

Matheus SILVA* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
matheus.bldasilva@gmail.com

Thyago Nóbrega* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
thyagonobrega1996@gmail.com

Leandro SANTOS* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
leandro.santos.eng.amb@hotmail.com

Geralda GILVÂNIA* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
gilvania@servidor.uepb.edu.br

Weruska BRASILEIRO* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
weruska_brasileiro2020@servidor.uepb.edu.br

Laércio LEAL* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
laercioleal@ccts.uepb.edu.br

Joana LIMA* 
Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil
joana.s@hotmail.com



QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS E RURAIS E FONTES DE CONTAMINAÇÃO: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Qualities of Urban and Rural Rainwater and Sources of Contamination: A Bibliometric Analysis

*Qualidades das águas Pluviais Urbanas e Rurais e Fontes de Contaminação: Uma Análise
Bibliométrica*

RESUMO

A pesquisa em torno da qualidade de águas pluviais tem sido de grande interesse de pesquisa nos últimos anos, principalmente tendo em vista a grande problemática de escassez hídrica e o melhor aproveitamento destes recursos. O presente estudo desenvolveu uma pesquisa bibliométrica buscando identificar as tendências emergentes e tópicos relevantes de publicação, principalmente buscando identificar as principais fontes de contaminação relacionadas à qualidade de águas pluviais. Através de pesquisa na plataforma Scopus, foram identificadas 6.218 publicações no intervalo dos últimos 10 anos (2014 - 2024), e as análises dos textos foram dadas mediante a biblioteca do R-Studio “Bibliometrix”, e VOSviewer. Foi possível verificar que as maiores publicações na área foram produzidas por cientistas americanos (EUA), e que as fontes de contaminação mais presentes são oriundas de contaminação difusa, principalmente devido à agricultura. A utilização dos Índices de qualidade de água pluvial também tem sido uma tendência para melhor gerenciamento destes recursos, embora a prevenção e tratamento dessas águas seja uma lacuna identificada.

Palavras-chave: bibliometrix; VOSviewer; água de chuva.

Geographia Opportuno Tempore – ISSN 2358-1972

Londrina, v. 11, n. 1, e50672, 2025

DOI: [10.5433/got.2025.v11.50672](https://doi.org/10.5433/got.2025.v11.50672)



ABSTRACT

Research into the quality of rainwater has been of great research interest in recent years, mainly in view of the major problem of water scarcity and the best use of these resources. The present study developed bibliometric research seeking to identify emerging trends and relevant publication topics, mainly seeking to identify the main sources of contamination related to the quality of rainwater. Through research on the Scopus platform, 6,218 publications were identified over the last 10 years (2014 - 2024), and these texts were analyzed using the R-Studio library "Bibliometrix", and VOSviewer software. It was possible to verify that the largest publications in the area were produced by American scientists (USA), and that the most present sources of contamination come from diffuse contamination, mainly due to agriculture. Rainwater quality indices have also been a trend towards better management of these resources, although the prevention and treatment of these waters has been an identified gap.

Keywords: bibliometrix; VOSviewer; rain water.

RESUMEN

La investigación sobre la calidad del agua de lluvia ha despertado un gran interés científico en los últimos años, principalmente ante el gran problema de la escasez de agua y el mejor uso de estos recursos. El estudio presente desarrolló una investigación bibliométrica buscando identificar tendencias emergentes y temas de publicación relevantes, buscando principalmente identificar las principales fuentes de contaminación relacionadas con la calidad del agua de lluvia. A través de la investigación en la plataforma Scopus, se identificaron 6.218 publicaciones en los últimos 10 años (2014 - 2024), y estos textos fueron analizados mediante la biblioteca del R-Studio "Bibliometrix", y VOSviewer. Se pudo comprobar que las mayores publicaciones en el área fueron producidas por científicos estadounidenses (EE.UU.), y que las fuentes de contaminación más presentes provienen de contaminación difusa, principalmente por la agricultura. Los índices de calidad del agua de lluvia también han sido una tendencia hacia una mejor gestión de estos recursos, aunque la prevención y tratamiento de estas aguas ha sido un vacío identificado.

Palabras-clave: bibliometrix; VOSviewer; agua de lluvia.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são essenciais para o homem e ecossistemas, fundamentais para o abastecimento, saneamento básico, agricultura e indústria. Porém, a urbanização acelerada e práticas inadequadas de gestão têm contribuído significativamente na deterioração da qualidade dessas águas em todo o mundo, representando um sério desafio para a saúde pública e a sustentabilidade ambiental (Guedes; Sugahara; Ferreira, 2023).

O despejo inadequado de efluentes domésticos e industriais é parte dessa falta de gestão urbana. Tais efluentes frequentemente contêm substâncias químicas nocivas, como metais pesados, produtos farmacêuticos, pesticidas e compostos orgânicos persistentes, que acabam interferindo em todo o ciclo da água a partir do escoamento. O próprio curso natural da drenagem pluvial nas áreas urbanas pode carregar uma variedade de poluentes para os corpos d'água, incluindo óleos, graxas, metais pesados, sedimentos e resíduos sólidos em geral (Yang *et al.*, 2022).

O descarte inadequado de resíduos sólidos nas áreas urbanas pode levar à contaminação das águas superficiais e subterrâneas por meio da lixiviação de substâncias tóxicas. Em muitas áreas urbanas, a agricultura em pequena escala é praticada, utilizando fertilizantes e pesticidas que podem ser carreados para os cursos d'água durante eventos de chuva, contribuindo para a eutrofização e contaminação por agroquímicos (Lechhab *et al.*, 2022).

Vazamentos em sistemas de esgoto e infraestrutura deficiente podem resultar no vazamento de efluente bruto para as águas superficiais e subterrâneas, contaminando-as com patógenos e microrganismo prejudiciais à saúde humana.

Nos últimos anos, tem ocorrido um aumento significativo na pesquisa acadêmica e na conscientização pública sobre as fontes de contaminação e os impactos associados as características dos efluentes das cidades, tanto no Brasil quanto em escala global (Ali; Fadhl; Ali, 2023; Chadel *et al.*, 2024).

No Brasil, assim como em muitos outros países, a qualidade das águas urbanas é uma preocupação crescente. A rápida urbanização, a falta de infraestrutura adequada de tratamento de água e esgoto, a gestão ineficiente dos resíduos sólidos e a agricultura não regulamentada contribuem para a contaminação das águas pluviais em todo o país. Além disso, eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e secas prolongadas, agravam ainda mais esse cenário. Em um contexto global, a contaminação das águas pluviais é um problema generalizado, especialmente em países em desenvolvimento, onde a urbanização está ocorrendo em um ritmo acelerado e os recursos para infraestrutura e gestão ambiental são limitados. A falta de conscientização, políticas eficazes e cooperação internacional também dificulta a mitigação desse problema em escala global (Mammeri *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2023).



Algumas soluções mitigadoras podem ser adotadas como: Investir em infraestrutura de tratamento de água e esgoto em áreas urbanas para garantir o fornecimento de água potável segura e o tratamento adequado dos efluentes; Fortalecer a regulamentação ambiental e aumentar a fiscalização para prevenir o descarte inadequado de resíduos e o despejo de efluentes industriais; Promover a conscientização pública sobre a importância da conservação dos recursos hídricos e práticas sustentáveis de uso da água, incentivando a redução do desperdício e o descarte correto de resíduos; Incentivar a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas e o uso responsável de fertilizantes e pesticidas, para reduzir a contaminação por agroquímicos; Implementar abordagens de gestão integrada de recursos hídricos que considerem as interações entre os diversos usos da água e promovam a participação de múltiplos interessados na tomada de decisões (Iqbal, *et al.*, 2023; Nguyen *et al.*, 2022).

