PREVISÃO DA OFERTA DE ÁGUA CLARA DESCARTADA PARA USOS NÃO POTÁVEIS EM EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Forecasting the supply of discarded clearwater for non-potable use in buildings: a literature review

Vieira, Mirele Santiago[1]; Sant'Ana, Daniel[2]; Carvalho, Danilo Vieira[3]; Santana, Livia Ferreira[4]

[1] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília-DF, Brasil, mirele.msv@gmail.com.
[2] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília-DF, Brasil, dsantana@unb.br.
[3] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília-DF, Brasil, danilocarvalho@unb.br.
[4] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Anápolis-GO, Brasil, livia.santana@ifg.edu.br.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo identificar potenciais fontes de águas claras descartadas para uso em edificações, bem como os métodos existentes para estimar a quantidade de água disponibilizada por meio de uma revisão da literatura. A pesquisa foi conduzida em duas etapas: na primeira, foram identificados e categorizados os tipos de águas claras descartadas e seus respectivos processos de geração; na segunda, foram pesquisados e analisados os métodos de estimativa de volume descartado dessas fontes. As principais fontes identificadas foram o rejeito de osmose inversa e o descarte de destiladores. Observou-se uma lacuna na literatura quanto a modelos preditivos aplicáveis a essas fontes de água clara, apontando para um campo promissor de investigações futuras voltadas à previsão de oferta de água clara descartada para aproveitamento em edificações.

Palavras-chave: Água clara; Água descartada; Oferta de água; Fonte alternativa de água; Aproveitamento.

ABSTRACT

The aim of this study was to identify potential sources of discarded clearwater for use in buildings, as well as existing methods for estimating the quantity of water available through a literature review. The research was conducted in two stages: first, the types of discarded clear water and their respective generation processes were identified and categorized; second, methods for estimating the volume of discarded clearwater from different sources. The main sources identified were reverse osmosis rejects and distiller discharge. A gap in the literature was observed regarding predictive models applicable to these clear water sources, indicating a promising field for future research focused on forecasting discarded clear water supply for use in buildings.

Keywords: *Clearwater; Discarded water; Water supply; Alternative water source; Reclamation.*

1 INTRODUÇÃO

Sistemas prediais de água não potável têm sido vistos como opção capaz de promover reduções significativas no consumo predial de água potável. Estes sistemas hidráulicos fazem uso de fontes alternativas de suprimento de água para fins não potáveis dentro e fora das edificações (Sant'Ana; Amorim, 2007). A adoção dessas fontes pode contribuir para a diminuição da demanda urbana por água potável, para a redução de custos relacionados ao abastecimento de água potável, além de mitigar impactos ambientais associados à exploração de recursos hídricos (Alvares; Sant'Ana, 2016; Cáceres *et.al*., 2019; Sant'Ana *et.al*., 2017).

Dentre as fontes alternativas de água, destacam-se as chamadas 'águas claras', caracterizadas como efluentes provenientes de processos como resfriamento, sistemas de vapor e condensação, sistemas de destilação, entre outros (Marques; Oliveira, 2014; ABNT, 2019). Em geral, são fontes de água de relativa qualidade e baixa necessidade de tratamento para uso

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8192

não potável, que vêm sendo descartadas na rede de drenagem pluvial ou de esgoto sanitário (água residuária) e que podem contribuir para a redução do consumo de água potável em edificações que fazem uso intensivo de caldeiras, autoclaves e máquinas de hemodiálise.

Apesar da experiência em sistemas prediais voltados ao aproveitamento de água de chuva (Brandão; Campos, 2019; Teston *et al.*, 2018; Sant'Ana, 2006), reúso de água cinza (Rodrigues *et al.,* 2022; Rosa; Ghisi, 2021; Barbosa *et al.*, 2018) ou até mesmo do reúso de água residuária (Asano *et al.,* 1996; Arden *et al.,* 2021; Sant'Ana, 2011), pouco se sabe sobre a aplicabilidade de sistemas de aproveitamento de água clara em edificações - especialmente dentro do contexto brasileiro, considerando questões quantitativas da oferta de água de diferentes fontes.

A estimativa do volume de água descartada por sistemas como os de destilação configura-se como etapa fundamental para a avaliação da viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de águas claras, permitindo identificar seu potencial de contribuição para a redução do consumo de água potável em edificações. Um estudo prévio teve como foco identificar os modelos de previsão de oferta de água clara condensada de sistemas de ar condicionado (Carvalho; Sant'Ana, 2024).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo identificar as principais potenciais fontes de águas claras descartadas para uso em edificações e os métodos existentes para estimar a quantidade de água clara ofertada seus volumes, por meio de uma revisão da literatura.

