

**Reúso de efluentes sanitários e a revitalização de rios no semiárido: uma
revisão sistemática da literatura**

*Reuse of sanitary effluents and the revitalization of rivers in the semi-arid region: a
systematic literature review*

*Reutilización de efluentes sanitarios y revitalización de ríos en la región semiárida: una
revisión sistemática de la literatura*

Anna Elis Paz Soares

Doutoranda em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Brasil
anna.elis@ufpe.br

Simone Rosa da Silva

Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UPE, Brasil
simonerosa@poli.br

Suzana Maria Gico Lima Montenegro

Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Brasil
suzanam.ufpe@gmail.com

RESUMO

Considerando os desafios da gestão de recursos hídricos e saneamento em áreas de clima semiárido, onde a escassez de água já é naturalmente enfrentada, agravados pela presença de rios intermitentes impactados pelo lançamento de cargas poluidoras contínuas, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o papel do reúso de efluentes sanitários na revitalização de rios intermitentes e seus ecossistemas. A metodologia consistiu na realização de revisão sistemática da literatura utilizando o método PRISMA e a base de dados Scopus. Foram realizadas buscas com as palavras chaves: *reuse*, *"wastewater reuse"*, *"reclaimed water"*, *arid*, *river*, *effluent* e *"water management"*. Inicialmente, a busca resultou em um universo de 548 publicações. Aplicando os critérios de inclusão e exclusão definidos pelo método PRISMA, foram selecionados seis artigos relacionados ao tema para desenvolvimento da pesquisa. A partir das experiências com a utilização de água de reúso para revitalização de rios localizados em Israel e nos Estados Unidos, contou-se a eficácia do direcionamento de efluente tratado para a regularização de vazões em rios intermitentes e a necessidade de adaptação das estações de tratamento de esgoto para a implementação de tratamento avançado, o que resulta em um investimento inicial elevado. Para contornar essa situação, os estudos destacam a importância de apropriação dos serviços ecossistêmicos e dos benefícios diretos e indiretos nas análises de custo benefício, além da forte atuação do poder público na priorização das ações de reúso para revitalização dos rios.

PALAVRAS-CHAVE: Regularização de vazões. Tratamento de esgoto. Gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

Considering the challenges of managing water resources and sanitation in areas with a semi-arid climate, where water scarcity is already naturally faced, aggravated by the presence of intermittent rivers impacted by the release of continuous polluting loads, the main objective of this work is to evaluate the role of reuse of sanitary effluents in the revitalization of intermittent rivers and their ecosystems. The methodology consisted of carrying out a systematic review of the literature using the PRISMA method and the Scopus database. Searches were carried out with the keywords: reuse, "wastewater reuse", "reclaimed water", arid, river, effluent and "water management". Initially, the search resulted in a universe of 548 publications. Applying the inclusion and exclusion criteria defined by the PRISMA method, six articles related to the theme were selected for research development. Based on experiences with the use of reclaimed water to revitalize rivers located in Israel and the United States, the effectiveness of directing treated effluent to regulate flows in intermittent rivers and the need to adapt sewage treatment plants for the implementation of advanced treatment, which results in a high initial investment. To get around this situation, studies highlight the importance of appropriating ecosystem services and direct and indirect benefits in cost-benefit analyses, in addition to the strong role of public authorities in prioritizing reuse actions to revitalize rivers.

KEYWORDS: Streamflow regularization. Sewage treatment. Water resources management.

RESUMEN

Considerando los desafíos de la gestión de los recursos hídricos y el saneamiento en zonas de clima semiárido, donde ya se enfrenta de manera natural la escasez de agua, agravada por la presencia de ríos intermitentes impactados por la liberación de cargas contaminantes continuas, el objetivo principal de este trabajo es evaluar el papel de la reutilización de efluentes sanitarios en la revitalización de ríos intermitentes y sus ecosistemas. La metodología consistió en realizar una revisión sistemática de la literatura utilizando el método PRISMA y la base de datos Scopus. Las búsquedas se realizaron con las palabras clave: reuse, "wastewater reuse", "reclaimed water", arid, river, effluent y "water management". Inicialmente, la búsqueda arrojó un universo de 548 publicaciones. Aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos por el método PRISMA, fueron seleccionados seis artículos relacionados con el tema para el desarrollo de la investigación. Con base en experiencias con el uso de agua reutilizada para revitalizar ríos ubicados en Israel y Estados Unidos, la efectividad del direccionamiento de efluentes tratados para regular caudales en ríos intermitentes y la necesidad de adecuar plantas de tratamiento de aguas servidas para la implementación de tratamientos avanzados, lo que resulta en una alta inversión inicial. Para sortear esta situación, los estudios destacan la importancia de apropiarse de los servicios ecossistémicos y los beneficios directos e indirectos en los análisis de costo-beneficio, además del fuerte papel de las autoridades públicas en la priorización de acciones de reutilización para revitalizar los ríos.

