

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA

Arthur A. B. Silva; L. C. Mendonça; T. A. Barbosa

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

RESUMO

Com a crescente problemática da escassez de água, vê-se necessário buscar métodos alternativos que desaceleram esse impacto. O aproveitamento de águas pluviais se mostra uma eficiente maneira de amortizar os danos causados por esse desafio. Assim, este trabalho tem como objetivo pesquisar e analisar a produção científica acerca do aproveitamento de águas pluviais por meio da revisão sistemática realizada no Portal de Periódicos da CAPES. Foram identificados 115 resultados e, em seguida, foram selecionados 30. Posteriormente, os estudos foram separados de acordo com seus grupos de estratégia de pesquisa e analisados. Por meio disso, ficaram claras as vantagens da adoção desses sistemas de aproveitamento, bem como seus tratamentos propostos e as previsões acerca de sua execução e rentabilidade. Conclui-se, então, que o aproveitamento de águas pluviais é uma excelente maneira de diminuir a escassez, porém ainda enfrenta alguns desafios em sua execução, principalmente em aceitação pública.

Palavras-chave: Água de chuva, Tratamento, Estudo de caso, Viabilidade

ABSTRACT

With the rising issue of the scarcity of water, a need for alternative methods grows. The reuse of rainwater shows to be an efficient way to amortize the damage caused by this challenge. Thus, this article aims to study and analyze the scientific production on the reuse of rainwater. To this end, a systematic review was carried out on the "CAPES Journal Portal". 115 results were identified, and then, 30 were selected. Subsequently, the studies were separated into groups based on research strategy. Through this, the advantages of adopting these reuse systems are clear, as well as their proposed treatments and as a measure of their execution and profitability. It is concluded, then, that the reuse of rainwater is a way to reduce scarcity, but it still faces some challenges in its execution, especially in its public acceptance.

Keywords: Rainwater, Treatment, Case study, Viability

1. INTRODUÇÃO

Desde tempos antigos, o homem tem a água como uma de suas necessidades mais vitais para atividades diárias. O problema da escassez de água é um dos maiores desafios enfrentados hoje e que tende a crescer nos próximos anos. As mudanças climáticas, o crescimento populacional e o uso insustentável da água na agricultura, indústria e outras atividades humanas reduzem a disponibilidade de água para o meio ambiente e para o consumo humano (Khatri et al., 2018).

De acordo com a Organização das Nações Unidas, a escassez de água afeta mais de 40% da população mundial (ONU, 2016) e até 2050, pelo menos um quarto da população do globo deverá viver em países que sofrem de escassez crônica de água doce (ONU, 2018). Sendo assim, fica claro que se faz necessária soluções que amortizem essa demanda hídrica crescente no mundo.

Principalmente nessas regiões de escassez, o aproveitamento de águas pluviais se prova como importante ferramenta de gestão ambiental (Silva et al., 2020). Segundo Ennenbach et al. (2017), a captação de água da chuva vem ganhando popularidade em diversos países como fonte doméstica suplementar ou primária, especialmente para usos não potáveis.

Diante disso, por meio de uma revisão sistemática, este artigo visa investigar os estudos científicos acerca do aproveitamento de águas pluviais e expor casos práticos, suas metodologias, métodos de implementação, análises teóricas e possíveis soluções acerca da problemática.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi motivado, então, principalmente pela crescente importância do tema ao redor do mundo. A busca sistematizada por artigos científicos sobre o tema de aproveitamento de águas pluviais foi realizada no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). Esse acesso foi possível por meio de um convênio estabelecido entre a plataforma e a Universidade Federal de Sergipe (UFS). Assim, o portal cede aos estudantes uma miríade de artigos científicos em diversas bases de dados que podem ser utilizados em suas produções acadêmicas.

Inicialmente, foram utilizadas as palavras-chave *rainwater*, *stormwater* e *reuse*, conectadas com o auxílio do operador booleano *AND* e *OR* na busca do título dos artigos da seguinte maneira:

- *(rainwater OR stormwater) AND reuse*.

A escolha dessas palavras-chave em inglês foi definida por causa da grande quantidade de resultados obtidos nas bases de dados em relação ao português. Além disso, não foram feitas restrições de data ou local de produção dos artigos. Inicialmente, as bases de dados escolhidas foram a Scopus e a *Web of Science*, porém o estudo se manteve apenas na Scopus por ser a maior base de dados científicos.

Em seguida, foi feita a leitura dos resumos dos textos encontrados, sendo apenas consideradas as que estavam em inglês ou português. Após isso, os artigos foram agrupados, baseando-se em quais assuntos eram estudados nos textos. Os temas principais encontrados foram: Estudos de caso; Técnicas de tratamento; Estudos de viabilidade técnica, econômica e prospecções;

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Panorama geral

Após feita a pesquisa na base de dados escolhida, foram encontrados ao todo 115 resultados. A distribuição dos trabalhos encontrados, por ano de publicação, está descrita na Figura 1.