A qualidade das águas pluviais é um desafio complexo e multifacetado que requer uma abordagem integrada e colaborativa para mitigar os impactos da contaminação e garantir a disponibilidade de água segura para as gerações presentes e futuras. No Brasil e no mundo, é imperativo investir em infraestrutura, regulamentação, educação e gestão eficaz dos recursos hídricos para enfrentar esse desafio de forma eficaz e sustentável (Asefa *et al.*, 2023).

Esta revisão bibliométrica tem o objetivo de analisar trabalhos acadêmicos que abordam conceitos de gestão de recursos hídricos, poluições das águas urbanas, com destaque ao Brasil, contextualizando, também, desafios e soluções globais, tendências emergentes e suas fontes de contaminação em período amostral de 10 anos.

METODOLOGIA

O presente estudo se caracteriza como pesquisa exploratória, onde houve uma busca de dados levantados através de uma pesquisa bibliométrica, tendo como base de dados a plataforma Scopus. Esse processo corresponde à utilização de modelos matemáticos e estatísticos para analisar as informações publicadas em uma determinada área de conhecimento. As buscas concentraram-se em torno do tema “Qualidades das águas pluviais urbanas e rurais e suas fontes de contaminação”.

Para a execução do levantamento do material científico, se faz necessário estabelecer critérios para otimizar as buscas. O primeiro passo é escolher a base de dados que será utilizada, seguida da definição dos filtros que foram aplicados durante a pesquisa. Tais filtros podem ser a linguagem, período de publicação, nacionalidade e palavras-chaves, conforme a TABELA 1.

Tabela 1 - Revisão Sistemática da Literatura (RSL): Palavras-chaves e termos de busca

Base de dados	Palavras-chaves e/ ou Termos de busca e Operadores Booleanos	Período de pesquisa
Scopus	(“urban drainage” OR “surface runoff” OR “rainwater” OR “soil” OR “drainage” OR “aquifer\$” OR “watershed\$”) AND (“water quality” OR “potability”) AND (“contamination fonts” OR “pollution” or “surface contamination” OR “contamination” OR “heavy metals” OR “phosphorus” OR “pollution load” OR “non-point source pollution” OR “nonpoint source pollution” OR “groundwater contamination” OR “rainwater contamination” OR “nitrogen” OR “nitrate\$” OR “agricultural pollution” OR “land use” OR “agriculture” OR “water pollutant\$”)	2014-2024

Fonte: Autores (2024).

Com a aplicação dos filtros pôde-se realizar a busca com objetivos definidos, a fim de filtrar e delimitar um assunto que se torna tão abrangente e multidisciplinar. Durante o período de pesquisa optou-se pelo uso da plataforma Scopus, por ser um banco de dados bastante robusto, englobando milhares de títulos e editoras internacionais, e que, em comparação com a Web of Science, apresenta uma maior quantidade de documentos. Já os demais critérios de filtro irão delimitar e restringir de forma eficiente o assunto abordado.

As palavras-chaves devem ser inseridas em inglês, para que a busca seja completa, uma vez que, a maioria dos artigos são publicados em língua inglesa. A definição dos operadores booleanos também contribuem para a inclusão e exclusão de boa parte dos trabalhos filtrados. Nessa pesquisa o operador utilizado foi o “or” e o “and”, onde este último foi aplicado para subdividir em três grandes grupos de temas (ÁGUA PLUVIAL and QUALIDADE and FONTES DE CONTAMINAÇÃO), e o “or” para identificação de sinônimos dentro dos grandes temas.

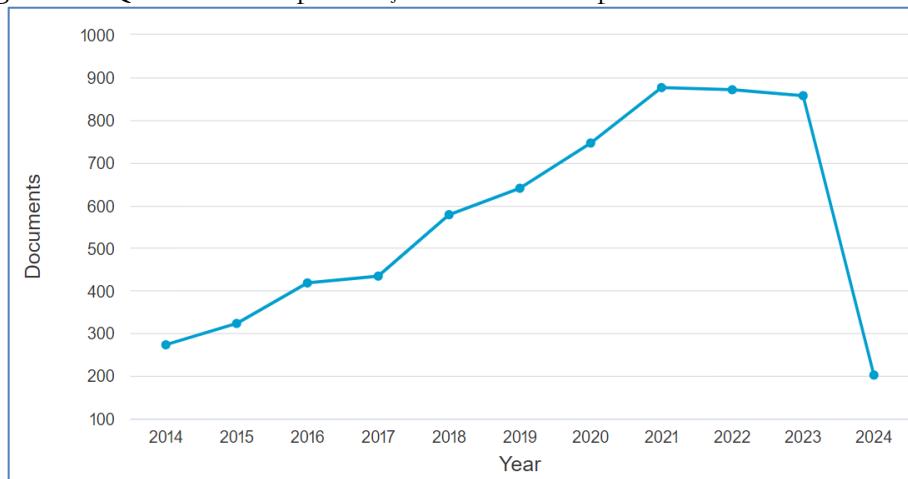
Após a aplicação dos filtros e tratamentos dos resultados, obteve-se, até a data da pesquisa (10 de março de 2024) um montante de 6218 artigos. Dentre os artigos pesquisados, foram filtradas as publicações correspondentes aos últimos 10 anos (2014 – 2024). Os dados gerados durante a busca foram tratados e trabalhados no software *VOSviewer* e na biblioteca “*Bibliometrix*”, do *R-Studio*, para que assim seja possível representar as informações em forma de mapas e tabelas, para melhor visualização das informações. Tais plataformas possibilitam a criação de mapas de redes, facilitando a sua visualização com critérios estatísticos de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação da metodologia citada e da aplicação dos filtros e tratamentos dos resultados, obteve-se, até a data da pesquisa (10 de março de 2024) em espectro amostral de 6.218 artigos. A

Figura 1 apresenta a quantidade de publicações na área de interesse deste estudo no perfil temporal dos últimos 10 anos.



Figura 1 – Quantidade de publicações na temática por ano nos últimos dez anos

Fonte: Autores (2024).

Percebe-se que o interesse no tema tem crescido na última década, atingindo seu ápice em 2021, apresentando cerca de 300 publicações/ano em 2014, chegando a cerca de 900 / ano no último triênio (2021 – 2023). No ano de 2024, apesar de o período amostral ir até o mês de abril de 2024, já é possível constar 200 artigos científicos publicados.

A análise das principais revistas que mais publicaram sobre um tema é fundamental para a compreensão aprofundada desse assunto. Essas revistas geralmente são reconhecidas pela qualidade e rigor dos artigos publicados, refletindo o estado atual da pesquisa na área. Na Tabela 2 abaixo, destacam-se as 10 revistas que mais tiveram artigos publicados. Nesse contexto, vale ser ressaltado principalmente as revistas Water (Switzerland) e Science of the Total Environment.

Ao identificar os principais periódicos os pesquisadores podem acessar uma ampla gama de estudos relevantes, teorias e metodologias empregadas, contribuindo para uma visão mais completa e atualizada do tema. Além disso, a análise das revistas líderes em um campo específico pode revelar tendências, lacunas e direções futuras de pesquisa, orientando novos estudos e promovendo avanços no conhecimento científico.

