserção internacional, de modo a ampliar a produção nacional e contribuir para o uso mais estratégico da inteligência e da análise de dados na gestão da qualidade da água.

Assim, espera-se que este estudo contribua para orientar pesquisas futuras e incentivar o uso mais estratégico da inteligência e da análise de dados na gestão da qualidade da água, especialmente no contexto brasileiro, promovendo o uso cada vez mais qualificado da análise de dados na gestão da qualidade da água, contribuindo para uma governança hídrica mais integrada, eficiente e sustentável.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP N°. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

- AGBO, Friday Joseph et al. Application of virtual reality in computer science education: A systemic review based on bibliometric and content analysis methods. **Education Sciences**, v. 11, n. 3, p. 142, 2021.
- ALEXAKIS, Dimitrios E. Linking DPSIR model and water quality indices to achieve sustainable development goals in groundwater resources. **Hydrology**, v. 8, n. 2, p. 90, 2021.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- ADEWUSI, Adebunmi Okechukwu et al. Business intelligence in the era of big data: a review of analytical tools and competitive advantage. **Computer Science & IT Research Journal**, v. 5, n. 2, p. 415-431, 2024.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União: Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 21 jan. 2026.
- CANDIDO, Laise Alves et al. Review of decision support systems and allocation models for integrated water resources management focusing on joint water quantity-quality. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 148, n. 2, p. 03121001, 2022.
- DEBASSI, Bouchra et al. Assessment of water quality of groundwater, surface water, and wastewater using physicochemical parameters and microbiological indicators. **Science Progress**, v. 108, n. 2, p. 00368504251348544, 2025.
- DINIZ, Bruno Pereira et al. Análise bibliométrica da integração entre segurança do trabalho e multicritério: um estudo de caso na base Scopus. In: **Livro de Memórias do Sustentare & WIPIS. Anais...Campinas(SP) PUC-Campinas e USP**, 2024.
- DIXIT, Arohi et al. Impact of climate change on water resources, challenges and mitigation strategies to achieve sustainable development goals. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 14, p. 1296, 2022.
- EBOIGBE, Emmanuel Osamuyimen et al. Business intelligence transformation through AI and data analytics. **Engineering Science & Technology Journal**, v. 4, n. 5, p. 285-307, 2023.
- EZEIGWENEME, Chinedu Alex et al. A review of technological innovations and environmental impact mitigation. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, v. 21, n. 1, p. 075-082, 2024.
- GHAEMI, Zeynab; NOSHADI, Masoud. Surface water quality analysis using multivariate statistical techniques: a case study of Fars Province rivers, Iran. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 3, p. 178, 2022.
- KAMYAB, Hesam et al. The latest innovative avenues for the utilization of artificial Intelligence and big data analytics in water resource management. **Results in Engineering**, v. 20, p. 101566, 2023.
- KUMAR, Anil; SAHARIA, Manabendra. Exploratory analysis of hydrological data. In: **Python for Water and Environment**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 23-41.
- MARCON, Priscila. **Governança das águas no Brasil: colaborações da sociedade civil e desafios da implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://www.observatoriodasaguas.org>. Acesso em: 14 ago. 2024.
- MILLER, Tymoteusz et al. Integrating artificial intelligence agents with the internet of things for enhanced environmental monitoring: applications in water quality and climate data. **Electronics**, v. 14, n. 4, p. 696, 2025.



NCUBE, Mthokozisi Masumbika; NGULUBE, Patrick. Enhancing environmental decision-making: a systematic review of data analytics applications in monitoring and management. **Discover Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 290, 2024.

OYEWOLA, David Opeoluwa; DADA, Emmanuel Gbenga. Exploring machine learning: a scientometrics approach using bibliometrix and VOSviewer. **SN Applied Sciences**, v. 4, n. 5, p. 143, 2022.

PASSAS, Ioannis. Bibliometric Analysis: The Main Steps. **Encyclopedia**, [s. l.], vol. 4, no. 2, p. 1014–1025, 2024. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065>.

PESSIN, Vilker Zucolotto; YAMANE, Luciana Harue; SIMAN, Renato Ribeiro. Smart bibliometrics: an integrated method of science mapping and bibliometric analysis. **Scientometrics**, [s. l.], vol. 127, no. 6, p. 3695–3718, 2022.

RAJEEV, Athira et al. The potential of big data and machine learning for ground water quality assessment and prediction. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 32, n. 2, p. 927-941, 2025.

SANTOS, Eleonora; CARVALHO, Milena; MARTINS, Susana. Sustainable water management: Understanding the socioeconomic and cultural dimensions. **Sustainability**, v. 15, n. 17, p. 13074, 2023.

SILVA, Joemar Jodita da. **Análise da segurança hídrica na Região Metropolitana de São Paulo**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VERMA, Shubham et al. Comprehensive Assessment of Physico-Chemical and Biological Parameters in Water Quality Monitoring: A Review of Contaminants, Indicators, and Health Impacts. **International Journal of Horticulture, Agriculture and Food science**, v. 9, n. 2, p. 611019, 2025.