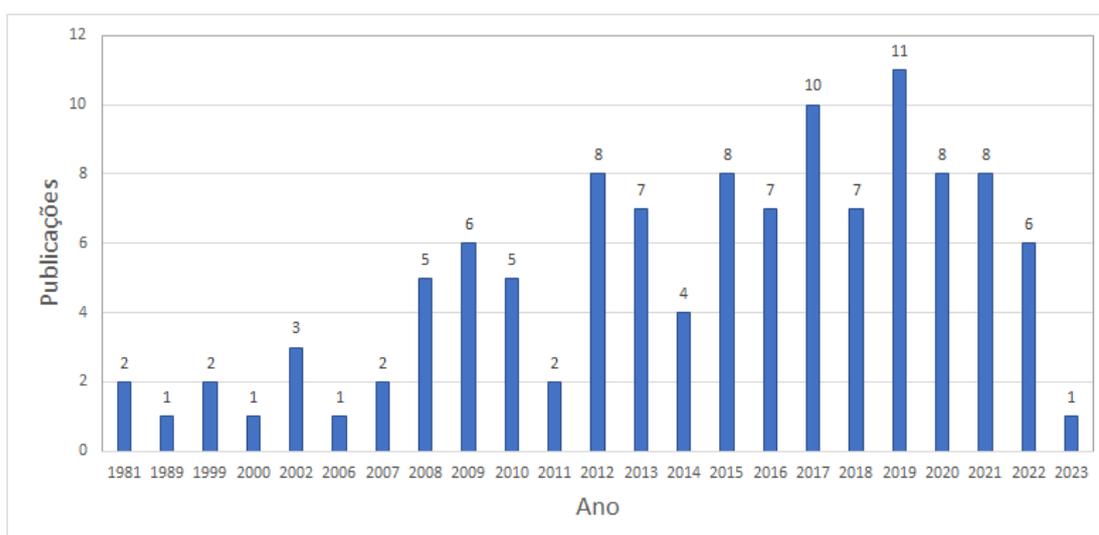


Figura 1: Publicações por ano. Fonte: Autor (2022)

Embora não tenha sido feita restrição quanto à data das publicações, é notável que a maioria foi realizada nos últimos 11 anos, compreendendo 85 dos 115 resultados obtidos, muito por conta do crescente interesse pelo tema ao redor do mundo.

Além disso, foi construído um Mapa Múndi que mostra a distribuição das publicações sobre o tema ao redor do mundo (Figura 2), no qual fica claro quais países produzem mais estudos acerca da utilização de águas pluviais. A Austrália lidera o quesito com 27 publicações, seguida da China e dos Estados Unidos, ambos com 24.

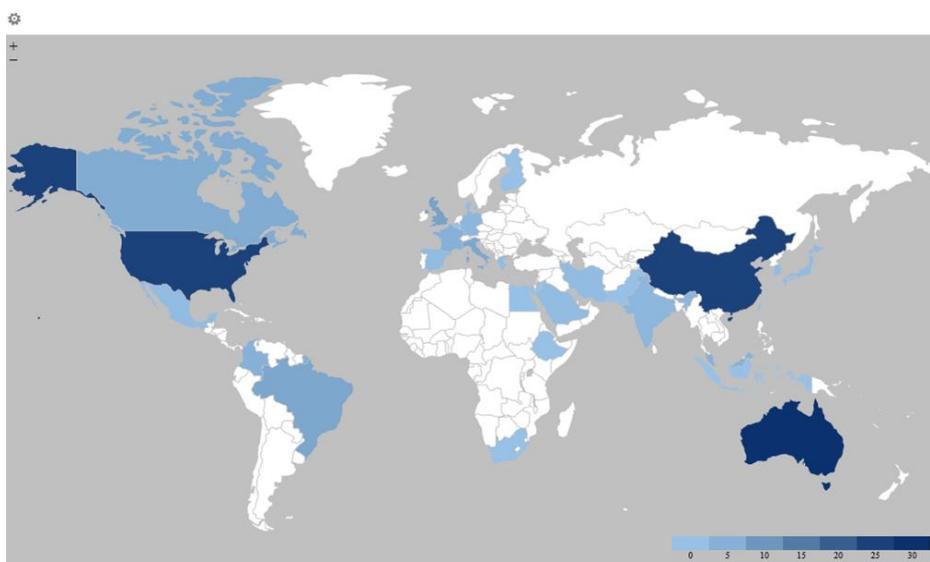


Figura 2: Mapa de calor de publicações ao redor do mundo sobre aproveitamento de águas pluviais. Fonte: Autor (2022)

Na primeira triagem, foi feita uma seleção dos artigos que demonstram resultados mais expressivos e demonstrativos acerca do aproveitamento de águas pluviais. Assim, reduziu-se o número inicial de artigos de 115 para 30, que serviriam como base para a produção do estudo.