PALABRAS CLAVE: Regularización de caudales. Tratamiento de aguas residuales. Gestión de los recursos hídricos.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento dos níveis de urbanização e industrialização têm provocado o aumento da demanda por água potável e, em contrapartida, causado impactos negativos aos ecossistemas aquáticos devido ao lançamento de cargas poluidoras contínuas. As consequências observadas são especialmente graves em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água já é naturalmente enfrentada, aumentando os desafios para a gestão de recursos hídricos e a garantia da segurança hídrica (ANA, 2020; BISCHEL *et al.*, 2013).

Nas cidades, os esgotos de origem doméstica devem ser coletados e encaminhados para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) através da rede coletora pública ou tratados por sistema individual (fossa séptica). Nas Estações de Tratamento há a remoção dos principais poluentes presentes no esgoto melhorando a qualidade da água antes do seu lançamento final nos corpos hídricos. Ao atingir o corpo receptor, o efluente do tratamento tem suas características alteradas mais uma vez em função da diluição e mecanismos de autodepuração (FUNASA, 2019; SPERLING, 2011).

De acordo com a ANA (2017), 55% da população brasileira possuem tratamento de esgoto considerado adequado, seja por solução coletiva ou individual, 18% têm seu esgoto coletado e não tratado e 27% não possuem coleta nem tratamento. Uma vez que o esgoto não recebe tratamento adequado, seu lançamento nos corpos hídricos compromete a qualidade da água gerando impactos para o meio ambiente e comprometendo a disponibilidade hídrica para atendimento de usos como abastecimento humano, irrigação, lazer, entre outros (ANA, 2017).

Por sua vez, a parcela do esgoto que recebe tratamento precisa cumprir com determinadas condições e padrões de lançamento definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, posteriormente complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011. As características que o efluente deve ter para ser lançado com segurança nos rios são definidas pelo enquadramento dos mesmos. O enquadramento, por sua vez, é um instrumento de gestão de recursos hídricos no qual o corpo hídrico é dividido em classes, de acordo com os usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos (CONAMA, 2005, 2011).

Quando a qualidade da água está em desacordo com esses usos, devem ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos. Os efluentes, por sua vez, não podem conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com essas metas, cabendo ao órgão ambiental competente estabelecer a carga poluidora máxima de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber (CONAMA, 2005, 2011).

Essa carga poluidora é definida em função da vazão de diluição que o corpo hídrico dispõe, sendo esta definida como a "vazão do corpo de água necessária para diluição da carga de determinado parâmetro adotado contido no efluente, de modo que o corpo de água, após a mistura com o efluente, atenda ao enquadramento estabelecido ou à meta intermediária" (CNRH, 2012, Art. 3º).

No caso de bacias hidrográficas que apresentam variação sazonal das vazões ou tem caráter intermitente em parte ou na totalidade de seus rios, as vazões para diluição são muito baixas ou até nulas. Nesses casos, têm-se as condições mais críticas para o lançamento de efluentes e seus efeitos sobre a qualidade de água, uma vez que a indisponibilidade periódica de água não permite a diluição ou o transporte do efluente, sendo este, muitas vezes, a única vazão do corpo receptor (PINHEIRO *et al.*, 2013).

Essa condição exige que o esgoto passe por tratamento avançado, caracterizado por remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) acima de 80%, elevada remoção de microrganismos patogênicos e remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Esses nutrientes causam a eutrofização dos mananciais e favorecem o florescimento de algas tóxicas chamadas cianobactérias, que por sua vez podem causar sérios danos à saúde humana e são de difícil tratamento. No entanto, cabe ressaltar que o tratamento avançado geralmente tem um custo elevado, requerendo um alto investimento inicial em comparação com alternativas de tratamento a nível secundário (ANA, 2017; BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014; CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2017).