2 MÉTODO

Para alcançar o objetivo traçado, este estudo se baseou em uma revisão de literatura dividida em duas etapas. Baseada em uma pesquisa exploratória, a primeira etapa buscou identificar e categorizar os diferentes tipos de água clara e compreender o seu processo de produção em sistemas de resfriamento, aquecimento e tratamento de água por meio de publicações em livros, periódicos e documentos técnicos utilizando a combinação de termos em português e inglês de: i) oferta de água ("água clara" / "*clearwater*", "condensado" / "*condensate*" e "vapor" / "*vapour*"); ii) processo ("resfriamento" / "*cooling*", "aquecimento" / "*heating*" e "tratamento" / "*treatment*"); e iii) uso ("reúso" / "*reuse*", "aproveitamento" / "*reclamation*" e "uso" / "*use*") no Google Acadêmico.

A segunda etapa buscou identificar os métodos existentes para estimar o volume da oferta de água clara de diferentes sistemas. Identificadas as palavras-chave mais recorrentes entre os trabalhos encontrados na primeira etapa exploratória, foram utilizadas duas estratégias de busca (*Strings* A e B), aplicadas simultaneamente nas bases de dados *Web of Science* e Portal de Periódicos da CAPES. O *String* A foi desenvolvida com o objetivo de identificar estudos relacionados ao descarte de água proveniente de processos de osmose inversa, enquanto o *String* B teve como foco a água descartada por sistemas de destilação.

A. ("reúso" *OR* "reaproveitamento" *OR* "recuperação") *AND* ("permeado" *OR* "rejeito" *OR* "concentrado") *AND* ("osmose inversa" *OR* "osmose reversa" *OR* "hemodiálise") / (*"reuse" OR "reutilization" OR "recovery"*) *AND* (*"permeate" OR "reject" OR "concentrate"*) *AND* (*"reverse osmosis" OR "hemodialysis"*).

B. ("reúso" *OR* "aproveitamento" *OR* "reaproveitamento" *OR* "recuperação") *AND* ("destila*" *OR* "água destilada") / (*"reuse" OR "utilization" OR "reclamation" OR "recovery"*) *AND* (*"distill*" OR "distilled water"*).

A utilização dos dois *strings* em ambas as bases visou ampliar a abrangência da busca e garantir a recuperação de publicações relevantes em diferentes contextos e abordagens. A partir da leitura de títulos foram excluídos trabalhos que fugiam ao tema proposto ou que não apresentavam as palavras-chave escolhidas. Após a seleção das publicações de títulos aderentes ao objetivo deste trabalho, foi realizada a leitura dos resumos e excluídos os trabalhos cujos temas divergiam da área de conhecimento pretendida, obtendo publicações de revisão, estudos de caso e artigos originais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

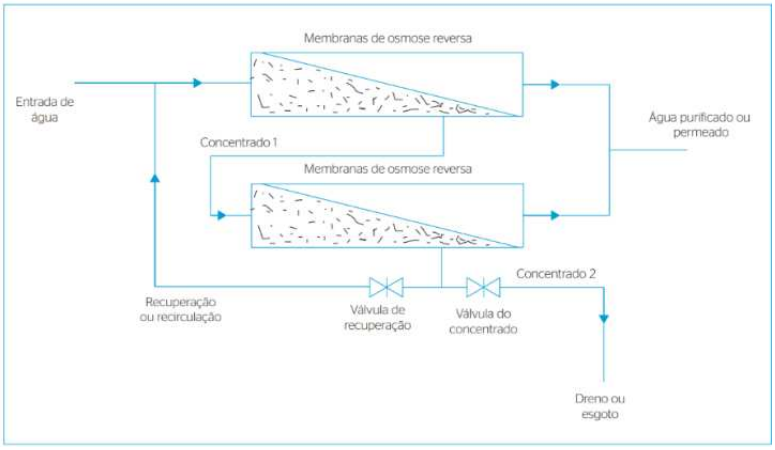
A pesquisa exploratória apresentou dois tipos de fontes água clara descartada na literatura: descarte de osmose inversa de máquina de hemodiálise e descarte de destiladores laboratoriais. Sendo assim, abordado a seguir, uma avaliação do aspecto quantitativo para possíveis usos dessa fonte alternativa de água em edificações.