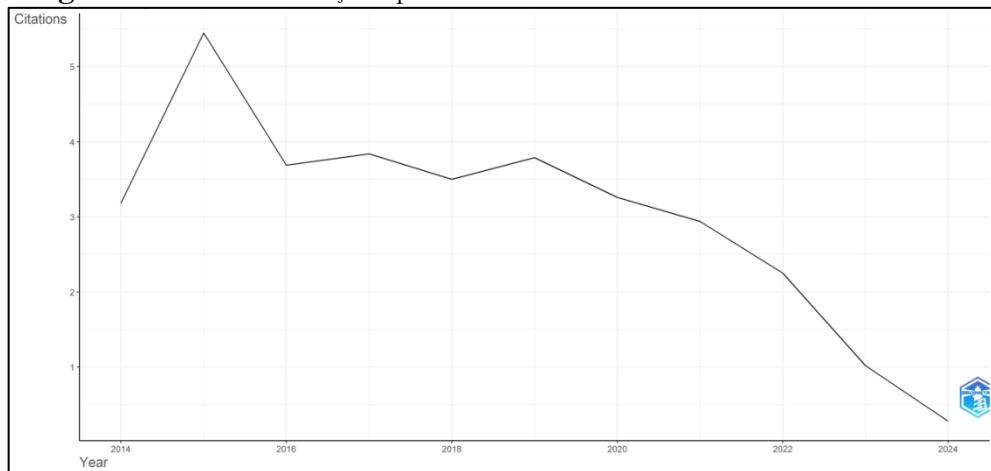
Tabela 2 - Periódicos que mais têm publicado no assunto no período de 2014 a 2024

FONTES	ARTIGOS
Water (Switzerland)	528
Science Of The Total Environment	468
International Journal Of Environmental Research And Public Health	160
Iop Conference Series: Earth And Environmental Science	150
Journal Of Environmental Quality	130
Sustainability (Switzerland)	128
Journal Of Environmental Management	120
Applied Water Science	105
Water Research	83
Agricultural Water Management	71

Fonte: Autores (2024).

Na Figura 2, está sendo representada a dinâmica das médias citações por ano relacionadas ao período em que foram produzidas. A análise de tais médias é essencial para avaliar a relevância e o impacto desse conteúdo na comunidade acadêmica e sua pertinência com o passar do tempo. As citações representam o reconhecimento e a utilização de um trabalho por outros pesquisadores, indicando sua influência e contribuição para o avanço do conhecimento.

Figura 2 - Média de citações por ano



Fonte: Autores (2024).

A análise das médias de citações anuais revela informações valiosas sobre o impacto e a relevância do conteúdo ao longo do tempo. Notavelmente, observa-se que as obras produzidas entre 2014 e 2016 destacam-se por apresentarem as maiores médias de citações, indicando um período de significativa influência e reconhecimento dentro do campo de estudo em questão. Essa tendência sugere não apenas a qualidade e a importância dessas obras, mas também aponta para possíveis áreas de interesse emergentes e lacunas a serem exploradas para o avanço do desenvolvimento científico.

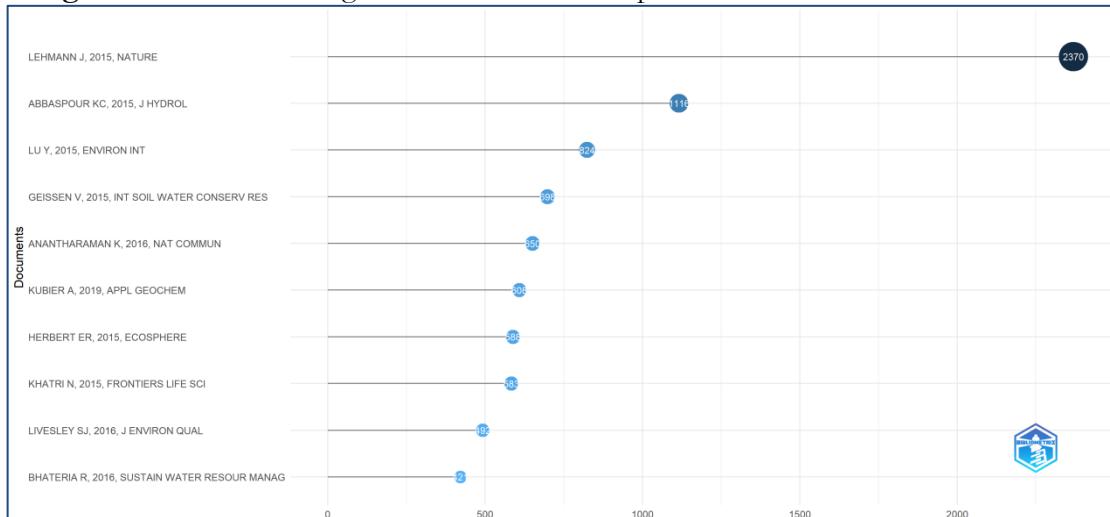
Além disso, ao considerar o infográfico representativo das principais obras citadas, evidencia-se claramente a influência dessas obras na construção e no desenvolvimento dos estudos subsequentes. Tal representação visual, exemplificada na Figura 3, permite uma compreensão mais aprofundada das principais referências que moldaram o campo de pesquisa ao longo do tempo, fornecendo *insights* importantes para os pesquisadores e acadêmicos.

Ao analisar as 10 obras mais referenciadas, observa-se que 9 delas estão concentradas no período previamente identificado como o de maior impacto em termos de citações por ano. Esse fato reforça de maneira contundente a relevância e o destaque dessas obras dentro do corpo científico, demonstrando a consistência e a influência duradoura de seus conteúdos. Entre os autores mais citados, destacam-se nomes como Lehmann J, Abbaspour KC e Luy, cujas obras apresentam médias significativas de citações por ano, refletindo o reconhecimento e a importância



atribuídos a esses trabalhos pela comunidade acadêmica e científica. Essa concentração de referências em um período específico sugere uma fase de intensa produção e avanço no campo de estudo, oferecendo indicadores valiosos para futuras investigações e contribuindo para o contínuo progresso do conhecimento científico.

Figura 3 - Documentos globais mais citados no período de 2014 – 2024



Fonte: Autores (2024).

A análise da participação dos países com interesse e publicações no tema em questão, como ilustrado na Figura 4, revela dados significativos sobre o contexto socioeconômico global. Os Estados Unidos (EUA) emergem como líder indiscutível, apresentando o maior número de documentos públicos desde 2014, totalizando aproximadamente 1800 publicações. Tal predominância evidência não apenas o robusto desenvolvimento científico e tecnológico dos EUA, mas também sua influência econômica e política no cenário internacional.

Figura 4 - Mapa representativo dos países com maior contribuição de publicações na temática nos últimos 10 anos



Fonte: Autores (2024).