A necessidade de reduzir a descarga de efluentes nas águas superficiais e os rigorosos e dispendiosos requisitos para remoção de nutrientes antes do descarte final tem incentivado muitos programas de reutilização direta de efluentes tratados ao redor do mundo (ANA, 2017). Várias localidades como, por exemplo, Beijing (China), Chennai (Índia), Durban (África do Sul), Kampala (Uganda), Lima (Perú), Califórnia (Estados Unidos da América), Austrália e Israel, já vem explorando o reúso de efluente tratado para fins agrícolas, industriais, urbanos, recarga de aquífero e manutenção de vazão em cursos d'água (IWA, 2018; WHO, 2018).

A água de reúso, definida como o produto de um esgoto tratado e polido para reutilização, pode ser lançada em corpo hídrico, retornando à natureza para ser captada a jusante (reúso indireto), ou ser derivada para usos específicos e planejados, sem lançamento ou diluição prévia, como irrigação, atividades de manutenção e limpeza urbana, processos industriais, entre outros (reúso direto) (CNRH, 2005; MOURA *et al.*, 2020).

Ainda, quanto à finalidade de uso, o reúso é classificado em potável ou não potável. O grau de tratamento para uso múltiplo de efluente é definido, regra geral, pelo uso mais restritivo quanto à qualidade de esgoto tratado, ou seja, para usos que exigem água potável, o esgoto deve ser tratado até atingir os padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde. Os usos não potáveis exigem níveis de tratamento menos elevados, o que implica em menor custo e facilidade de execução (WHO, 2017).

No entanto, o reúso direto não potável de efluente sanitário ainda é incipiente no Brasil, onde a capacidade instalada de reúso planejado foi estimada em 2 m³/s, em 2017, equivalente ao abastecimento de aproximadamente 800.000 habitantes. Além disso, ainda não há legislação nacional que regule a produção e comercialização de água de reúso proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto, embora alguns Estados como São Paulo, Minas Gerais e Ceará estejam avançando com a regulação a nível estadual (INTERÁGUAS, 2018).

As companhias de saneamento e as prefeituras, através dos Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAEs), vêm mostrando o desejo de implantar o reúso direto para diversos fins aplicáveis às distintas realidades locais. No entanto, entraves burocráticos e a falta de regulamentação tem impedido o avanço da produção e comercialização da água de reúso no país (IDS, 2019; ÁGUAS DO BRASIL, 2020).

Quando o reúso direto é apontado como alternativa para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, parte-se do princípio de afastar a água tratada do leito do rio, mudando seu destino, quando não há capacidade de autodepuração ou de atendimento às legislações vigentes, evitando a necessidade de processos dispendiosos de tratamento avançado para remoção de nutrientes (USEPA, 2012). No entanto, o efluente tratado também pode ser percebido como ferramenta para revitalização e reestabelecimento de vazão em rios, especialmente os intermitentes.

Tendo em vista a escassez hídrica enfrentada pela região semiárida, agravada pela presença de rios intermitentes ou efêmeros que apresentam as piores condições de diluição para lançamento de efluentes (ANA, 2017); e que o reúso direto de efluentes ainda é incipiente no Brasil, não havendo arcabouço legal e regulatório ou programa de financiamento para reúso a nível nacional (INTERÁGUAS, 2018); faz-se necessário discutir sobre alternativas para o lançamento de efluentes em rios intermitentes, como o papel que esse efluente tratado pode assumir na revitalização dos rios e seus ecossistemas.

2 OBJETIVOS

Este trabalho, utilizando-se da metodologia de revisão sistemática da literatura, tem como objetivo avaliar o papel do reúso de efluentes sanitários na revitalização de rios e seus ecossistemas, localizados em áreas de clima semiárido, considerando os desafios da gestão de recursos hídricos e saneamento dessa região.

