

O POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUA PARA REDUZIR OS IMPACTOS DA ESCASSEZ HÍDRICA

*Pedro Alberto Brasil Vieira dos Santos¹; Jade Silva de Oliveira²; Victor Henrique Resende Lima³;
Adriano Silva Bastos⁴; Dieimys Santos Ribeiro⁵ & Carlos Barreira Martinez⁶*

RESUMO – A adoção de práticas sustentáveis para utilização dos recursos hídricos tem por objetivo amenizar os problemas e disputas provocadas pela escassez de água. Desse modo, o gerenciamento dos recursos hídricos preconiza um conjunto de estratégias para conservação e uso racional da água, aprimorando técnicas e tecnologias para o melhor aproveitamento desse recurso. Diante da relevância do tema, o presente estudo pretende avaliar o potencial e as formas de reuso de água e efluentes, evidenciando na forma de uma revisão bibliométrica as linhas de pesquisas que tem se mostrado promissoras. Utilizando a base de dados do Scopus da editora Elsevier, foram identificados 3.955 estudos, com intuito de realizar uma análise crítica desses resultados. Observou-se que, estudos com o tratamento aeróbio-anóxico de águas residuárias urbanas para irrigação de hortaliças e o reuso de efluentes gerados por estações de tratamento de esgoto para irrigação se apresentam como técnica extremamente promissora como forma de promover o reuso. Também foi identificado uma carência de redes coletoras, o que influencia diretamente na potencialidade de reuso, assim como há a possibilidade de reutilização da água industrial-urbana com intuito de aumentar a oferta de água residual, consequentemente o potencial de reuso.

ABSTRACT– The adoption of sustainable practices for the use of water resources aims to mitigate the problems and disputes caused by water scarcity. Thus, the management of water resources advocates a set of strategies for the conservation and rational use of water, improving techniques and technologies for the best use of this resource. Given the relevance of the topic, this study aims to evaluate the potential and the forms of water and wastewater reuse, highlighting in the form of a bibliometric review the lines of research that have shown promise. Using the Elsevier Scopus database, 5,399 studies were identified in order to perform a critical analysis of these results. It was observed that studies with aerobic-anoxic treatment of urban wastewater for vegetable irrigation and the reuse of effluents generated by sewage treatment plants for irrigation are presented as extremely promising techniques to promote the reuse. It was also identified a lack of collection networks, which directly influences the potential for reuse, as well as the possibility of reuse of industrial-urban water in order to increase the supply of wastewater, consequently the potential for reuse.

Palavras-Chave – reuso de água, escassez hídrica, infraestrutura, esgoto sanitário.

1) Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica – MPEH - UNIFEI, Av. BPS, 1303, (35)3629-1668, pbrasil@brasilpericias.com.br

2) Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica – MPEH - UNIFEI, Av. BPS, 1303, (35)3629-1668, jade.sdeoliveira@gmail.com

3) Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica – MPEH - UNIFEI, Av. BPS, 1303, (35)3629-1668, consultorialimende@outlook.com

4) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica - PPGEM - UNIFEI, Av. BPS, 1303, (35)3629-1668, adriano.bastos@unifei.edu.br

5) Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica – MPEH – UNIFEI, Av. BPS, 1303.E-mail: dieimys@unifei.edu.br

6) Programas de Pós-graduação – MPEH e PPGEM – UNIFEI; PPGMEC - UFMG, Av. BPS, 1303, (35)3629-1668, cmartinez@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são um conjunto de riquezas existentes na natureza, disponíveis nas águas doces superficiais ou subterrâneas. São fundamentais para a manutenção e composição da vida, bem como matéria prima para produção de alimentos, bens de consumo, bem-estar e desenvolvimento da humanidade(Cavalcante *et al.*, 2020). Esses recursos são finitos e a sua disponibilidade vem sendo um assunto de grande debate mundial, deixando evidente a necessidade de práticas sustentáveis de utilização devido aos problemas de escassez, crescimento populacional, industrialização, intensificação de atividades agrossilvipastoris e mudanças climáticas (Cavalcante *et al.*, 2020; Garboça *et al.*, 2021). Portanto, o gerenciamento dos recursos hídricos vem ganhando força como uma estratégia para o desenvolvimento de projetos e tecnologias inovadoras que visam a reciclagem e reuso de água, adotando novas e melhores metodologias no tratamento de efluentes para que o mesmo tenha eficiência em fornecer água doce para uso agrícola, industrial e até consumo humano (Dall’Agnol *et al.*, 2020; Melo *et al.*, 2021).