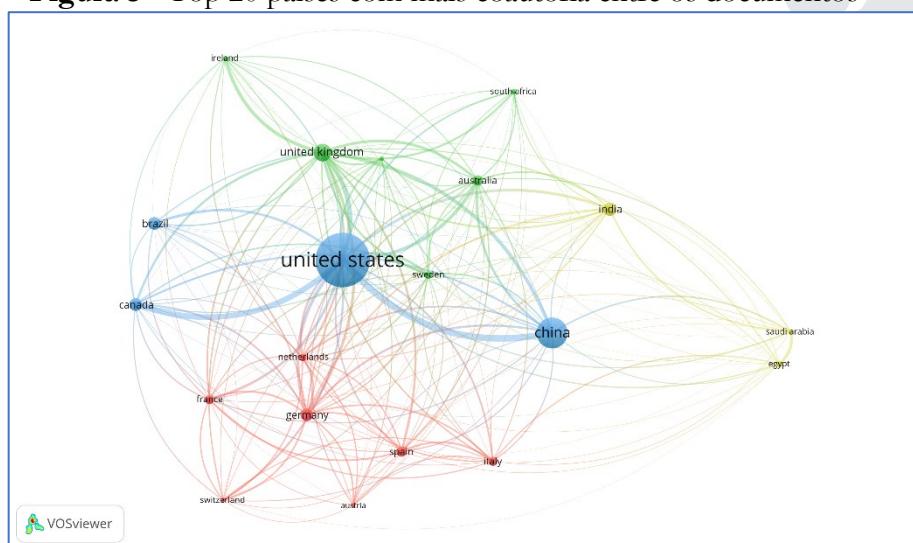
Em segundo lugar, encontra-se a China, com uma quantidade expressiva de publicações, embora ainda inferior à dos EUA, sobre o tema em análise. Este fato reflete o crescente papel desempenhado pela China no panorama global, impulsionado por seu rápido crescimento econômico e investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento.

Ao considerar o Brasil, posicionado em 5º lugar, com cerca de 300 publicações na área, é crucial contextualizar o cenário socioeconômico do país. O Brasil, uma economia emergente e uma das maiores nações do mundo em extensão territorial e população, enfrenta desafios complexos em diversos setores, incluindo ciência, tecnologia e inovação. Apesar de seu potencial e recursos naturais abundantes, o Brasil ainda não alcançou plenamente seu desenvolvimento científico e tecnológico, refletindo-se na quantidade relativamente modesta de publicações na área em questão.

É fundamental destacar que o Brasil é o único país da América Latina presente na lista dos 10 principais países que estudam essa temática, o que ressalta tanto suas singularidades quanto as oportunidades de crescimento e colaboração na região. Diante desse contexto, é imperativo que o Brasil intensifique seus esforços na promoção da pesquisa e da inovação, fortalecendo suas instituições acadêmicas, incentivando parcerias público-privadas e investindo em infraestrutura científica e tecnológica.

Por seu turno, a Figura 5 apresenta os vinte países que mais desenvolveram pesquisa em conjunto na área. O aplicativo VOSviewer separou esses países em 4 grandes grupos de coautoria, estando o Brasil em conjunto com Estados Unidos e China, os Top 2 países que mais publicam. Este é um indicativo que o Brasil está buscando desenvolver-se cientificamente junto dos grandes expoentes de pesquisa nessa área no mundo, podendo gerar bons frutos em um futuro próximo.

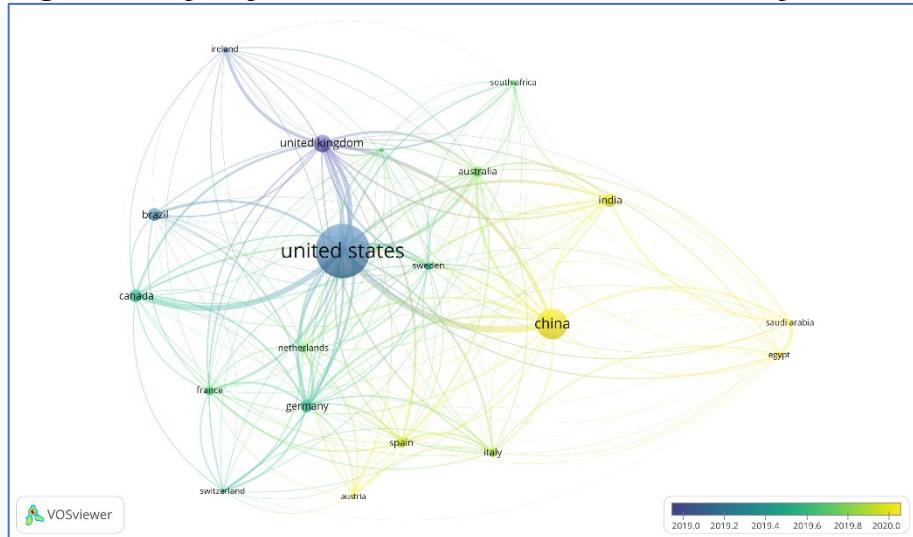
Figura 5 - Top 20 países com mais coautoria entre os documentos



Fonte: Autores (2024).

A Figura 6, por sua vez, apresenta um gradiente de cor em escala quanto ao maior período de publicação. Apesar do maior número de publicações dos Estados Unidos, a figura ilustra uma tendência de publicações mais antigas (coloração azul). Em contrapartida, os países asiáticos, além de formarem um grupo de coautoria mais forte, também estão em maior evidência em publicações mais novas (coloração em amarelo). O Brasil acompanha a tendência do seu grupo, revelando que o país é bastante influenciado pela produção científica americana e chinesa.

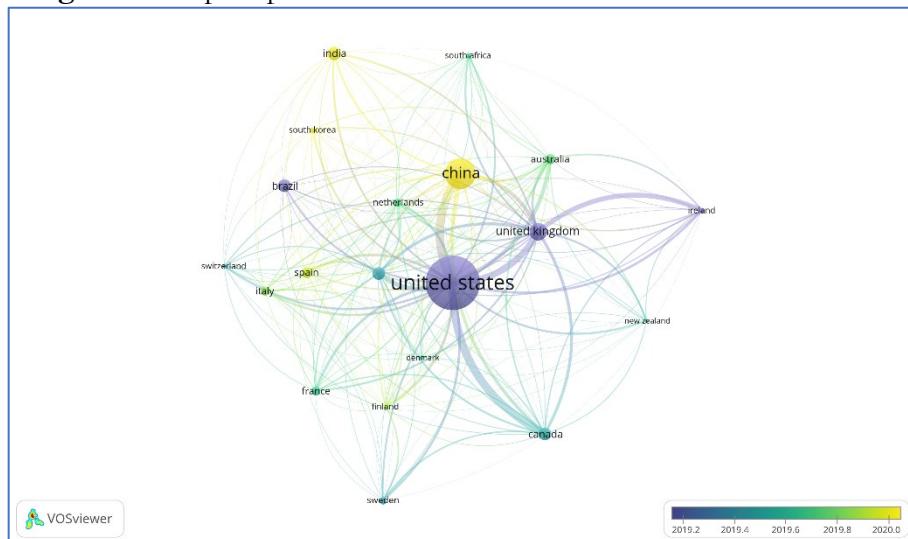
Figura 6 - Top 20 países com mais co-autoria com escala temporal de cor



Fonte: Autores (2024).

Quanto à relevância dos trabalhos, que corresponde a quanto tais documentos estão sendo citados por outros, a Figura 7 apresenta os Estados Unidos e a China também ficam à frente dos demais. Tais citações demonstram que estes países publicam não somente com quantidade, mas com qualidade. A novidade neste gráfico é o surgimento da Coreia do Sul e da Nova Zelândia, que apesar de não aparecerem com maior quantidade de publicações, tem produzido trabalhos relevantes, com foco à Coreia do Sul, que apresentou tendência de citações mais recente.