3 METODOLOGIA

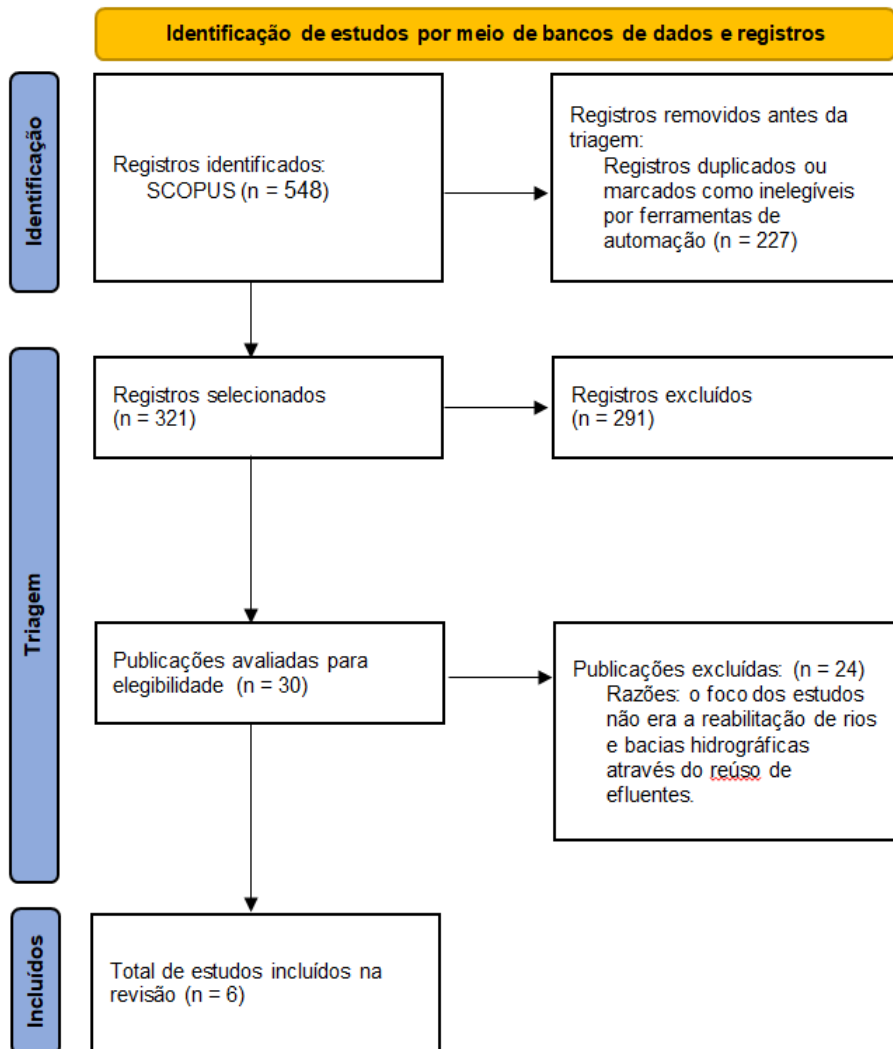
Visando identificar estudos de caso sobre o papel do reúso de efluentes na revitalização de rios e seus ecossistemas, localizados em áreas de clima semiárido ou árido, foi realizada uma revisão sistemática da literatura utilizando a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* ou Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises, em português).

Uma revisão sistemática consiste em uma revisão abrangente conduzida pela síntese de dados com foco em um tópico ou em questões-chave relacionadas. Como as revisões sistemáticas fazem parte do método científico, uma série de etapas claramente definidas devem ser seguidas para sua correta implementação (ARROYO; AUSTRIA, 2021; MIGUEL; FLORES; VILCHIS, 2018). A metodologia PRISMA, cujas diretrizes foram atualizadas em 2020, apresenta um fluxo de critérios de inclusão e exclusão de artigos de uma revisão sistemática (flow diagram) e traz uma lista de checagem com 27 itens para organização e processamento do material da revisão (checklist) (PAGE *et al.*, 2021).

A revisão sistemática foi realizada na base de dados Scopus, por ser um banco de dados extenso e renomado que hospeda artigos confiáveis e atualizados (ARROYO; AUSTRIA, 2021). Foram realizadas buscas com as palavras chaves: reuse AND "wastewater reuse" OR "reclaimed water" AND arid AND river AND effluent AND "water management". A pesquisa foi restrita a publicações no período de 2011 a 2022, em português ou inglês, somente artigos revisados por pares ou provenientes de congressos e conferências, e que já estivessem em estágio final de publicação.