O reuso da água é uma técnica alternativa, indicada pelo Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, para ser levada em consideração nas ações e pesquisas de aproveitamento dos recursos hídricos, cuja viabilidade técnica e econômica deve ser avaliada para o desenvolvimento e aplicação de um planejamento alinhado com outras medidas de prevenção a escassez hídrica(Fukasawa e Mierzwa, 2020; Soares e Santos, 2021). A proteção da saúde e do meio ambiente foram os principais temas apresentados na Agenda 21 para notabilidade da reciclagem e uso de efluentes, devendo ser seguidas por meio de metodologias e técnicas adequadas de disposição além de promover a conscientização, principalmente de produtores rurais, sobre as vantagens do reuso dos recursos hídricos em práticas agrícolas, das medidas de segurança, potencialidades e implicações socioambientais (Lopes *et al.*, 2021). Já o reuso de esgoto sanitário e efluentes industriais vem ganhando destaque devido aos constantes e severos problemas de estresse hídrico, elevados custos pelo uso da água e do tratamento dos efluentes e um maior engajamento socioambiental (Costa *et al.*, 2020). Assim, é necessário realizar um planejamento para avaliar as potencialidades de reuso para as diferentes regiões, setores industriais ou atividade agrossilvipastoris e tipologias de tratamentos para verificar quais usos preponderantes podem se beneficiar (Santos *et al.*, 2021). Dentre as principais formas para reutilização de água ou águas residuárias, tem-se a fertirrigação de lavouras, irrigação de jardins, controle e prevenção de incêndios, aquicultura, refrigeração industrial, alimentação de caldeiras, sistemas de ar-condicionado, limpeza de veículos e de pavimentações, construções e controle de poeira (CETESB, 2021).

Desse modo, a reutilização água ou águas residuárias pode ser entendida como uma medida promissora a ser adotada para minimizar os problemas e conflitos relacionados a utilização do uso da água nos períodos de recessão hídrica (Cruvinel *et al.*, 2021). Diante do exposto, da importância do tema para a atualidade e da crescente divulgação científica, o presente estudo pretende avaliar criticamente as formas de reuso de água e efluentes, as linhas de pesquisas que tem se mostrado promissoras e o potencial de desenvolvimento dessas tecnologias e metodologias. Para isso, apresentar-se-á uma revisão bibliométrica e uma análise crítica dos estudos publicados na atualidade sobre potencial de reuso de água e efluentes, para redução dos impactos da escassez hídrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizando-se da base de dados do Scopus, maior banco de dados de resumos e citações da literatura com revisão por pares, revistas científicas, livros, processos de congressos e publicações do setor, realizou-se uma pesquisa com as palavras-chave: i) reuso de água (*water reuse*); ii) escassez hídrica (*water scarcity*); iii) infraestrutura (*infrastructure*); e iv) esgoto sanitário (*sewage*), onde foram identificadas produções acadêmicas que estivessem relacionados com o tema, a fim de avaliar o impacto da matéria na atualidade.

Os dados resultantes da base de pesquisa bibliográfica foram tratados no software estatístico RStudio®, com o auxílio do aplicativo Biblioshiny para Bibliometrix a fim de apresentar graficamente os resultados por meio de uma análise de acoplamento de autores e produções.

Por fim, selecionou-se artigos relevantes publicados a partir de 2020 de modo a realizar uma análise crítica sobre a potencialidade de reuso de água e efluentes.