Em seguida, foram montados quadros-resumos listando todos os artigos selecionados na pesquisa. Os resultados foram separados conforme a estratégia de pesquisa abordada como temática principal e, então, essa divisão foi usada no presente estudo como base para análises acerca do tema estudado.

3.2. Estudos de caso

Ao analisar os estudos de caso, é possível verificar com exemplos reais a execução de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Assim, podem-se observar as diversas consequências, vantagens e dificuldades que essas implementações trazem. Os artigos escolhidos para o estudo estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1: Resumo de artigos sobre estudos de caso selecionados.

Título	Autor (ano)	Local	Resultados
Environmental performance of a hybrid rainwater harvesting and greywater reuse system: A case study on a high water consumption household in <u>Colombia</u>	Gómez-Monsalve, M., et al. (2022)	Colômbia	A implementação poupa 131 m ³ /ano de água potável. Reduz em 20% as vazões para as estações de tratamento de efluentes.
Landscape design of rainwater reuse based on ecological natural environment: Hangzhou as an example	Wang, R. (2021)	China	Propôs a construção de um jardim para captação e tratamento de águas pluviais segundo uma gama de critérios como topografia, solo e índices de chuva.
Toxicity variability of urban road stormwater during storage processes in Shenzhen, China: Identification of primary toxicity contributors and implications for reuse <u>safety</u>	Liu, A. et al (2020)	China	A água da chuva tem uma melhor qualidade e menor toxicidade que as águas pluviais rodoviárias urbanas.
Constructed wetlands as sustainable technology for the treatment and reuse of the first-flush stormwater in agriculture- A case study in Sicily (<u>Italy</u>)	Virga, G. et al. (2020)	Itália	Remoção de poluentes orgânicos alta (DBO 75-83%, DQO 65–69%), boa eficiência de nitrogênio (60–66%) e moderada remoção de metais (especialmente de Cu e Zn).
On the Performance of a Novel Hybrid Constructed Wetland for Stormwater Treatment and Irrigation Reuse in Mediterranean Climate	Ventura, D. et al. (2020)	Itália	Os resultados experimentais são promissores e atestam como viáveis a aplicação de águas pluviais na irrigação de áreas verdes.
A case study on rainwater harvesting and reuse in Jordan	Awad, A., et al. (2019)	Jordânia	Construção de calçadas e ruas que escoam a água para coleta. O montante de água coletada por este sistema é de 25.057 L/dia

Quadro 1: Resumo de artigos sobre estudos de caso selecionados - Continuação.

Título	Autor (ano)	Local	Resultados
Modeling heavy metals build-up on urban road surfaces for effective stormwater reuse strategy implementation	Hong, N. et al (2017)	China	Por meio de modelagem, uma série de mapas de distribuição espacial da carga de metais pesados e de risco ecológico foram gerados. Isso serviu para indicar as áreas prioritárias no tratamento e uso de águas pluviais.
Stormwater reuse, a viable option: Fact or fiction?	Bonotto, D.M. et al. (2017)	Austrália	O artigo elabora as dificuldades enfrentadas em tornar sistemas de uso de águas pluviais mais comuns. Isso exige uma priorização cuidadosa das vulnerabilidades, identificação das áreas que requerem adaptação e certeza dos resultados dos sistemas propostos.
The energy saving strategy on the Sustainable Campus Renovation plan by recycling and reuse of rainwater in Taiwan	Liao, Y.T., Liu, K.S. (2017)	China	Uma análise envoltória de dados foi utilizada para quantificar e comparar a economia de energia pelo aproveitamento de águas pluviais. A melhor performance foi o sistema de torre de água subterrânea com fundação sobre radier.
Issues affecting community attitudes and intended behaviors in stormwater reuse: A case study of Salisbury, South Australia	Keremane, G. et al. (2012)	Austrália	Constatou-se que a percepção de risco à saúde dos entrevistados, em relação ao uso de águas pluviais tratadas, estava intimamente relacionada à proximidade do uso final ao contato humano. Em termos de indicadores de qualidade, a cor, o odor e os níveis de sal foram considerados importantes pelos entrevistados.
The impact of water reuse on the hydrology and ecology of a constructed stormwater wetland and its catchment	Jenkins, G.A., et al. (2012)	Austrália	O uso e captação de águas pluviais proporcionam economia de água potável em 36% da demanda média anual da população local. A captação de águas pluviais do pântano também pode ser usada para diminuir a frequência de inundações, o que deve levar a uma melhoria significativa na sobrevivência da vegetação local.

Fonte: Autor (2022)

Em seu estudo, Virga *et al.* (2020) fizeram um comparativo entre a utilização de águas pluviais antes e depois do tratamento com alagados. Foi observado que plantas irrigadas com água tratada tiveram um crescimento maior do que as que foram irrigadas com água não tratada. Sendo assim, fica evidente o benefício da utilização do tratamento. Além disso, caso a água seja tratada, existe também a vantagem na irrigação de colheitas. Esse fato é corroborado por Ventura *et al.* (2020), no seu estudo na Itália, em que os resultados acerca da irrigação de áreas verdes com águas pluviais são bastante positivos.