3.1 Rejeito de osmose inversa de máquinas de hemodiálise

A osmose inversa é realizada por meio da passagem da água com alta pressão através de uma membrana semipermeável que retém os elementos químicos presentes na solução. Devido a isso, a osmose inversa é muito utilizada para o tratamento da água para diluir o banho de diálise, visando atender aos padrões mínimos de qualidade exigidos por lei para serviços de diálise (Brasil, 2014). Importante esclarecer que este rejeito não corresponde à água utilizada no tratamento da diálise em si, ou seja, não entra em contato com o paciente nem com o sangue. Trata-se, na verdade, de uma água potável que, antes de ser utilizada nas máquinas de diálise, passa por um rigoroso processo de purificação, incluindo a osmose inversa.

A membrana semipermeável faz a separação da água concentrada em duas correntes de saída, sendo uma de água pura e/ou desmineralizada e outra de água com alta concentração de sal, água de rejeito/concentrado (Figura 1) (Faria *et al.,* 2016).

Figura 1 – Esquema simplificado da produção de água por osmose inversa



Fonte: Faria *et al.* (2016).

O rejeito gerado, embora apresente maior concentração de sais, não contém agentes patogênicos e possui qualidade microbiológica satisfatória. Faria *et al.* (2016) identificaram valores inferiores a 1,1 NMP/100mL para coliformes totais e termotolerantes, oxigênio dissolvido em 7,41 mg/L e ausência de bactérias heterotróficas, reforçando o potencial de aproveitamento desse efluente para fins não potáveis.

Faria *et al.* (2016) realizaram a mensuração do volume de concentrado gerado por sistemas de osmose inversa durante 30 dias em uma clínica de hemodiálise situada na cidade de Curitiba. Para determinar esse volume foram instalados dois hidrômetros — um nas tubulações do descarte das membranas, e outro na tubulação existente na saída do reservatório que armazena o concentrado destinado ao reúso. Para maior precisão nos cálculos, os valores lidos diariamente nos hidrômetros foram comparados com rotâmetros presentes no próprio equipamento, que monitoram os fluxos de concentrado.

A percentagem de recuperação de água do rejeito pode ser obtida através da Equação 1 (Faria *et al.,* 2016):

$$\%Rec = \frac{Q_p}{Q_t} \times 100 \quad \text{(Eq. 1)}$$

Sendo:
$\%Rec$, percentagem de recuperação
Q_p, fluxo de água permeada (LPM); e
Q_t, fluxo de entrada de água ou fluxo total (LPM).

Observa-se como fatores que possuem influência sobre a percentagem de recuperação de água de rejeito: a temperatura (diretamente proporcional ao fluxo de vazão de água permeada) e a concentração de sais da água de alimentação (inversamente proporcional ao fluxo de vazão de água permeada). Dessa maneira, do volume total de água que entra no sistema, 40% é rejeitada. A água descartada por sistemas de osmose inversa pode ser aproveitada tanto para usos menos exigentes, como a limpeza de calçadas e sanitários, como para usos mais específicos, dada a possibilidade da aplicação de processos mais sofisticados de remoção de poluentes.

3.2 Descarte de destiladores laboratoriais

Os destiladores são aparelhos instalados dentro de laboratórios para a produção de água desmineralizada, que funcionam por meio de resistência elétrica. Operam de forma manual, e a vazão de entrada de água no sistema é administrada por técnicos de laboratório. Parte da água admitida no sistema é transformada em água destilada, enquanto outra parte, em volume muito superior, é utilizada para a condensação do vapor gerado e refrigeração do equipamento, sendo descartada ao final do processo. A não ser que sua entrada seja manualmente bloqueada, essa água continua fluindo pelo sistema e sendo descartada, mesmo com o aparelho desligado (Pinto *et al.,* 2015). Dessa forma, a água de descarte nos processos de destilação não é o condensado gerado, mas sim a água de refrigeração admitida no sistema.

Em relação ao volume de água que passa pelo circuito no processo de destilação, 95,5% é usada para refrigerar o sistema e posteriormente descartada, e somente 4,5% é aproveitada como água destilada (Pinto *et al.,* 2015). É importante ressaltar que a proporção entre água descartada e água aproveitada no sistema depende diretamente da vazão de entrada de água, que é regulada manualmente por diferentes profissionais sempre que o destilador é ligado. Dessa forma, a relação produção/descarte pode variar significativamente (Pinto *et al.,* 2015).