Figura 7 - Top 20 países com trabalhos mais citados

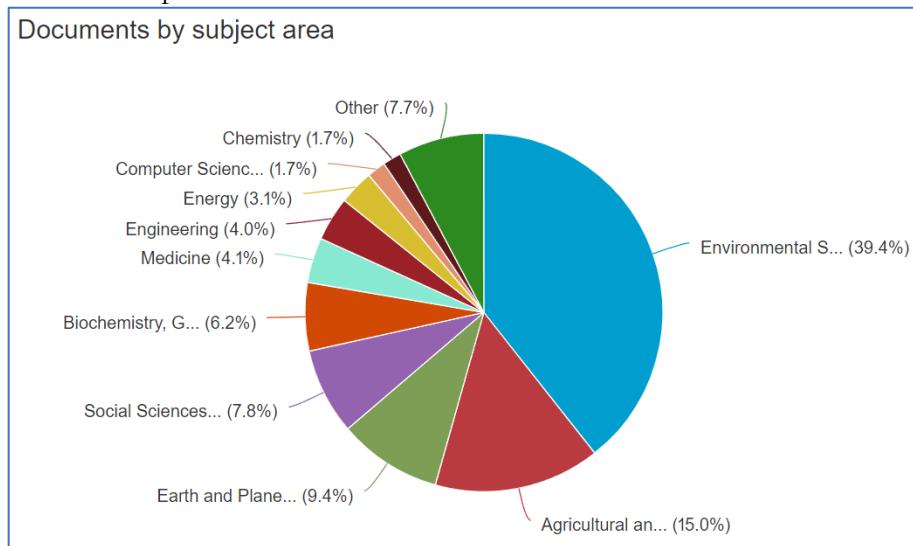


Fonte: Autores (2024).

Ao se investigar as publicações mais citadas publicadas pela Coreia do Sul (110 documentos, no total) no período vigente, identificou-se que os três mais citados são artigos de revisão e acumulam mais de 900 citações, sendo o 2º mais citado publicado em 2021, evidenciando a relevância e a atualidade das pesquisas no país (Syafrudin *et al.*, 2021). O Brasil, por exemplo, apesar de possuir 330 trabalhos publicados no período, o artigo mais citado é do ano de 2017, também de revisão, possuindo também menos citações do trabalho mais citado da Coreia do Sul.

A Figura 8 ilustra as áreas em que mais se publicam no tema em foco. “Ciências ambientais” e “Agricultura e Ciências Ambientais” compreendem cerca de 54% das publicações no tema, apontando para um interesse geral e grande abrangência do tema estudado. Este tema tem se apresentado relevante até em revistas da área da medicina, onde cerca de 4% dos documentos publicados nesta área de contaminação de águas pluviais e suas fontes estão em periódicos.

Figura 8 - Área dos periódicos que mais publicaram sobre o assunto no período de 10 anos



Fonte: Autores (2024).

O artigo 3º da Lei nº 8.080/1990 considera como fatores determinantes e condicionantes da saúde a alimentação, a moradia, o saneamento básico, o meio ambiente, o trabalho, a renda, a educação, o transporte, o lazer e o acesso aos bens e serviços essenciais (Brasil, 1990).

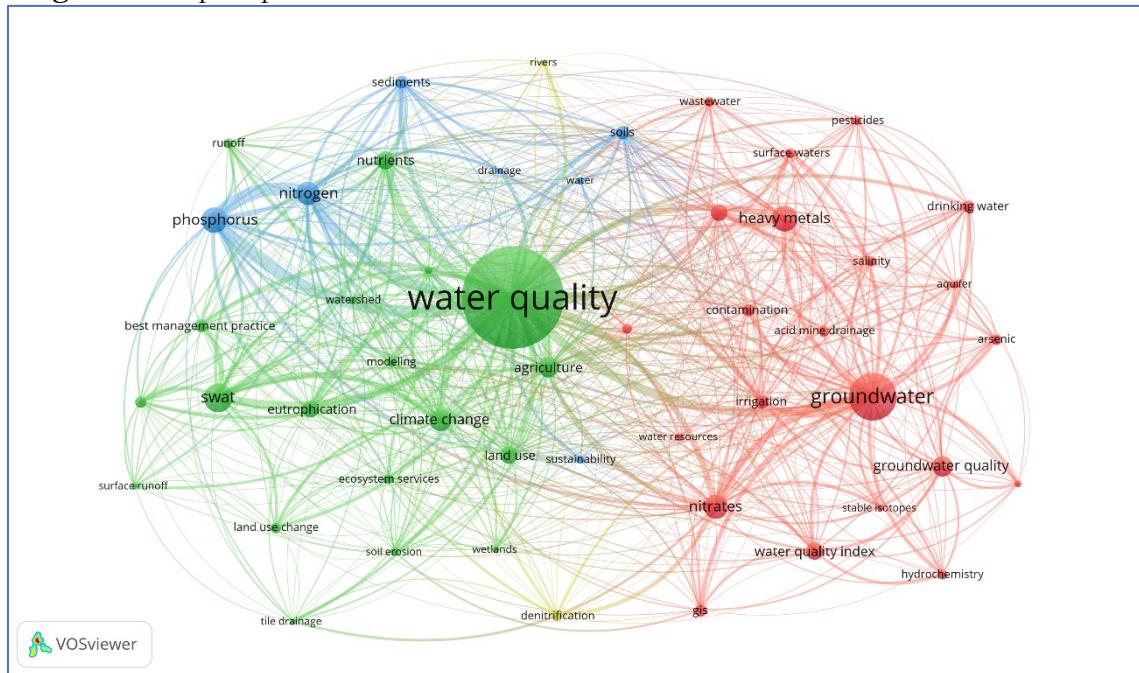
Desta maneira, o saneamento básico é um contribuinte para a melhoria da qualidade ambiental e para a eliminação de certas doenças. Ações voltadas para o saneamento básico não se restringem apenas a erradicação de doenças, mas sim, ao manejo das águas e dos resíduos em uma rede de questões de saúde (Faria *et al.*, 2023).

Diversos fatores descrevem a qualidade de vida de uma população, entre aquelas que estão ligadas as condições de infraestrutura, o saneamento básico reflete de forma direta e indireta, a forma como são expressos os problemas ligados a saúde pública e às perdas nas áreas sociais e econômicas (Marinho *et al.*, 2021). Discussões relacionadas a infraestrutura e saneamento básico vem sendo amplamente debatidos, no entanto o Brasil está longe de sanar os problemas ligados à temática. Cidades localizadas na região Norte e Nordeste do Brasil, concentram os mais elevados índices de desigualdade e os mais altos déficits de acesso ao serviço de saneamento (Borja, 2014).

O saneamento básico está intimamente ligado à saúde pública, principalmente em regiões de baixa e média renda. Sendo um fator que implica de forma negativa no bem-estar físico, mental e social da população (Prüss-Üstun; Neira, 2016). O saneamento está diretamente ligado a questões ambientais e de saúde pública (Massa; Chiavegatto, 2020). Outros fatores como, serviços de disponibilidade de água potável, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos, são agravados pelo crescimento desordenado da população dos centros urbanos, afetando atualmente parte importante da carta total de doenças do mundo (Turolla, 2014).

Quanto ao universo de palavras-chave, a Figura 9 apresenta o panorama das 50 palavras-chave dos autores mais utilizadas nas publicações. Destacam-se como palavras-chave mais recorrentes referentes à contaminação: “heavy metals”, “nutrients”, “phosphorus”, “nitrogen”, “eutrophication”, “nitrates”, “wastewater”, “pesticides”, “stable isotopes”, “agriculture” e “acid mine drainage”. Pode ser observado que todas as palavras – chave são as mais estudadas entre o período de 2022 a 2024, destacando para metais pesados (heavy metals), demonstrando a preocupação e relevância com a forma de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Figura 9 - Top 50 palavras-chave dos autores



Fonte: Autores (2024).