A fim de buscar uma maneira para realizar o aproveitamento, Wang (2021) propôs, na China, a criação de jardins que fariam a coleta de águas pluviais. Seja escoada pelo pavimento ou captada diretamente da chuva, a água passaria através das camadas do jardim, onde seria filtrada e conduzida para um reservatório.

O autor concluiu que tanto o processo de construção, quanto o de manutenção desses sistemas seria completamente possível e viável. Por fim, Wang (2021) afirma que o país tiraria grande proveito dessas construções para fazer a captação das águas, graças a sua vastidão territorial e topografia.

Quanto à captação nesses jardins, Awad *et al.* (2019) guiaram um estudo de caso na Jordânia sobre a eficácia do escoamento e o aproveitamento dessa água em outros setores. A motivação inicial deste estudo reside no fato do país ser uma região que carece muito de oferta de recursos hídricos.

Por meio dos dados da intensidade de chuvas da Jordânia, as dimensões da região e os coeficientes de eficácia do escoamento, pode-se constatar que cerca de 243.000 m³ de água poderiam ser armazenados com o sistema de jardins durante as épocas chuvosas. Isso representa, aproximadamente, 13% da demanda hídrica da região, o que mostra grande alívio no consumo de água pela população, além da possibilidade de ser utilizada para controle de incêndios e irrigação (Awad *et al.*, 2019).

Também visando a economia como ponto chave, Liao e Liu (2017), na China, embasaram seu estudo na construção de uma torre de água subterrânea com fundação sobre radier. Através desse conhecimento empírico, foi constatado que o método é de grande benefício para a diminuição do consumo de água e de energia.

No mesmo tópico, Gómez-Monsalve *et al.* (2022) também indicam dados positivos em seus estudos na Colômbia. Com a implementação de um sistema híbrido de tratamento e aproveitamento de água, tanto com águas pluviais quanto

residuárias, os autores apontam os benefícios para o gerenciamento dessas questões no ambiente urbano. Por meio dos tratamentos primário, secundário e terciário e posterior armazenamento da água, o sistema híbrido, que ficaria localizado em uma casa de máquinas na residência, é previsto fazer uma economia de 131 m³/ano de água potável, reduzindo em 42,5% do total consumo de água e reduzindo o fluxo de águas residuárias para a estação de tratamento em até 20%.

Sobre a qualidade das águas pluviais, Zhan *et al.* (2020) estudaram sobre as diferenças entre a qualidade das águas captadas diretamente da chuva e as que foram escoadas e captadas pelo pavimento. Os autores verificaram a toxicidade das águas captadas, utilizando ovários de hamsters chineses, também conhecido como teste CHO. As células simulam a saúde humana e, assim, foi possível aferir valores de pH, quantidade de microrganismos, cobre, zinco e outros poluentes. Assim, o estudo de caso indicou que a água captada diretamente da chuva tinha menos poluentes, cerca de metade do que na água captada do pavimento. Porém também foi concluído que se a água das rodovias fosse armazenada durante certo período de tempo, isso ajudaria a reduzir sua toxicidade e aumentar a segurança de seu uso.

Por fim, algumas dificuldades são enfrentadas quanto à implementação dos sistemas de aproveitamento de água da chuva. Bonotto *et al.* (2017) informam que esse tipo de método demanda certeza dos resultados, cuidadosa verificação de vulnerabilidades e identificação de áreas que precisam de adaptações.

Na mesma temática, Keremane *et al.* (2012) indicam algumas inseguranças sociais levantadas. Por meio de sua pesquisa, foi concluído que a percepção de risco dos entrevistados era maior quanto mais próximo fosse o contato humano com o uso final da água. Além disso, alguns indicadores de qualidade como cor, odor e níveis de sal foram apontados como importantes pela população.

Estudos como o de Keremane *et al.* (2012) são vitais para entender as questões e incertezas que acometem a população. É importante, assim, que os órgãos responsáveis por fazer a implementação do sistema sejam o mais transparentes possíveis quanto a essas questões. De tal maneira, os serviços de aproveitamento serão assimilados mais facilmente pelas pessoas beneficiadas por eles.

3.3. Técnicas de tratamento de águas pluviais

Como apontado anteriormente, uma das grandes preocupações acerca do aproveitamento de águas pluviais é torná-las seguras ao contato humano. Sendo assim, diversas técnicas são estudadas e desenvolvidas a fim de garantir qualidade ao processo, sempre visando a eficiência e custos atrelados a isso. Os artigos escolhidos para o estudo estão descritos no Quadro 2.

Quadro 2: Resumo de artigos sobre técnicas de tratamento selecionados.