Outros estudos prévios foram elaborados com o intuito de prever a quantidade de água descartada da refrigeração a partir de medição direta, dependendo da medição efetuada em aparelhos destiladores existentes. Não foram identificadas, na revisão de literatura, fórmulas

ou equações elaboradas com o intuito de prever a quantidade de água descartada pelos destiladores, sendo essa informação fornecida, em geral, pelos fabricantes dos equipamentos. A Tabela 1 apresenta o levantamento das relações entre o volume descartado a partir da produção de 1 L de água destilada para destiladores modelo Pilsen.

Tabela 1 - Trabalhos caracterizados e volume de água descartada por litro de água destilada produzida.

Autor (data)	Volume de água descartada por litro de água produzida
Abreu (2018)	440 L
Simões (2020)	26 a 29 L
Menezes (2022)	34,3 L
Medeiros *et al.* (2017)	25,5 a 38,5 L

Fonte: Autores (2025)

Em média, os destiladores gastam aproximadamente 32 litros de água descartada para cada litro de água destilada produzida. Há a possibilidade do reúso direto da água de descarte em tarefas rotineiras de uma Instituição de Ensino Superior (IES), como a lavagem de pisos e calçadas ou a rega de plantas, sem a instalação de sistema de aproveitamento (Medeiros *et al.,* 2017).

Observa-se que a quantidade de água descartada de processos de osmose inversa e de destilação podem apresentam desafios devido a lacuna de conhecimento quanto a um equacionamento preciso da estimativa de volume de água gerada. Além disso, os estudos anteriores apresentaram um considerável potencial de quantidade de água gerada obtida, que pode se aproveitada em diversos usos em edificações.

4 CONCLUSÃO

A partir desta revisão de literatura, evidenciou-se a escassez de estudos voltados à previsão da oferta de águas claras provenientes de sistemas como osmose inversa e destilação, especialmente no contexto de edificações urbanas. Embora exista potencial técnico para o aproveitamento dessas águas em usos não potáveis, a ausência de métodos padronizados de estimativa volumétrica e diretrizes operacionais limita sua adoção em projetos prediais.

No caso da osmose inversa, observou-se que parte significativa da água utilizada é descartada como concentrado, podendo ser aproveitada em atividades de baixa exigência qualitativa. Já os destiladores demonstraram grande ineficiência hídrica, com altos volumes de descarte em relação à água produzida, o que impõe desafios logísticos para armazenamento e aproveitamento. Ao considerar o elevado volume de água descartada dos destiladores, surge como um desafio inicial o tamanho necessário dos reservatórios para armazenar essa água. Grandes volumes exigem instalações adequadas e um espaço significativo, o que pode ser um empecilho em muitas edificações.

Assim, a literatura aponta para um potencial de uso de águas claras em edificações, reforçando a necessidade de estudos que avaliem a qualidade dessas águas, os custos de sistemas de aproveitamento e os benefícios operacionais e ambientais. Avançar nesse campo pode contribuir para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e subsidiar futuras ações voltadas ao uso de fontes alternativas de água no ambiente construído.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos pareceristas anônimos pelas contribuições qualificadas que auxiliaram na revisão e no aprimoramento deste artigo.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. L. C.; PEDROSO, J. F.; PAULA, B. H.; AMARAL, L. C. S.; SILVA, C. A.; GOMES, J. G. Reutilização da água usada no processo de destilação. **META**, v.1, n.1, p.323 – 329, 2016.

ALVARES, K.; SANT'ANA, D. Reduções na exploração de recursos hídricos pelo emprego de tecnologias conservadoras de água: uma análise piloto em regiões residenciais do Distrito Federal, In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016. **ANAIS [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

ARDEN, S.; MORELLI, B.; CASHMAN, S.; MA, X.; JAHNE, M.; GARLAND, J. Onsite non-potable reuse for large buildings: environmental and economic suitability as a function of building characteristics and location. **Water Research**, v.191, e.116635, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116635.

ASANO, T.; M. MAEDA, M.; TAKAKI, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. **Water Science and Technology**, v.34, n.11, p.219-226, 1996. DOI: https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00841-4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS (ABRAMAN). **PCO - Programa de certificação operacional CST:** Tubulação industrial e estrutura metálica. Rio de Janeiro, 2008. 327p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16783:** Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 19p.

BARBOSA, G. G.; BEZERRA, S. P.; SANT'ANA, D. Indicadores de consumo de água e análise comparativa entre o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edificações de ensino do Campus Darcy Ribeiro - UnB. **Paranoá**, v.11, n.22, p. 1-15, 2018. DOI: https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n22.2018.01.

BOTELHO, M.; BIFANO, H. **Operação de Caldeiras:** Gerenciamento, controle e manutenção. São Paulo: Editora Blucher, 2 ed., 2015. 208p.