Segundo Wang *et al.* (2024) a contaminação de metais pesados em aquíferos e lençóis freáticos são originados por vazamentos, descartes incorretos, mal uso de equipamentos, consequentemente produzindo poluição secundárias. Já Wang *et al.* (2025) relatou que a contaminação por metais pesados é proveniente de atividades agrícola e industriais que manuseiam essas substâncias perigosas, onde próximos a essas atividades foi detectado uma grande concentração de tais contaminantes.

Já de acordo com Minghao *et al.* (2024), os nutrientes para um solo de boa qualidade podem ser obtidos por meio de fertilizantes orgânicos ou sintetizados, havendo um cuidado com o manuseio de substâncias perigosas, pois pode contaminar (por percolação) lençóis freáticos, água superficiais e o meio ambiente. Conforme (Pausta; Kalbar; Saroj, 2024) a melhoria da qualidade dos recursos hídricos e das vias de aplicações de nutrientes exige uma resolução complexa da problemática com esforços coletivos dos decisores políticos e a sociedade.

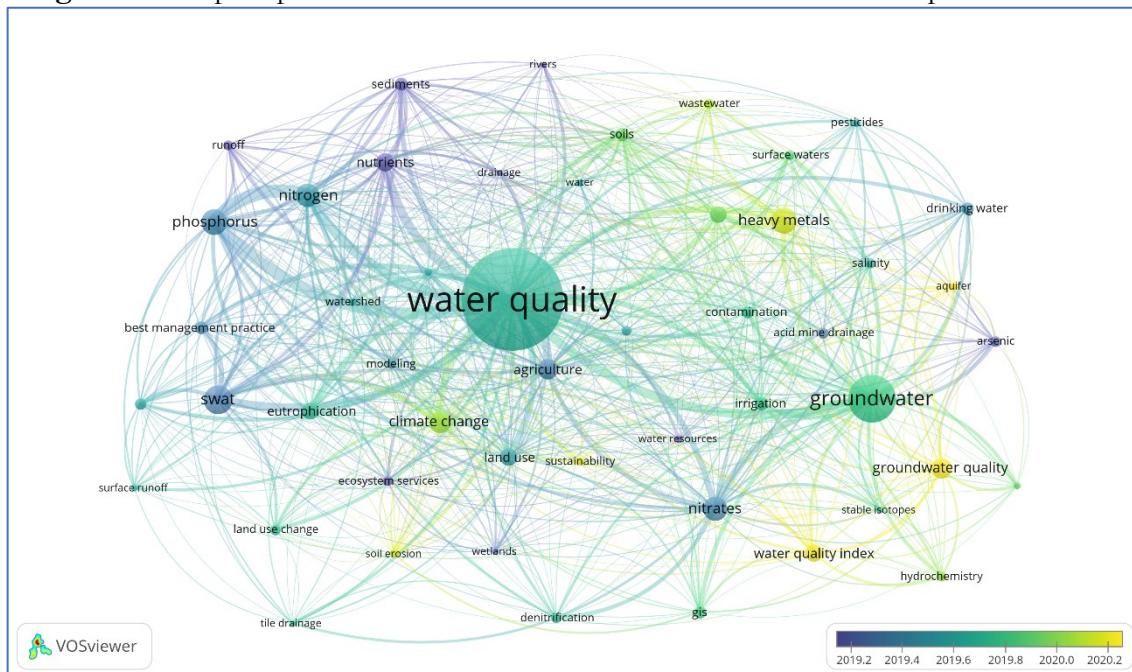
Lai *et al.* (2024) afirma que o aumento global das proporções de nitrogênio, fósforo, nitrato desequilibra o funcionamento dos ecossistemas terrestres, florestas tropicais, água, solo e ar, alterando meios naturais. Também Jiang *et al.* (2024) observou que níveis elevados de nitrogênio e fósforos em mananciais tendem, a longo prazo, à eutrofização aquíferos, necessitando de estratégias de gestão ambiental. Muitos desses despejos são originários de destinação incorreta de efluentes urbanos.

Segundo Jamshidi e Naderi (2023) a eutrofização é um problema em águas superficiais, em lagos, zonas úmidas, estuários, mananciais, causado, muitas vezes, pela agricultura insustentável, atividades rurais que pode descontrolar ambientes com fontes poluidoras de compostos de nitrogênio, fósforo, nitrato em corpos hídricos. Para Bao *et al.* (2024), o crescimento da população e o desenvolvimento econômico tem agravado a qualidade da água tanto em mananciais quanto em lençóis freáticos pelo mundo, eutrofizando grande parte desses ambientes naturais.

Ijpelaar *et al.* (2002) afirmou que muitas contaminações do solo, efluentes e afluentes é causado por pesticidas. Seu uso indiscriminado na agricultura acende um alerta para sua aplicabilidade, visto quer esse contaminante possui uma estrutura molecular complexa, muitas vezes não quebrada por tratamentos convencionais. De acordo com Kruithof, Kamo e Belosevic (2002) a fotodegradação e os processos oxidativo a avançados são alternativas de tratamento de substâncias compostas de estruturas molecular complexas.

Segundo Moreno *et al.* (2023) a drenagem ácida de minas pode ser ocasionada por altas concentrações de sulfato em águas subterrâneas, sendo que a presenças de rochas alcalinas pode neutralizar a acidez e retardar a reação. De acordo com Broadhurst *et al.* (2015) a uma preocupação com os descartes inadequados laçados por indústrias de minerais, muitas vezes resíduos como sulfetos e carvão chegam a mananciais, lençóis freáticos contaminado nossas fontes hídricas causando desequilíbrio ambiental.

Esta presença de palavras-chave pode indicar os temas de maior interesse de pesquisa na área, sendo visualizado na Figura 10 sob o viés temporal.

Figura 10 - Top 50 palavras-chave mais utilizadas com escala de cor temporal

Fonte: Autores (2024).

No espaço temporal, as palavras-chave com aparição mais recente são: “heavy metals” e “wastewater”, além de “water quality index”, indicando que há maior preocupação em realizar estudos na promoção de índices de qualidade de água para águas subterrâneas.

Segundo Chabuk *et al.* (2023) que analisou a qualidade da água do rio Shatt Al-Hillah (Iraque) em 2020 adotando parâmetros físicos, químicos e metais pesados, observou a presença de cálcio, magnésio, oxigênio dissolvidos, turbidez, alcalinidade, condutividade elétrica, cádmio, cobre, ferro, chumbo e zinco. Os resultados apresentaram índice de qualidade de água entre 245 a 253 (com categoria entre 200 a 300), classificado como muito fraco nos locais de coleta. De acordo com Roldán-Reascos *et al.* (2024) a análises do índice de qualidade de água e índice simplificado de qualidade de água para consumo humano em áreas rurais que ocorreu no Equador entre os anos de 2018 a 2019, onde foi analisado pH, Condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura, cor, fosfatos, nitratos, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais, turbidez, substâncias ativas de azul de metileno, gorduras e óleos, coliformes totais, amônia, nitrogênio e coliformes fecais. O índice de qualidade de água exibiu valores entre 79,80 e 81,31 em 2018 e 76,99 e 79,89 em 2019, foi admitido que a água da área estudada necessita de tratamento convencional. Para Mammeri *et al.* (2023) o índice de qualidade de água para recursos hídricos na França apresentou um problema significativo. Foi analisado nove parâmetros hidro químicos. Os resultados indicaram que a IQA de águas superficiais para consumo de qualidade muito baixa, podendo ser utilizadas para irrigação com restrições para plantas sensíveis à salinidade.