RESULTADOS

Foram identificados 3.955 documentos entre artigos, livros, capítulos de livro, artigos de congresso dentre outros. A revista científica com maior número de publicações é a Water Science and Technology, com 445 artigos publicados, a qual é apresentada na Figura 1. Entre autores e coautores brasileiros, o país possui 413 documentos, conforme a Figura 2, já os autores mais citados globalmente no tema, se apresentam na Figura 3, sendo (Gupta *et al.*, 2012), (Whitmee *et al.*, 2015), (Ihsanullah *et al.*, 2016), (Cordell *et al.*, 2011) e (Molden *et al.*, 2010). Quanto a relevância dos autores, encontram-se (Salgot e Folch, 2018), (Fatta *et al.*, 2004), (Angelakis *et al.*, 1999), (Bes-Piá *et al.*, 2005) e (Drechsel, Qadir e Baumann, 2022), conforme a Figura 4.



I SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA

 Agosto/2022 – Ouro Preto/MG

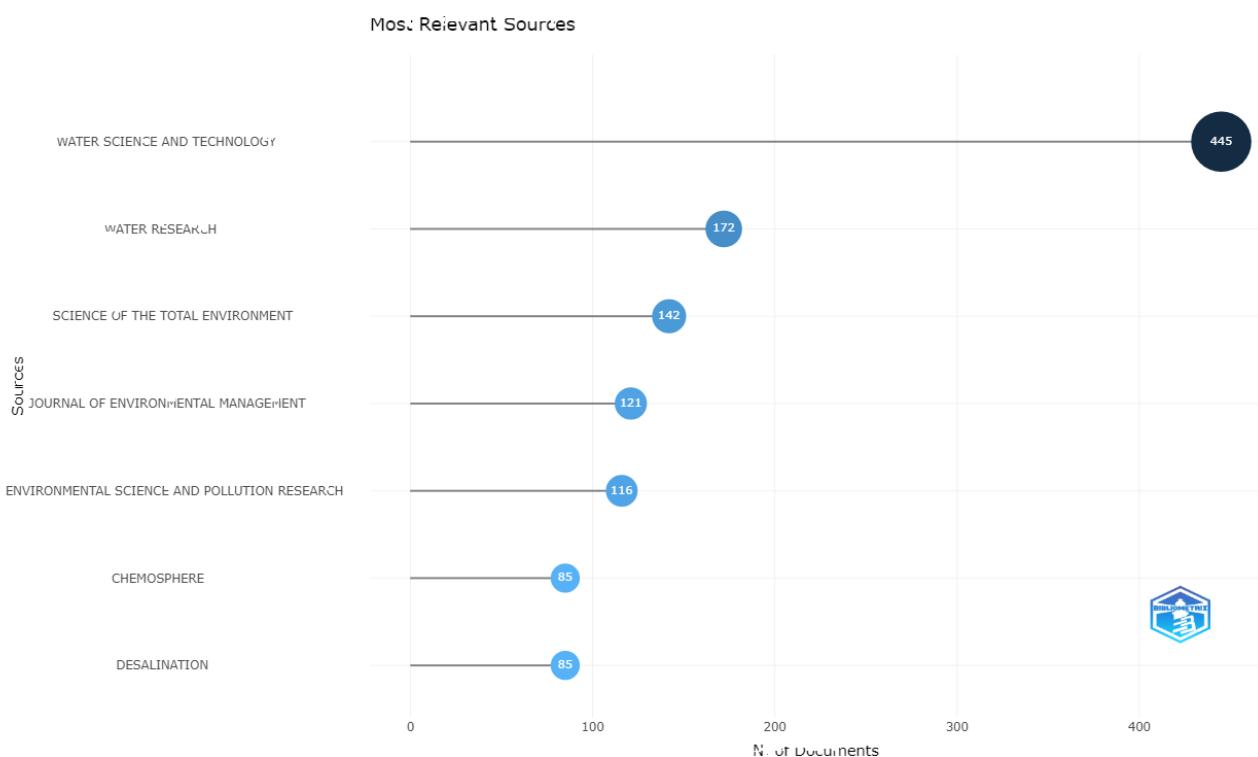


Figura 1 – Fontes mais relevantes. Fonte: SCOPUS.