Inicialmente, foram reportadas 548 fontes. Com a aplicação dos critérios de exclusão iniciais, tais como: língua (inglês e português), estágio de publicação (final), tipo de documento (artigos revisados por pares e artigos publicados em anais de congresso, excluindo artigos de revisão), chegou-se a 321 fontes. Estas foram separadas para avaliação por título e resumo, o que resultou num conjunto de 30 publicações selecionadas para leitura completa. Como resultado, seis artigos mostraram-se coerentes com o objetivo da pesquisa e serão apresentados nos resultados, conforme detalhado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de fluxo da revisão sistemática.



Fonte: elaborada pela autora.

Cabe mencionar que o mesmo conjunto de palavras-chave foi usado na plataforma SciELO, porém a busca não trouxe resultados. Utilizando apenas as palavras (reuse) AND (wastewater reuse) OR (reclaimed water) AND (river), a busca retornou 13 artigos que foram eliminados pelo título, não havendo correlação direta com o tema em estudo.

4 RESULTADOS

Conforme metodologia apresentada, o Quadro 1 traz os seis documentos selecionados para análise e discussão após finalização da etapa de triagem.

Quadro 1 - Informações dos artigos de periódicos especializados selecionados na revisão sistemática.

Autores / ano	Título
Bischel <i>et al.</i> (2013)	<i>Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management.</i>
Luthy <i>et al.</i> (2015)	<i>Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate.</i>
Garcia; Pargament (2015a)	<i>Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making.</i>
Garcia; Pargament (2015b)	<i>Rehabilitating rivers and enhancing ecosystem services in a water-scarcity context: the Yarqon River.</i>
Garcia <i>et al.</i> (2016)	<i>Is river rehabilitation economically viable in water-scarce basins?</i>
Wolfand <i>et al.</i> (2022)	<i>Balancing water reuse and ecological support goals in an effluent dominated river</i>

Fonte: elaborado pela autora.

Garcia; Pargament (2015a, 2015b) reportam que as principais estratégias para promover a reabilitação de rios em Israel, principalmente aqueles localizados em bacias intensamente urbanizadas com alto comprometimento da qualidade da água, têm sido a redução da poluição das águas residuais, promovendo a reutilização de parte desta água para fins agrícolas ou industriais, e outra parte para reestabelecer a vazão de rios, neste caso utilizando efluentes derivados de tratamento avançado.

Para atender esses usos, o governo israelense aprimorou suas regulações para reúso de efluentes. Foram propostos 36 novos parâmetros químicos e biológicos para efluentes usados em irrigação irrestrita e lançamento em rios, que levaram em consideração a proteção das culturas, a qualidade do solo, a saúde pública e a proteção da qualidade da água. Os padrões propostos tornaram-se lei com a aprovação do Regulamento de Saúde Pública (padrões para qualidade de efluentes e regras para purificação de águas residuais) em 2010 (GARCIA; PARGAMENT, 2015b; INBAR, 2007).

Ao garantir maiores níveis de tratamento e segurança quanto ao efluente final a partir da implementação de melhoria das estações de tratamento, o foco dos gestores de água nessas áreas passa a ser o papel que o reúso de efluentes pode desempenhar na restauração dos corpos hídricos, ao invés de preocupação com a poluição e suas consequências (LUTHY *et al.*, 2015).

Em Israel, o rio Yarqon é um exemplo de como a priorização do tratamento e reúso de efluentes sanitários é essencial para a revitalização do corpo hídrico. Passando por áreas densamente urbanizadas de Tel Aviv, Yarqon era explorado para atender demandas industriais, domésticas e de irrigação, que comprometiam sua vazão. Garcia; Pargament (2015b) pontuam que na estação seca, com a capacidade de diluição diminuída, a qualidade da água do rio era muito ruim. No entanto, sem a entrada de efluentes, o Yarqon teria se tornado um rio intermitente. Quanto aos aspectos ambientais, os urbanistas dos municípios circunvizinhos tratavam a área como inferior em termos de uso do solo, designando-a para a indústria e infraestrutura de transporte.