16

Foi identificado potássio, Cloreto, sulfato e bicarbonato presentes no meio hídrico. Segundo Yang *et al.* (2023) o projeto para análise do índice de qualidade de água na china no período de 2014 a

2018. O resultado demonstrou que o estado da qualidade de água é bom; teve uma diferença significativa entre a qualidade de água ao longo do espaço e do tempo.

Apesar dos termos identificados estarem bastante correlacionados às fontes de contaminação, aparece apenas um termo como palavras-chave termos que indique estratégias de proteção, remediação e/ou tratamento de águas pluviais: “best management practices”. De fato, melhores práticas de gestão de águas pluviais é parte fundamental da proteção e uso racional destes recursos. Este resultado pode apontar uma lacuna da área, onde o tratamento de águas pluviais para reuso não parece ser grande objeto de estudo, podendo haver grandes avanços científicos e interesses futuros devido à grande necessidade e crescente demanda por recursos hídricos no mundo, podendo ser esta uma nova fonte para obtenção de água potável.

CONCLUSÃO

A análise e discussão dos resultados apresentados revelam uma preocupação global crescente com a qualidade das águas urbanas, destacando-se a necessidade urgente de abordar as questões relacionadas à contaminação e gestão sustentável dos recursos hídricos. O crescente interesse acadêmico reflete a complexidade e a magnitude dos desafios enfrentados em todo o mundo, especialmente em países em desenvolvimento, onde a urbanização rápida e a falta de infraestrutura adequada exacerbam os problemas existentes.

Os dados obtidos por meio da pesquisa bibliométrica indicam um aumento significativo no número de publicações sobre o tema nos últimos anos, refletindo uma maior conscientização e preocupação com as questões ambientais relacionadas à qualidade da água. Esse aumento na produção científica sugere um interesse crescente em compreender as fontes de contaminação, os impactos associados e as possíveis soluções para mitigar os problemas enfrentados.

A exploração acerca de participação das principais revistas e periódicos que mais publicaram sobre o assunto destaca a importância da disseminação do conhecimento científico por meio de veículos de alta qualidade e reputação. Revistas como Water (Switzerland) e Science of the Total Environment emergem como líderes na publicação de pesquisas relacionadas à qualidade das águas urbanas, indicando a relevância e o impacto desses estudos no campo acadêmico e na formulação de políticas públicas.

O estudo sobre as citações por ano e das obras mais referenciadas revela não apenas a qualidade e a influência de determinados trabalhos, mas também aponta para áreas de interesse emergentes e lacunas a serem exploradas. A concentração de citações em obras produzidas entre 2014 e 2016 sugere um período de significativa influência e reconhecimento dentro do campo de estudo, destacando a importância desses estudos na construção do conhecimento científico atual.

A compreensão sobre os principais países na produção científica nessa temática, revela o papel dominante dos Estados Unidos e da China, seguidos de perto por outros países desenvolvidos. No entanto, é crucial destacar o papel do Brasil na produção de conhecimento científico sobre o tema, apesar dos desafios enfrentados em termos de financiamento e infraestrutura. O Brasil, como a única nação da América Latina entre os 10 principais países que estudam a qualidade das águas urbanas, dentro do período analisado, destaca-se como um importante centro de pesquisa e desenvolvimento na região.

A verificação acerca das palavras-chave mais utilizadas pelos autores revela os temas de maior interesse e relevância na área, destacando questões como contaminação por metais pesados, nutrientes, eutrofização, pesticidas e qualidade da água. Essas palavras-chave refletem as preocupações atuais dos pesquisadores e indicam as principais áreas de investigação e intervenção necessárias para enfrentar os desafios relacionados à qualidade das águas urbanas.

Desse modo, os resultados desta pesquisa bibliométrica destacam a complexidade e a urgência dos problemas relacionados à qualidade das águas pluviais em todo o mundo. Para enfrentar esses desafios de forma eficaz e sustentável, são necessárias abordagens integradas e colaborativas que envolvam governos, instituições acadêmicas, setor privado e sociedade civil. Investimentos em infraestrutura, regulamentação ambiental, educação pública e pesquisa científica são fundamentais para garantir a disponibilidade de água segura para as gerações presentes e futuras. A colaboração internacional e a troca de conhecimento são essenciais para enfrentar os desafios globais relacionados à qualidade das águas pluviais e garantir um futuro sustentável para o planeta.

REFERÊNCIAS

- ALI, Seenaa Muhammed; FADHL, Sarkhell Araz, ALI, Salar Ibrahim. Potential Sources of Water Contamination in Sulaymaniyah City Hospitals: Isolation and Identification of Non-Fermentative Gram-Negative Bacteria. **Biologia**, London, v. 78, n. 12, p. 3737–3743, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01537-w>
- ASEFA, Lechisa; ASHENAFI, Abrehalign; DHENGESU, Degefa; ROBA, Habtamu; LEMMA, Hailu. Household water treatment practice and associated factors among rural kebeles (Villages) in West Guji Zone, Southern Ethiopia: Community Based Cross-Sectional Study. **Clinical Epidemiology and Global Health**, Amsterdam, v. 22, p. 101311, Jul./Aug. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101311>
- BAO, Teng; DAMTIE, Mekdimu Mezemir; WANG, ChuYan; LI, Cheng Long; CHEN, Zhijie; CHO, Kuk; WEI, Wei; YUAN, Peng; FROST, Ray L.; NI, Bing-Jie. Iron-containing nanominerals for sustainable phosphate management: A comprehensive review and future perspectives. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 926, p. 172025, 2024. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2024.172025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172025)

BORJA, Patrícia Campos. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, SP, v. 23, n. 2, p. 432-447, apr./jun. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902014000200007>

BRASIL. LEI N° 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 18055, 20 set. 1990.

BROADHURST, Jennifer L.; KUNENE, M. C.; VON BLOTTNITZ, Harro; FRANZIDIS, Jean Paul. Life cycle assessment of the desulfurisation flotation process to prevent acid rock drainage: a base metal case study. **Minerals Engineering**, Cidade do Cabo, v. 76, p. 126–34, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.10.013>

CHABUK, Ali; JAHAD, Udai A.; MAJDI, Ali; MAJDI, Hasan S. H.; HADI, Aya Alaa; HADI, Hassan; AL-ANSARI, Nadhir; ISAM, Mubeen. Integrating WQI and GIS to assess water quality in Shatt Al-Hillah River, Iraq using physicochemical and heavy metal elements. **Applied Water Science**, Berlim, v. 13, n. 7, p. 147, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01933-2>

CHANDEL, Meenakshi; SHARMA, Amit Kumar; THAKUR, Kushal; SHARMA, Dixit; BRAR, Bhavna; MAHAJAN, Danish; KUMAR, Rakesh. Poison in the water: Arsenic's silent assault on fish health. **Journal of Applied Toxicology**, Chichester, GB, v. 44, p. 1282-1301, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/jat.4581>

FARIA, Marco Túlio da Silva; RIBEIRO, Nathalia Roland de Souza; DIAS, Alexandre Pessoa; GOMES, Uende Aparecida Figueiredo; MOURA, Priscilla Macedo. Saúde e saneamento: uma avaliação das políticas públicas de prevenção, controle e contingência das arboviroses no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, RJ, v. 28, n. 06, p. 1767-1776, jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232023286.07622022>

GUEDES, Walef Pena; SUGAHARA, Cibele Roberta; FERREIRA, Denise Helena Lombardo. Retrato do saneamento básico das bacias PCJ: uma proposta de classificação dos municípios. **Nativa**, Sinop, MT, v. 11, n. 1, p. 10–20, 2023. DOI: [10.31413/nativa.v11i1.14353](https://doi.org/10.31413/nativa.v11i1.14353)