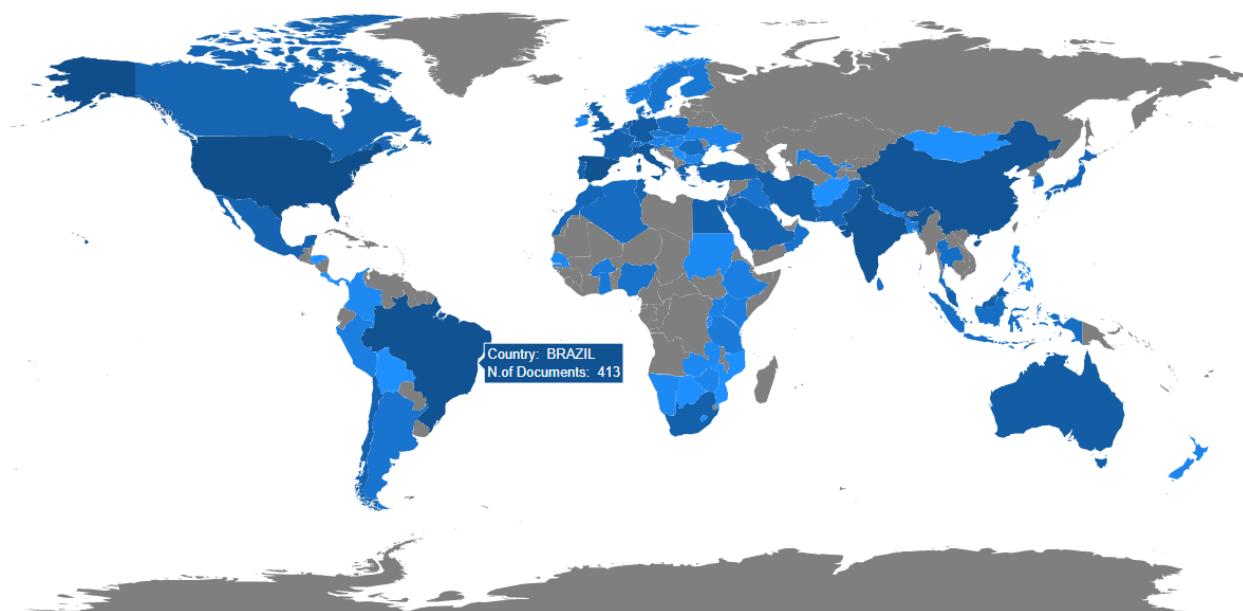


Figura 2 – Artigos com autoria ou coautoria brasileira. Fonte: SCOPUS.



I SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA

 Agosto/2022 – Ouro Preto/MG

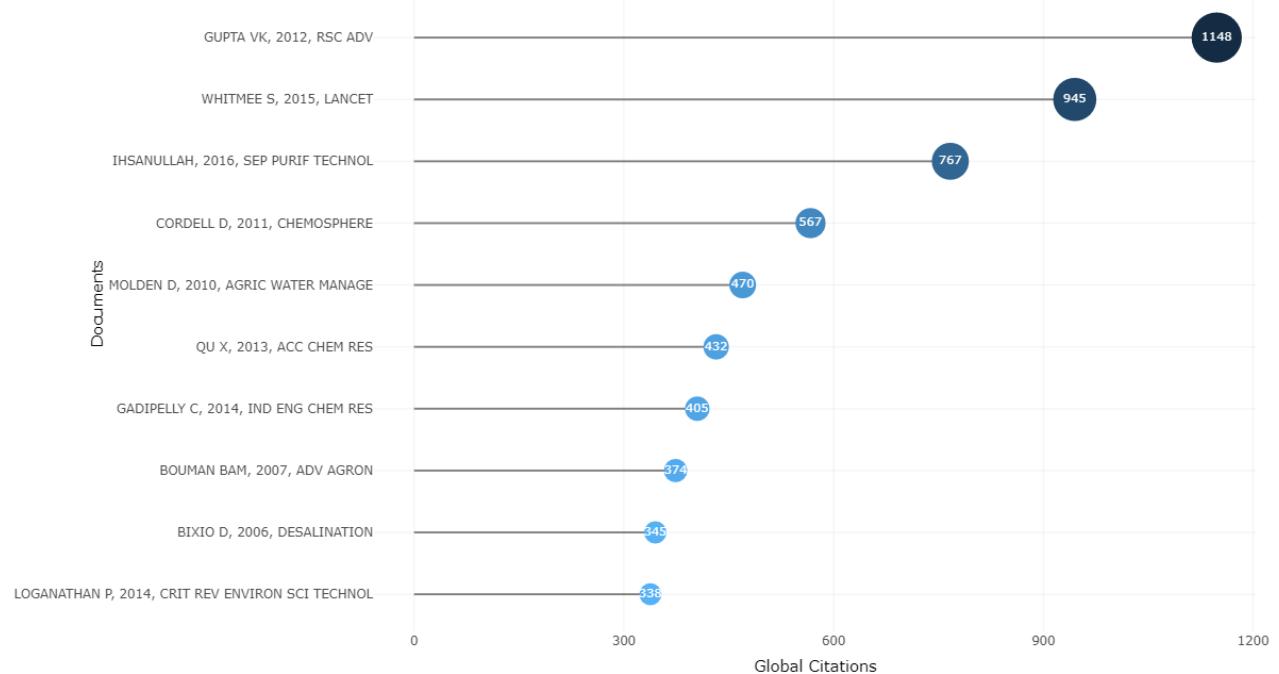


Figura 3 – Artigos mais citados globalmente. Fonte: SCOPUS.