Uma das medidas adotadas para mudar essa situação foi investir na melhoria das Estações de Tratamento de Esgoto localizadas na área da bacia hidrográfica, elevando a qualidade do efluente a um nível terciário e garantindo que o mesmo atendesse os padrões de qualidade do Regulamento de Saúde Pública, tanto para atendimento da demanda de irrigação quanto para lançamento no rio. Essa ação provocou também a reabilitação ecológica da flora e fauna ribeirinha e aquática. Como consequência, as margens do rio se transformaram num “pulmão verde”, onde os usos para atividades recreativas e econômicas como passeios de barco, pesca e ciclismo ao longo do Yarqon passaram a ser estimulados (GARCIA; PARGAMENT, 2015b).

Garcia; Pargament (2015a) pontuam que a água de reúso utilizada diretamente para abastecimento e para fins de irrigação, por exemplo, pode ser considerada um bem privado com valor de mercado. No entanto, quando a água de reúso é destinada para fins ambientais, o efluente recuperado é um bem público ausente de valor de mercado, cujo valor ambiental, em termos de provisão de serviços ecossistêmicos, torna-se difícil de quantificar.

Segundo Flausino; Gallardo (2021), os bens e serviços que a natureza proporciona são a base para o desenvolvimento socioeconômico, são úteis para os seres humanos e para a manutenção da vida no planeta, direta ou indiretamente. Os serviços ecossistêmicos (SE), por sua vez, podem ser definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Estes incluem:

[...] serviços de provisão como comida e água; serviços de regulação, como regulação de enchentes, secas, degradação da terra e doenças; serviços de suporte, como formação do solo e ciclagem de nutrientes; e serviços culturais, como benefícios recreativos, espirituais, religiosos e outros benefícios não materiais (MEA, 2005, p. 27, tradução nossa).

Os SE associados à água incluem o fornecimento de água para atendimento aos diversos usos; mitigação de danos causados pela água, como danos causados por inundações, sedimentação de corpos d'água e melhoria da qualidade de água; serviços culturais como apreciação estética, usos espirituais e outros usos não materiais; serviços de suporte, como a criação de habitats aquáticos ou ribeirinhos. Para fornecer esses diferentes serviços hidrológicos aos diferentes usuários, os ecossistemas aquáticos precisam de água em quantidade, qualidade, localização e vazão adequados (GARCIA; PARGAMENT, 2015b).

Considerando a dificuldade em quantificar os serviços ecossistêmicos relacionados ao emprego da água de reúso na revitalização de rios, Garcia *et al.* (2016) conduziram uma análise de custo-benefício integrando custos e benefícios diretos e indiretos para avaliar a viabilidade econômica do projeto de reabilitação do rio Yarqon.

Neste caso, foram incluídos tanto os custos de capital da implementação de medidas de reabilitação (incluindo custos de manutenção) como os custos de oportunidade da alocação de água (a exemplo do abastecimento de água para a agricultura). Ademais, os autores quantificaram os benefícios dos serviços ecossistêmicos culturais, em escala local e em escala regional, além dos serviços de proteção do habitat. Os autores concluíram que a reabilitação do rio Yarqon forneceu valores presentes líquidos positivos de aproximadamente US\$ 139 milhões em um período de 30 anos em decorrência da prestação de serviços ecossistêmicos (GARCIA *et al.*, 2016).

Bischel *et al.* (2013) trazem o estudo de caso de revitalização do riacho urbano Calera Creek (Cidade de Pacífica, Califórnia, Estados Unidos). A revitalização do riacho através da

liberação de água de reúso para benefícios ecossistêmicos começou em 2002. Na época, duas opções para o lançamento de efluentes no riacho foram analisadas: tratamento secundário e emissário oceânico ou tratamento terciário com emissário interior juntamente com um sistema para revitalização do Calera Creek.

Inicialmente, a seleção do nível terciário de tratamento representou um aumento nos custos das instalações de tratamento em relação ao descarte oceânico. No entanto, os custos de manutenção evitados com um emissário oceânico foram reconhecidos como economias importantes. A escolha pelo tratamento terciário, com remoção de nutrientes e desinfecção com ultravioleta, e a revitalização do riacho evitaram gastos elevados com manutenção e desempenho incerto em relação ao emissário. Ademais, Bischel *et al.* (2013) pontuam que os serviços ecossistêmicos obtidos com as melhorias no córrego não foram explicitamente considerados em termos econômicos para o projeto, o que poderia representar um custo-benefício ainda maior.