Título	Autor (ano)	Local	Resultados
Constructed Wetlands for Reclamation and Reuse of Wastewater and Urban Stormwater: A Review	Biswal, B.K., Balasubramanian, R. (2022)	Singapura	Os sistemas de alagados são econômicos e sustentáveis. Além disso, apresentam bom desempenho na remoção de diversos poluentes de águas pluviais.
Polyaluminium Chloride and Anionic Polyacrylamide Water Treatment Residuals as an Amendment in Soils for Phosphorus: Implications for Reuse in Stormwater Bioretention Systems	Li, C. et al. (2022)	China	Comparado com solos sem PAC-APAM, a capacidade máxima de adsorção de fósforo da água aumentou de 0,50% a 25,30% em solo argiloso siltoso, de 18,59% a 47,13% em solo limoso e de 38,30% a 64,35% em solo arenoso argiloso.
Evaluation of a low-cost ceramic filter for sustainable reuse of urban stormwater in arid environments	Ghazaw, Y.M. et al. (2020)	Arábia Saudita	Os resultados mostram uma alta eficiência de remoção de turbidez (97,4%), sólidos suspensos (97,0%), DBO (78,4%) e DQO (76,1%).
Real time control of biofilters delivers stormwater suitable for harvesting and reuse	Shen, P. et al. (2020)	Austrália	O controle em tempo real de biofiltros demonstra que esses sistemas podem fornecer águas pluviais seguras para coleta e reutilização, e para usos recreativos ativos.
Application of eletrocoagulation / flotation process for rainwater reuse	Carvalho, E.H.D.S. et al. (2019)	Brasil	Os resultados foram comparados ABNT NBR 15527, a Portaria 2914 e a norma da ASME para água de caldeiras, e com exceção do parâmetro de dureza, todos os outros atenderam às normas. Os dados mostraram o custo-benefício da eletrocoagulação/flotação, que demonstrou um gasto de R\$ 0,30/m ³ de água tratada.
The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification	Liang, H. et al. (2019)	China	Verificou-se que a filtração GDM poderia produzir um permeado quase livre de partículas.

Fonte: Autor (2022)

O tratamento por membranas é muito utilizado devido à boa eficiência e baixo custo. Liu et al. (2020), então, puseram esse método a teste em seu estudo. Os resultados encontrados foram extremamente promissores e, segundo os autores, aplicações futuras valerão a pena. O pH após o tratamento se manteve próximo aos 6 e a turbidez melhorou em 92%. Quanto à remoção de poluentes, houve diminuição de 78% e 98% de coliformes nas membranas de 5mm e 1mm, respectivamente. Por fim, também foi aferido que 37% do nitrogênio e cerca 65% do fósforo encontrados na água foram removidos.

Também utilizando a tecnologia de membranas, desta vez guiadas por ação da gravidade, Liang et al. (2019) afirmam que o tratamento pelo sistema *Gravity Driven Membrane* (GDM) resulta em um permeado quase livre de partículas. Os autores apontam que esse fato, aliado a um baixo custo de manutenção, pode ser um diferencial do tratamento. Assim, a técnica em questão pode ser uma ótima maneira de melhorar o gerenciamento da água da chuva e as demandas hídricas municipais.

A fim de verificar a eficácia e custo benefício do tratamento, Carvalho *et al.* (2019), em um estudo brasileiro, colocaram em prática a eletrocoagulação em conjunto com a flotação. Segundo os autores, o método vem ganhando destaque por causa de sua versatilidade e dos bons resultados obtidos. O processo ocorre em um reator que opera sob fluxo contínuo com tempo de detenção hidráulica de 100 segundos com densidade de corrente de 12,3 mA/cm². Os parâmetros levantados para análise foram pH, turbidez, cor, cloretos, sílica, dureza, alcalinidade, condutividade, sólidos suspensos e dissolvidos e DQO. No final do estudo, os resultados obtidos foram comparados com a NBR 15527, a Portaria 2914 e a norma da ASME. Todos os valores encontrados eram compatíveis com os esperados pelas normas, menos o parâmetro de dureza. Além disso, o custo do tratamento é um ponto fortíssimo, visto que são gastos apenas R\$ 0,30 por metro cúbico de água tratada.

Também com bons resultados, Ghazaw (2020), em seu estudo de tratamento com filtro de cerâmica, afirma que este é um método barato, de baixo custo energético e de fácil manutenção. No tratamento, houve uma remoção de 97,4% de turbidez, 97% de sólidos suspensos, 78,4% de DBO e 76,1% de DQO.

Já Biswal e Balasubraman (2022) propõem a construção de alagados (CW) para fazer a descontaminação de águas pluviais. Com o uso de substratos naturais, plantas e microrganismos, esse sistema é uma alternativa natural, sustentável e de alto custo-benefício para o tratamento. Além disso, os alagados têm bons índices de

eficiência como uma remoção de 58% de amônia, 77% de DQO, 84% de DBO, 93,8% de nitrogênio e 94% de fósforo.