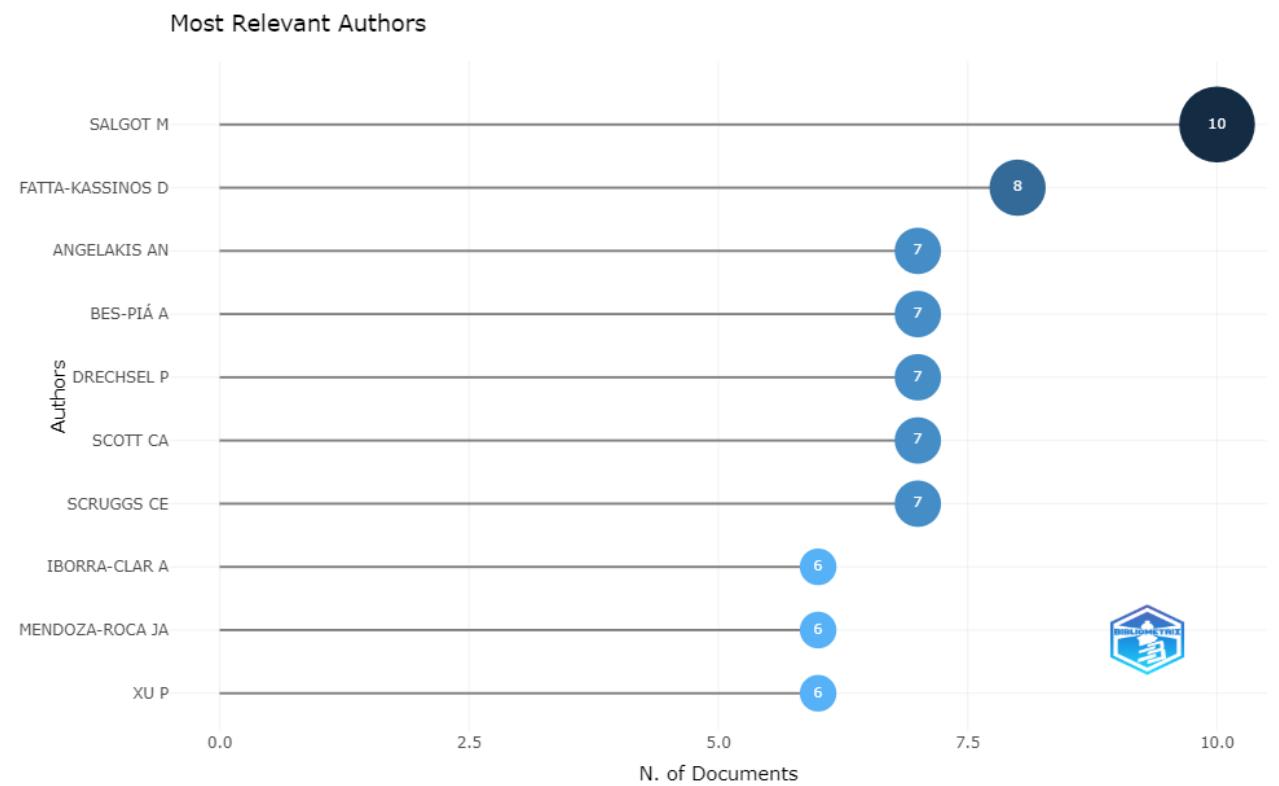


Figura 4 – Autores mais relevantes globalmente. Fonte: SCOPUS.

REVISÃO DA LITERATURA

Gupta et al., (2012), apresenta uma revisão de todas as tecnologias de tratamento de água, dividindo-as em primárias, quando seu processo se dá no meio físico-químico (filtração, sedimentação, coagulação etc.), secundárias, quando seu processo é biológico (bacteriano) e terciários, quando seu uso final se destina a consumo (destilação, eletrólise, osmose etc.). Whitmee et al., (2015), expõe em seu trabalho conceitos de saúde humana e define que tais conceitos estão diretamente ligados a qualidade dos sistemas naturais do planeta, as ameaças ambientais implicam diretamente a curto e longo prazo na qualidade e na longevidade da vida humana. O autor define ainda que os atuais sistemas de governança são inadequados para garantir uma qualidade dos recursos naturais do planeta, explanando novas diretrizes para que a sociedade possa atingir indicadores mais sustentáveis e equitativos. O trabalho de Ihsanullah et al., (2016), consiste em uma revisão sobre a utilização de nanotubos de carbono para a retirada de metais pesados da água, apresenta as metodologias utilizadas que atingiram resultados mais expressivos, expõe ainda que devido ao alto custo da implementação desta nova tecnologia os estudos têm procedência apenas laboratorial, não sendo reproduzido ainda em larga escala. Cordell et al., (2011), examina em seu artigo opções sustentáveis para a recuperação e a reutilização do elemento fósforo, o autor identificou estudos de casos distintos e definiu que não há uma única solução para uma utilização segura desse elemento, também ressalta a importância de novas políticas sustentáveis no segmento de produtos reutilizáveis.

Segundo Molden et al., (2010), é possível obter ganho na utilização e produtividade de água, tal ganho seria satisfatório em ecossistemas com pouco recurso hídrico e existe uma margem considerável de ganho na utilização deste recurso, porém ela é definida pelo local de estudo e as técnicas utilizadas para melhor utilização ou reutilização da água. Indiretamente é ressaltado a importância de políticas sustentáveis de utilização eficiente e consciente deste recurso. Salgot & Folch, (2018), apresentam um estudo sobre a evolução dos regulamentos de reutilização e recuperação de águas residuais, explica a dificuldade em executar todos os regulamentos e o custo envolvido no processo de reutilização de águas. O artigo de Fatta et al., (2004), aborda os recursos hídricos no requisito de disponibilidade, tratamento e reutilização na Palestina e em Marrocos, a utilização não controlada das águas residuais está frequentemente associada a impactos negativos significativos na saúde humana. Estes impactos na saúde podem ser minimizados quando as boas práticas de gestão são implementadas. Angelakis et al., (1999), define em seu trabalho a reutilização e a recuperação de águas residuais, apresenta diretrizes e regulamentações existentes pré-definidas para a bacia do Mediterrâneo, ainda é apresentado uma vertente de unificação dos procedimentos de reutilização das