Os autores ressaltam que Calera Creek foi convertido de um córrego intermitente para perene, sendo dominado por efluentes nos meses de verão. A fauna e a flora se beneficiaram com o uso de água reciclada, sendo observado o crescimento denso de árvores e da mata ciliar nativos ao longo das margens, que por sua vez também atuam na proteção da fauna. Ademais, uma trilha pavimentada para caminhada/bicicleta, usada ativamente, corre ao longo do riacho e fornece um valor recreativo adicional significativo para a comunidade local (BISCHEL *et al.*, 2013).

Wolfand *et al.* (2022) trazem uma reflexão sobre o papel do lançamento de efluentes na manutenção das funções ecológicas dos cursos d'água, configurando o reúso indireto planejado, especialmente nos rios cuja vazão consiste principalmente em águas residuais tratadas despejadas. Os autores apresentam estudo de caso realizado no Rio Los Angeles (Los Angeles County, Califórnia, EUA), que assim como muitos rios urbanos, é dominado por efluentes, principalmente durante o período de estiagem.

Alguns trechos do Rio Los Angeles são importantes no suporte a migração de peixes e como habitat para peixes de águas quentes e aves limícolas. Outros trechos são utilizados para uma variedade de usos recreativos, como passeios a pé, caiaque, passeios a cavalo e pesca dentro do canal, bem como atividades como ciclismo, observação de pássaros, observação da vida selvagem, caminhada, corrida e eventos comunitários e educacionais adjacentes ao canal.

No referido estudo, foram simulados cenários de redução da descarga de efluentes tratados no rio para aumentar o reúso direto em três estações de tratamento de esgoto dentro da bacia hidrográfica. Os resultados mostraram que uma redução de 4% na descarga atual de águas residuais pode impactar negativamente o habitat para determinadas espécies durante a estação seca. A utilização do efluente para outros usos seria mais recomendado durante a estação chuvosa, quando a descarga atual de águas residuais poderia ser reduzida em 24% com impactos mínimos para a ecologia e recreação (WOLFAND *et al.*, 2022).

Apesar de todos os impactos positivos apresentados nos casos estudados com a atualização da água de reúso para a revitalização de rios, os potenciais impactos negativos também devem ser explorados. Luthy *et al.* (2015) pontuam que, dependendo se os lançamentos de efluentes são contínuos ou pulsados, a qualidade do habitat pode ser melhorada ou afetada negativamente com consequências variadas para flora e fauna. Por exemplo, a temperatura da água pode aumentar substancialmente, o que pode afetar as proporções de sexo em algumas espécies de animais, taxas de parasitismo, taxas de crescimento

e uma variedade de outros fatores em nível populacional. A perenização dos rios pode alterar a composição da fauna e da flora e pode facilitar o estabelecimento de espécies invasoras, o que altera ainda mais o sistema ecológico (LUTHY *et al.*, 2015).

Para combater possíveis efeitos negativos, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos aprofundados na fase de projeto, a implantação de rigorosos sistemas de monitoramento e a avaliação em comparação aos diversos fatores positivos alcançados com a revitalização dos rios.

4 CONCLUSÕES

Inicialmente, mediante o reduzido número de artigos encontrado, foi observado que o uso da água reciclada para a renovação do ecossistema através do aumento da vazão em corpos hídricos ainda é um tópico de pesquisa pouco explorado, que poderia ter amplas aplicações na prática de engenharia e meio ambiente, trazendo novas perspectivas para o manejo de efluentes sanitários e a água de reúso.

O uso de efluente sanitário na regularização de vazão dos rios intermitentes se apresenta como uma boa estratégia, pois a produção de efluentes independe da variação sazonal do clima, facilitando o gerenciamento do volume e da vazão durante o ano. Além disso, pode-se implementar a estratégia de permitir que o efluente flua ao longo do leito do rio e seja recuperado em determinado ponto a jusante para outros fins hídricos, caracterizando ações de reúso indireto. Essa alternativa alivia a pressão de outros setores hídricos e aumenta a viabilidade dos projetos de reabilitação de cursos d'água.