Quanto aos biofiltros, Shen *et al.* (2020) afirmam que a execução de controle em tempo real fornece águas pluviais seguras para coleta e aproveitamento, assim como para usos recreativos.

3.4. Estudos de viabilidade técnica, econômica e prospecções

Não somente se deve observar o quão eficiente é um tratamento; é necessário também analisar se é possível aplicá-lo a um contexto real. Os estudos de viabilidade são uma série de rotinas e avaliações feitas para garantir resultados teóricos antes de uma efetiva execução da implementação. Os artigos escolhidos para o estudo estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3: Resumo de artigos de estudos de viabilidade selecionados.

Título	Autor (ano)	Local	Resultados
Urban stormwater disinfection, quality variability during storage and influence on the freshwater algae: Implications for reuse safety	Fan, S. et al (2023)	China	Observou-se que as espécies de bactérias presentes nas águas pluviais tiveram uma influência grande na eficácia da desinfecção.
Stormwater retention and reuse at the residential plot level-green roof experiment and water balance computations for long-term use in Cyprus	Bruggeman, A. et al (2019)	Itália	Uma combinação de telhado verde, sistema de captação de água da chuva e tanque de 20 m ³ para irrigação e uso interno de águas cinzas reduziria o consumo de água em 47-53%, segundo os cálculos do balanço hídrico de 30 anos.
County-Scale Rainwater Harvesting Feasibility in the United States: Climate, Collection Area, Density, and Reuse Considerations	Ennenbach, M.W. et al (2017)	Estados Unidos	O uso de águas pluviais pode ser viável nos Estados Unidos, principalmente em condados do pacífico noroeste, central e oriental.
Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households	Oviedo-Ocaña, E.R. et al (2017)	Colômbia	Redução do consumo de água potável em 44%, o equivalente a 131 m ³ /ano. Taxa de retorno de investimentos de 6,5% e retorno estimado de 23 anos.

Quadro 3: Resumo de artigos de estudos de viabilidade selecionados - Continuação.

Título	Autor (ano)	Local	Resultados
Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review	Leong, J.Y.C. et al (2017)	Malásia	Águas pluviais não tratadas variam muito sua qualidade e quantidade e precisam de uma bacia de equalização para normalizar o afluente.
Potential of rainwater harvesting and greywater reuse for water consumption reduction and wastewater minimization	López Zavala, M.Á. et al (2016)	México	O consumo de água pode ser reduzido em 48%. A amortização dos investimentos seria alcançada em apenas seis anos, com valor de US \$50.483,20.
Energy-water nexus: Potential energy savings and implications for sustainable integrated water management in urban areas from rainwater harvesting and gray-water reuse	Stillwell, A.S. et al (2015)	Estados Unidos	3,8 bilhões de kWh e US \$270 milhões podem ser economizados anualmente na irrigação e outros usos de água ao ar livre graças à coleta de água da chuva.
Local level stormwater harvesting and reuse: A practical solution to the water security challenges faced by urban trees	Nichols, P.W.B., Lucke, T. (2015)	Austrália	O sistema de design urbano de uso de águas pluviais (WSUD) pode fazer contribuições positivas para a restauração de ecossistemas naturais sem comprometer muito o limitado espaço urbano.
Development of a multi-category decision-making framework to identify stormwater reuse design factors in mixed-use communities	Al-Ali, D., Fillion, Y. (2015)	Canadá	A estrutura de tomada de decisão para a implementação de sistemas de uso pluviais inclui os seguintes fatores: quantidade de água utilizada; tratamento da água; precificação de aproveitamento da água; restrições do local na implementação do aproveitamento; considerações políticas na implementação da utilização das águas pluviais.
Site-level stormwater reuse: A feasibility analysis of commercial developments in Canada	Nanos, M.G et al (2013)	Canadá	Indicação que a água potável pode ser substituída por águas pluviais para fins não potáveis a uma taxa entre 63% e 99% para empreendimentos comerciais em todo o Canadá.

Fonte: Autor (2022)

Nesta via, Al-Ali e Fillion (2015) apontam uma sequência de critérios que devem ser considerados para decidir a execução de um sistema de aproveitamento de águas

pluviais. A estrutura de tomada de decisão é descrita pelos seguintes fatores: quantidade de água utilizada; tratamento de água pluvial; precificação de uso da água; restrições do local na implementação e considerações políticas na execução do serviço.

Oviedo-Ocanã *et al.* (2017) fizeram um estudo em 35 casas de um complexo residencial em Bucaramanga, na Colômbia. Os autores idealizaram um sistema de captação e armazenamento da água da chuva que seria usada na irrigação de jardins, descargas, máquinas de lavar e pátios. A partir disso, foi calculado que a redução de consumo de água seria de 44%, o equivalente a 131 m³/ano, com uma taxa de retorno de investimentos em 23 anos. Os resultados encontrados foram muito semelhantes a um estudo de Silva *et al.* (2020), com 60% de redução de custos mensais de água.