água residuais. O objetivo do trabalho desenvolvido por Bes-Piá et al., (2005), foi definir o melhor e menos oneroso reaproveitamento de águas contaminadas com reagentes químicos, foram realizados estudos de neutralização para definir o reagente mais propício, para tanto foram definidos reagentes e os mesmos foram ensaiados variando as seguintes condições: pressão; velocidade de fluxo e temperatura. Como resultado a combinação de tratamento físico-químico e nano filtração se mostraram altamente eficiente e resultou em uma água tratada em condições de ser reutilizada na indústria. Segundo (Drechsel et al., 2022), o tema de reuso de águas residuais permite entre outros pontos a disponibilização de água potável para um uso de maior valor, deixando de abastecer plantas fabris. A reutilização de água entre setores oferece oportunidades de expandir o conceito tradicional de produtividade da água e aumentar significativamente a produtividade da água no nível do sistema.

Contudo, observa-se que o setor agrícola requer um grande volume de água e como possui recurso hídrico como fonte de água doce escassa, necessita buscar alternativas para suprir essa demanda. Conforme o estudo de (Guadie et al., 2021) ao adotar método de tratamento aeróbio-anóxico foi possível utilizar águas residuárias urbanas para irrigação de hortaliças, tornando-se uma abordagem sustentável e segura para ingestão humana. O estudo feito por (Lima et al., 2021) verificou o potencial de reuso de efluentes gerados por estações de tratamento de esgoto para irrigação nas 12 regiões hidrográficas do Brasil. Observou-se que algumas das bacias hidrográficas apresentavam uma alta demanda para irrigação, mas não contavam com cobertura de tratamento de esgoto. Concluiu-se que apenas 7% das vazões de esgoto do Brasil passam por um estágio terciário de desinfecção, mostrando uma fragilidade em relação à qualidade do efluente tanto para o lançamento quanto para a aplicação da prática de reuso da água. (Bauer; Linke; Wagner, 2020) apresenta o conceito integrado de reutilização de água industrial-urbana (IU-WA-RE) conecta infraestruturas cinzas e verdes, fornecendo água de reutilização para diferentes fins infra estruturais, tem como objetivo oferecer uma estratégia holística para aumentar o potencial de reuso da água e, portanto, os recursos hídricos. Ele oferece uma solução para suprir a falta de necessidades de água em áreas urbanas.

CONCLUSÕES

A pressão pela disponibilidade e utilização de água, aliados ao mal-uso está afetando o ciclo natural desse elemento na natureza. O recurso hídrico no Brasil e no mundo não é distribuído uniformemente e por essa razão nem sempre atende à demanda local. Isso se dá em função da ação humana que além de poluir a água, consome, na atualidade, mais do que o meio ambiente consegue recompor naturalmente. Diante deste cenário crítico, ações de gestão são imprescindíveis para que este bem

precioso esteja disponível para toda a população. A crise da água não é apenas um problema local, mas sim mundial. A água além de prover a vida e auxiliar no funcionamento do corpo humano, é fonte de energia, fonte de produção nos processos fabris e agropastoris. O descarte de resíduos de forma indevida é outra ação humana que afeta de forma direta e indireta o local de deposição e pode afetar também o lençol freático e toda a cadeia dele dependente. Dessa forma, a sociedade humana evoluiu até um nível de consciência, interferindo minimamente, para que a água possa estar disponível a todos. A farta literatura investigada nesse artigo evidencia a crescente preocupação mundial acerca desse assunto. A presença de autores chineses, maior nação em população absoluta do mundo, também, é um indicativo da preocupação que aflige a comunidade científica de regiões sobre forte pressão e demanda pelos recursos hídricos. O expressivo aumento de publicações a partir do início do século 21 mostra que o tema tem recebido um forte incentivo de diversas nações no mundo e que deve ser foco de mais investimentos nas próximas décadas.