IJPELAAR, Guus F., GROENENDIJK, Margriet; HOPMAN, Roos; KRUITHOF, Joop C. Advanced oxidation technologies for the degradation of pesticides in ground water and surface water. **Water Supply**, London, v. 2, n. 1, p. 129-138, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0017>

IQBAL, Nida; AL-HUSSAIN, Sami A.; BATool, Fozia; MUMTAZ, Amina; IRFAN, Ali; NOREEN, Sobia; ZAKI, Magdi E. A. Alginate-based sustainable green composites of polymer and reusable Birm for mitigation of malachite green dye: characterization and application for water decontamination. **Sustainability**, Paquistão, v. 15, n. 4, p. 3194, Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15043194>

JAMSHIDI, Shervin; NADERI, Anahita. Wetland restoration policies and the sustainability of agricultural productions, lessons learnt from Zrebar Lake, Iran. In: BANERJEE, Arnab; JHARIYA, Manoj Kumar; BARGALI, Surendra Singh; PALIT, Debnath (ed.). **Ecorestoration for sustainability**. Hoboken, NJ: Wiley, 2023. Chap. 4, p. 113-166, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119879954.ch4>

JIANG, Minghao; DONG, Chao; BIAN, Wenpeng; ZHANG, Wenbei; WANG, Yong. Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. **Scientific Reports**, London, v. 14, n. 1, p. 6480, 2024. DOI: [10.1038/s41598-024-57031-z](https://doi.org/10.1038/s41598-024-57031-z)

KRUITHOF, Joop C.; KAMP, Peer C., BELOSEVIC, Miodrag. UV/H₂O₂-treatment: The ultimate solution for pesticide control and disinfection. UV/H₂O₂-treatment: the ultimate solution for pesticide control and disinfection. **Water Supply**, London, v. 2, p. 113-122, 2002. DOI: 10.2166/ws.2002.0015

LAI, Yuan; TANG, Songbo, LAMBERS, Hans, HIETZ, Peter; TANG, Wenguang; GILLIAM, Frank S.; KUANG, Yuanwen. Global change progressively increases foliar nitrogen–phosphorus ratios in China's subtropical forests. **Global Change Biology**, Hoboken, NJ, v. 30 p. 17201, 2024. DOI: 10.1111/gcb.17201

LECHHAB, Wafae; CINCOTTA, Fabrizio; LECHHAB, Touria; CONDURSO, Concetta; CACCIOLA, Francesco; VERZERA, Antonella. Preliminary assessment of occurrence, potential origin, and human health risk of volatile organic compounds in uncontrolled springs, North Morocco. **Metabolites**, Modena, Italy, v. 12, n. 12, p. 1213, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabolites121213>

MAMMERI, Asma; TIRI, Ammar; BELKHIRI, Lazhar; HICHAM, Salhi; TAHRAOUI, Hichem; AMRANE, Abdeltif; MOUNI, Lotfi. Assessment of surface water quality using water quality index and discriminant analysis method. **Water**, Basel, v. 15, n. 4, p. 680, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15040680>

MARINHO, Gerson Luiz; RAUPP, Ludimila; LUCENA, José Rodolfo Mendonça de; TAVARES, Felipe Guimarães. Saneamento básico em domicílios indígenas de áreas urbanas da Amazônia Legal, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, RJ, v. 29, p. 177-186, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-462X202199010455>

MASSA, Kaio Henrique Correa; CHIAVEGATTO, Alexandre Dias Porto. Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, SP, v. 23, 2020. DOI: 10.1590/1980-549720200050

MORENO-GONZÁLEZ, Raúl; MACÍAS, Francisco; MEYER, Andreas; SCHNEIDER, Petra; MIGUEL NIETO, Jose; OLÍAS, Manuel; CÁNOVA, Carlos Ruiz. Life cycle assessment of management/valorisation practices for metal-sludge from treatment of acid mine drainage. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, US, v. 99, p. 107038, Mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107038>

NGUYEN, Minh Duc; THOMAS, Michael; SURAPANENI, Aravind; MOON, Ellen M.; MILNE, Nicholas A. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. **Environmental Technology & Innovation**, Amsterdam, v. 28, p. 102651, Nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102651>

PAUSTA, Carla Mae; KALBAR, Pradip; SAROJ, Devendra. Life cycle assessment of nutrient recovery strategies from domestic wastewaters to quantify environmental performance and identification of trade-offs. **Scientific Reports**, London, v. 14, n. 1, p. 3678, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-54060-6

PRÜSS-ÜSTÜN, Annette; NEIRA Maria P. **Preventing disease through healthy environments**: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Genebra: World Health Organization, 2016.

ROLDÁN-REASCOS, Gloria; PÉREZ-LAMELA, Concepción; BLAS, Esther de; SIMAL-GANDARA, Jesus. Water quality indexes and water quality population perception in a rural area in ecuador. **Water Practice & Technology**, London, v. 19, n. 2, p. 580–593, 2024. DOI: 10.2166/wpt.2024.021

SYAFRUDIN, Muhammad; KRISTANTI, Risky Ayu; YUNIARTO, Adhi; HADIBARATA, Tony; RHEE, Jongtae; AL-ONAZI, Wedad A.; AL-MOHAIMEED, Amal M. Pesticides in drinking water - a review, **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 18, n. 2, p. 468, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18020468

TUROLLA, Frederico A. Saneamento: o despertar de um setor estagnado. In: SENNES, Ricardo; LOHBAUER, Rosane Menezes; SANTOS, Rodrigo Machado M.; KOHLMANN, Gabriel Berton; BARATA, Rodrigo Sarmento (ed.). **Novos rumos para a infraestrutura: eficiência, inovação e desenvolvimento**. São Paulo: LEX Editora, 2014. p. 303-321.

WANG, Congqing; WANG, Wanjun; WANG, Chao; REN, Shixing; WU, Yingjun; WEN, Meicheng; LI, G., AN, Taicheng. Impact of coking plant to heavy metal characteristics in groundwater of surrounding areas: Spatial distribution, source apportionment and risk assessments. **The Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, CA, v. 149, p. 688-698, 2025. DOI: 10.1016/j.jes.2024.01.048

WANG, Zufei; HUANG, Kaibo; ZHENG, Yanjie; YE, Han; WANG, Juan; TAO, Xueqin; LU, Guining. Efficient removal of heavy metals in water utilizing facile cross-link conjugated linoleic acid micelles. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 31, n. 13, p. 20665-20677, 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-32517-5

WU, Rong; ZHANG, Sheng; LIU, Yu; SHI, Xiaohong; ZHAO, Shengnan; KANG, Xueer; LI, Guohua. Spatiotemporal variation in water quality and identification and quantification of areas sensitive to water quality in Hulun Lake, China. **Ecological Indicators**, New York, v. 149, p. 110176, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110176>

YANG, Xiaochen; LI, Jinjin; LIU, Xiaobo; GAO, Jijun; DONG, Fei; HUANG, Aiping; LONG, Jiajia. Research on water quality assessment using the water quality index for the eastern route of the south-to-north water diversion project. **Water**, Basel, v. 15, n. 5, p. 842, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15050842>

YANG, Zhizhou; ZOU, Lei; XIA, Jun; QIAO, Yunfeng; BAI, Fengpeng; WANG, Qiang; CAI, Diwen. Spatiotemporal variation characteristics and source identification of water pollution: insights from urban water system. **Ecological Indicators**, New York, v. 139, p. 108892, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108892>

Recebido em: maio de 2024
Aceito em: setembro de 2024