No entanto, destaca-se a necessidade de adoção do tratamento a nível avançado, que por sua vez tem um custo elevado, especialmente para países em desenvolvimento. Nesse ponto, os estudos apontam a importância da apropriação dos serviços ecossistêmicos e dos benefícios indiretos obtidos com a revitalização dos rios para demonstrar a melhoria da relação custo benefício ao adotar essa alternativa. Ademais, torna-se essencial que o poder público coloque o tratamento de águas residuais como prioridade.

Desta forma, conclui-se que o reúso de efluentes como ação estratégica na revitalização de rios, especialmente em regiões semiáridas, está diretamente relacionado com a necessidade de investimentos nos sistemas de tratamento de esgoto e com a realização de estudos aprofundados que demonstrem a amortização dos custos iniciais através da obtenção de benefícios diretos e indiretos para o ecossistema e a população.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017. 88p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília: ANA, 2020. 57p.

ÁGUAS DO BRASIL. **Reuso**: instrumento de um novo modelo de gestão das águas. 2020. Disponível em: <https://aguasdobrasil.org/artigo/reuso/>. Acesso em: 01 set. 2022.

ARROYO, M. E. C.; AUSTRIA, P. F. M. Dynamic water system modeling: a systematic review. **Water Practice & Technology**, v. 16, n. 3, p. 744-755, 2021.

BARBOSA, M. S.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, 2014.

BISCHEL, H. N. *et al.* Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management. **Environmental Engineering Science**, v. 30, n. 8, p. 455-479, 2013.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The issue of water in the Brazilian semi-arid region. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, C. B. **Waters of Brazil**. Suíça: Springer International Publishing, 2017. 191p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 141**, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros. Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=127789>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direito não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 85, p. 91, 9 mar. 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 08 ago. 2022.

FLAUSINO, F. R.; GALLARDO, A. L. C. F. Oferta de serviços ecossistêmicos culturais na despoluição de rios urbanos em São Paulo. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.13, e20200155, 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de saneamento**. 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.

GARCIA, X. *et al.* Is river rehabilitation economically viable in water-scarce basins? **Environmental Science & Policy**, v. 61, p.154-164, 2016.

GARCIA, X.; PARGAMENT, D. Rehabilitating rivers and enhancing ecosystem services in a water-scarcity context: the Yarqon River. **International Journal of Water Resources Development**, v. 31, n.1, p. 73-87, 2015b.

GARCIA, X.; PARGAMENT, D. Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 154–166, 2015a.

INBAR, Y. New Standards for Treated Wastewater Reuse in Israel. In: Zaidi, M.K. (eds) **Wastewater Reuse –Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security**. NATO Science for Peace and Security Series. Dordrecht: Springer, 2007.

INSTITUTO DEMOCRACIA E SUSTENTABILIDADE - IDS. **Recomendações para o aprimoramento da tarifa da Sabesp**. São Paulo/SP: IDS, 2019. 67p.

INTERÁGUAS. **Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil**. Produto VI – plano de ações / política de reúso (RF). Brasília: Ministério das Cidades e IICA, 2018. 132p.

LUTHY, R. G. *et al.* Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 9, p. 477-485, 2015.

MIGUEL, J. A. S. R. de S.; FLORES, M. M. T.; VILCHIS, F. L. Improving urban water supply in Mexico: a systematic review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 29, n. 5, p. 859-876, 2018.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MEA. **Ecosystems and human well-being: Current State and Trends**. Washington: Island Press, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>. Acesso em: 03 ago. 2022.

MOURA, P. G. *et al.* Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021.

PINHEIRO, R. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, S. R.; MEDEIROS, Y. D. P.; AURELINO, J. T. Outorga para Lançamento de Efluentes — Uma Metodologia de Apoio à Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.4, p. 55-65, 2013.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** - vol. 1: princípios do tratamento de biológico de águas residuárias. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION – IWA. **Wastewater report 2018: the reuse opportunity**. Londres: IWA, 2018. 24 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Guidelines for Water Reuse**. Washington: USEPA, 2012.

WOLFAND, J. M. *et al.* Balancing water reuse and ecological support goals in an effluent dominated river. **Journal of Hydrology X**, v. 15, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-Water**. Geneva: WHO, 2017. 151 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Progress on safe treatment and use of wastewater: piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.1**. Geneva: World Health Organization and UNHABITAT, 2018.