AGRADECIMENTOS - Os autores manifestam seus agradecimentos à UNIFEI, ANEEL, CEMIG, ELETROBRÁS FURNAS, SEFAC e a FAPEMIG pelo suporte para realização desse trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ANGELAKIS, A. N. *et al.* The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water Research*, v. 33, n. 10, p. 2201–2217, jul. 1999.
- BAUER, S.; LINKE, H. J.; WAGNER, M. Combining industrial and urban water-reuse concepts for increasing the water resources in water-scarce regions. *Water Environment Research*, v. 92, n. 7, p. 1027–1041, 14 jul. 2020.
- BES-PIÁ, A. *et al.* Nanofiltration of textile industry wastewater using a physicochemical process as a pre-treatment. *Desalination*, v. 178, n. 1–3, p. 343–349, jul. 2005.
- CAVALCANTE, K. L. *et al.* Análise físico-químico da qualidade de efluentes para fins de reuso na irrigação no município de Iguatu – CE. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 81778–81794, 2020.
- CETESB. *Reuso de água / Águas Interiores*. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- CORDELL, D. *et al.* Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*, v. 84, n. 6, p. 747–758, ago. 2011.
- COSTA, D. M. DA *et al.* Reúso de Efluentes Tratados para Fins de Operação de Torres de Resfriamento / Reuse of Treated Wastewater for Cooling Tower Purposes. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 4, p. 2568–2577, 2020.

CRUVINEL, K. A. DA S. *et al.* Reúso de água a partir de efluentes de estações de tratamento de esgotos para irrigação de pastagens na bacia hidrográfica do rio meia ponte. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 126–140, 15 set. 2021.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Economia de água na lavagem doméstica de roupas: alternativas de tratamento do efluente para viabilização da recirculação e reuso. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 67290–67306, 2020.

DRECHSEL, P.; QADIR, M.; BAUMANN, J. Water reuse to free up freshwater for higher-value use and increase climate resilience and water productivity. *Irrigation and Drainage*, 21 fev. 2022.

FATTA, D. *et al.* Urban Wastewater Treatment and Reclamation for Agricultural Irrigation: The situation in Morocco and Palestine. *The Environmentalist*, v. 24, n. 4, p. 227–236, 21 dez. 2004.

FUKASAWA, B. N.; MIERZWA, J. C. Modelo de suporte à decisão para implantação de programas de reúso não potável como ferramenta de planejamento. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 14604–14641, 2020.

GARBOÇA, E. A. *et al.* O reúso de água e seus resultados relacionados ao triple bottom line. *Revista Ciências Sociais em Perspectiva*, v. 19, n. 5anos, p. 69–87, 15 maio 2021.

GUADIE, A. *et al.* Effluent quality and reuse potential of urban wastewater treated with aerobic-anoxic system: A practical illustration for environmental contamination and human health risk assessment. *Journal of Water Process Engineering*, v. 40, p. 101891, abr. 2021.

GUPTA, V. K. *et al.* Chemical treatment technologies for waste-water recycling—an overview. *RSC Advances*, v. 2, n. 16, p. 6380, 2012.

IHSANULLAH *et al.* Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications. *Separation and Purification Technology*, v. 157, p. 141–161, jan. 2016.

LIMA, M. *et al.* Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. *Water Supply*, v. 21, n. 6, p. 2799–2810, 1 set. 2021.

LOPES, W. DA S. *et al.* Oficina de reúso de efluentes como ferramenta de sensibilização ambiental com agricultores no semiárido. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 16, n. 3, p. 224–236, 1 jun. 2021.

MELO, M. C. DE *et al.* Avaliação quantitativa do potencial de reúso no estado de minas gerais. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 141–157, 15 set. 2021.

MOLDEN, D. *et al.* Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 4, p. 528–535, abr. 2010.

SALGOT, M.; FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 2, p. 64–74, abr. 2018.



I SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA
Agosto/2022 – Ouro Preto/MG

SANTOS, A. S. P. *et al.* Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 01 – terminologia e conceitos de base. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 1–17, 15 set. 2021.

SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P. Priorização da água de reuso em bacias hidrográficas com base no planejamento de recursos hídricos: proposta metodológica e exemplos das bacias do rio grande e do Piancó-piranhas-açu. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 111–125, 15 set. 2021.

WHITMEE, S. *et al.* Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, v. 386, n. 10007, p. 1973–2028, nov. 2015.