Semelhante a esses estudos, Nanos *et al.* (2013), em seis cidades do Canadá, apontam as vantagens desse aproveitamento em regiões comerciais. Foi concluído que o aproveitamento de água da chuva para fins não-potáveis, como toaletes e irrigação, pode substituir o uso de água potável desses estabelecimentos a uma taxa de 63% a 99%.

Ainda sobre a região citadina, Nichols e Lucke (2015) encabeçaram um estudo que analisava um sistema de design urbano de aproveitamento de águas pluviais (WSUD) e que também obteve boas conclusões. Os autores afirmam que o WSUD pode fazer contribuições positivas para a restauração de ecossistemas naturais sem comprometer muito o limitado espaço urbano.

López Zavala (2016) e Bruggeman (2019) também mostram bons resultados em suas análises. O primeiro, no México, com a captação de águas pluviais nos telhados, prevê redução no consumo de água de 48% e amortização de investimento em até seis anos. Já o segundo, na Itália, conclui que telhados verdes reduziram o consumo em cerca de 50%.

Em contexto parecido, mas em escala maior, Ennenbach *et al.* (2017) também tiveram resultados positivos em sua análise. Os autores afirmam que o uso de águas pluviais coletadas no telhado das residências pode ser viável nos Estados Unidos, principalmente em condados do pacífico noroeste, central e oriental, e que condados de densidade populacional baixa podem ter suas demandas hídricas supridas com esse uso.

No mesmo país, é notado por Stillwell *et al.* (2015) o quão benéfico economicamente é o aproveitamento de águas pluviais. Nesse estudo de viabilidade,

são estimados 3,8 bilhões de kWh e US \$270 milhões que podem ser economizados anualmente na irrigação e outros usos de água ao ar livre graças à coleta de água da chuva.

Por fim, é necessário sempre avaliar as condições materiais para possíveis adaptações e seu devido tratamento. Assim, Fan *et al.* (2023) afirmam que as espécies de bactérias presentes nas águas pluviais tiveram influência na eficácia da desinfecção e que isso deve ser levado em conta durante análises futuras. Somado a isso, segundo Leong *et al.* (2017), águas pluviais não deveriam ser reutilizadas sem o devido tratamento pela presença de patógenos como *Aeromonas*, *Salmonella*, *Pseudomonas* e *Staphylococcus*.

Isso nos mostra a importância dos estudos prévios para a concepção de um modelo de sistema de tratamento. Uma vez que a qualidade do processo é influenciada diretamente pelos patógenos contidos na água, como dita Fan *et al.* (2023), é importante conhecer as culturas de bactérias mais comuns em determinada região. Assim, é possível determinar um tratamento que melhor se adeque a essas condições, proporcionando uma eficácia maior ao produto final.

4. CONCLUSÃO

Diante do exposto, por meio dessa revisão sistemática, é possível ver as vantagens do aproveitamento de águas pluviais. Analisando os diversos estudos de caso, fica evidente a confiabilidade das implementações dos sistemas e seus benefícios, como amortizar a escassez em áreas com baixo fornecimento hídrico. Para isso se fazem necessárias as diversas técnicas de tratamento que podem ser adotadas para garantir segurança ao contato humano. Importante também é o planejamento prévio, como evidenciam os estudos de viabilidade, analisando as conjecturas locais e seus possíveis resultados, como a rentabilidade de sua implantação. Por fim, ainda há espaço para análises e avanços, principalmente quanto à abordagem social do tema, a fim de sensibilizar a população quanto à importância, segurança e necessidade do aproveitamento de águas pluviais no cotidiano.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ALI, D.; FILION, Y. Development of a Multi-Category Decision-Making Framework to Identify Stormwater Reuse Design Factors in Mixed-Use Communities. **World Environmental and Water Resources Congress 2015**, 14 maio 2015.

AWAD, A. A case study on rainwater harvesting and reuse in Jordan. **International Journal of Emerging Trends in Engineering Research**, v. 7, n. 11, p. 398–402, 15 nov. 2019.

BISWAL, B. K.; BALASUBRAMANIAN, R. Constructed Wetlands for Reclamation and Reuse of Wastewater and Urban Stormwater: A Review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 9 mar. 2022.

BONOTTO, D.M. et al. Stormwater reuse, a viable option: Fact or fiction? **Economic Analysis and Policy**, v. 56, p. 14–17, dez. 2017.

BRUGGEMAN, A. et al. Stormwater Retention and Reuse at the Residential Plot Level—Green Roof Experiment and Water Balance Computations for Long-Term Use in Cyprus. **Water**, v. 11, n. 5, p. 1055, 21 maio 2019.

CARVALHO, E. H. DE S. et al. Application of electrocoagulation / flotation process for rainwater reuse. **Periódico Tchê Química**, v. 16, n. 31, p. 89–94, 20 jan. 2019.

ENNENBACH, M. W., et al. County-Scale Rainwater Harvesting Feasibility in the United States: Climate, Collection Area, Density, and Reuse Considerations. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 54, n. 1, p. 255–274, 27 nov. 2017.

FAN, S., et al. Urban stormwater disinfection, quality variability during storage and influence on the freshwater algae: Implications for reuse safety. **Journal of Environmental Sciences**, v. 124, p. 655–666, fev. 2023.

GHAZAW, Y. M. et al. Evaluation of a Low-Cost Ceramic Filter for Sustainable Reuse of Urban Stormwater in Arid Environments. **Water**, v. 12, n. 2, p. 460, 9 fev. 2020.

GÓMEZ-MONSALVE, M. et al. Environmental performance of a hybrid rainwater harvesting and greywater reuse system: A case study on a high water consumption household in Colombia. **Journal of Cleaner Production**, v. 345, p. 131125, abr. 2022.

HONG, N.; ZHU, P.; LIU, A. Modeling heavy metals build-up on urban road surfaces for effective stormwater reuse strategy implementation. **Environmental Pollution**, v. 231, p. 821–828, dez. 2017.

JENKINS, G. A., et al. The impact of water reuse on the hydrology and ecology of a constructed stormwater wetland and its catchment. **Ecological Engineering**, v. 47, p. 308–315, out. 2012.

KEREMANE, G, et al. Issues Affecting Community Attitudes and Intended Behaviours in Stormwater Reuse: A Case Study of Salisbury, South Australia. **Water**, v. 4, n. 4, p. 835–847, 25 out. 2012.

KHATI, K.B et al. Water resources criticality due to future climate change and population growth: Case of river basins in Utah, USA. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.144, n. 8, 1 ago. 2018

LEONG, J. Y. C. et al. Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralized system for water recycling and reuse: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3014–3027, jan. 2017.

LI, C. et al. Polyaluminium Chloride and Anionic Polyacrylamide Water Treatment Residuals as an Amendment in Soils for Phosphorus: Implications for Reuse in Stormwater Bioretention Systems. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 233, n. 3, mar. 2022.

LIANG, H. et al. The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification. **Science of The Total Environment**, v. 697, p. 134187, dez. 2019.

LIAO, Y. T.; LIU, K. S. The energy saving strategy on the sustainable campus renovation plan by recycling and reuse of rainwater in taiwan. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 2, p. 111–122, 2017.

LIU, A. et al. Toxicity variability of urban road stormwater during storage processes in Shenzhen, China: Identification of primary toxicity contributors and implications for reuse safety. **Science of The Total Environment**, v. 745, p. 140964, nov. 2020.

LÓPEZ ZAVALA, M., et al. Potential of Rainwater Harvesting and Greywater Reuse for Water Consumption Reduction and Wastewater Minimization. **Water**, v. 8, n. 6, p. 264, 21 jun. 2016.

NANOS, M. G. et al. Site-Level Stormwater Reuse: A Feasibility Analysis of Commercial Developments in Canada. **World Environmental and Water Resources Congress 2013**, 28 maio 2013.

NICHOLS, P.; LUCKE, T. Local Level Stormwater Harvesting and Reuse: A Practical Solution to the Water Security Challenges Faced by Urban Trees. **Sustainability**, v. 7, n. 7, p. 8635–8648, 2 jul. 2015.

ONU, 2016. **Agua limpia y saneamiento: ¿Por qué es importante?** Disponível em: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf. Acesso em: 21 out. 2022.

ONU, 2018. **La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe**. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf. Acesso em: 21 out. 2022.

OVIEDO-OCAÑA, E. R. et al. Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 20, p. 19200–19216, 30 mar. 2017.

SHEN, P. et al. Real time control of biofilters delivers stormwater suitable for harvesting and reuse. **Water Research**, v. 169, p. 115257, fev. 2020.

SILVA, E. T. et al. Viabilidade econômica da implantação de sistemas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em um bloco universitário no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.05, set. 2020

STILLWELL, A. S. et al. Energy-Water Nexus: Potential Energy Savings and Implications for Sustainable Integrated Water Management in Urban Areas from

Rainwater Harvesting and Gray-Water Reuse. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 141, n. 12, dez. 2015.

VENTURA, D. et al. On the performance of a novel hybrid constructed wetland for stormwater treatment and irrigation reuse in Mediterranean climate. **Lecture Notes in Civil Engineering**, p. 151–159, 2020.

VIRGA, G. et al. Constructed wetlands as sustainable technology for the treatment and reuse of the first-flush stormwater in agriculture—a case study in Sicily (Italy). **Water**, v. 12, n. 9, p. 2542, 11 set. 2020.

WANG, R. RETRACTED ARTICLE: Landscape design of rainwater reuse based on ecological natural environment: Hangzhou as an example. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 18, 24 ago. 2021.

ZHAN, Y. et al. Toxicity variability of urban road stormwater during storage processes in Shenzhen, China: Identification of primary toxicity contributors and implications for reuse safety. **Science of The Total Environment**, v. 745. 25 nov. 2020.