BRANDÃO, V. R.; CAMPOS, M. A. S. Avaliação ambiental de sistemas de aproveitamento de água pluvial: um mapeamento de literatura. **Paranoá**, v. 12, n. 23, p. 93–111, 2019. DOI: https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n23.2019.09.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.º 11, de 13 de março de 2014. Dispõe sobre requisitos de boas práticas de funcionamento para os serviços de diálise e dá outras providências. **Diário Oficial da União,** Seção 1, p. 41, Brasília, DF, 17 mar. 2014.

CÁCERES, P. S.; RAMOS, S. R.; SANT'ANA, D. Potencial de redução da exploração dos recursos hídricos locais pelo aproveitamento de água pluvial em residências no Distrito Federal. **Paranoá**, v. 12, n. 23, p. 11–19, 2019. DOI: https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n23.2019.02.

CARVALHO, D. V.; SANT'ANA, D. A comprehensive review of air-conditioning condensed water supply models. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 2, e.3269, 2024. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv22n2-120.

CHIELLE, L. P.; FONTENELLE, M. T. Reutilização do condensado utilizado para aquecimento dos tanques de gordura. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2019. **Anais [...].** 2019. v. 4, n. 1, p. 206–222. ISSN 2594-4649.

Rezende, P. D. de; Rezende, R. M.; Marques, R. F. de P. V.; Rezende, R. A. L. S.; Oliveira, A. S. de; Santos, C. da S. dos; Pereira, C. N. Qualidade e reúso da água de caldeira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.6, p.566–575, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0047

FARIA, S., G., P.; NAGALLI, A.; FREIRE, F. B.; RIELLA, M. C. Reaproveitamento do concentrado gerado por sistema de tratamento de água por osmose reversa em uma clínica de hemodiálise. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.2, p. 329-336, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016122029.

MARQUES, I. G.; OLIVEIRA, L. H. **Padronização de terminologia e de conceitos de sistemas prediais de água não potável.** Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo: CBCS, 2014. 9p.

MEDEIROS, R. C.; STORCK, W. R.; VOLPATTO, F. Gestão da água de descarte de destiladores de água em laboratórios de uma IES. In: Congresso Brasileiro De Gestão Ambiental, 8., 2017, Campo Grande. **[Anais]...** Campo Grande–MS: IBEAS, 2017.

MENEZES, C. C. B.; CARNEIRO FILHO, R. B. S. **Estudo de recuperação da água dos laboratórios para o reabastecimento da EQ/UFRJ**. (Projeto de Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2022. 62f.

PINTO, A.C.; CAPRI, M. R.; CAPRI NETO, A. Gestão de água no laboratório: recuperação da água descartada dos destiladores. In: CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG–Gestão da água e monitoramento ambiental. **[Anais]...** 2015.

RODRIGUES, K. C.; MORAIS, L. S. R.; DE PAULA, H. M. Green/sustainable treatment of washing machine greywater for reuse in the built environment. **Cleaner Engineering and Technology**, v.6, e.100410, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100410.

ROSA, G. C.; GHISI, E. Water quality and financial analysis of a system combining rainwater and greywater in a house. **Water**, v.13, e.930, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/w13070930.

SANT'ANA, D.; AMORIM; C. N. D. Reúso de água em edificações: premissas e perspectivas para o contexto brasileiro. **Sistemas Prediais,** v.2, n.1, p. 32-37, 2007.

SANT'ANA, D.; MEDEIROS, L. B. P.; ALVARES, C.F.K. **Reúso-DF:** Princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade ambiental e econômica para o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edificações residenciais do Distrito Federal. Relatório Técnico 3/2017. Brasília: Universidade de Brasília, 2017. 74p. Disponível em: http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/40691. Acesso em: 24 mai. 2024.

SANT'ANA, D. Rainwater harvesting in Brazil: Investigating the viability of rainwater harvesting for a household in Brasília. In: G. Broadbent; C. A. Brebbia. (Org.). **Eco-Architecture:** Harmonization between architecture and nature. 1ed. Southampton: WIT Press, 2006, v. 86, p. 381-390. DOI: https://doi.org/10.2495/ARC060381.

SANT'ANA, D. **A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings.** Tese (Doutorado). Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University, Oxford, 2011. 392 f.

SIMÕES, F. A. F.; DE FREITAS, C. A. S.; FEITOSA, R. G. F.; SANTOS, Y. T. da C.; COSTA, L. D. A.; PINHO, C. de O.; DA SILVA, M. L. Q.; DOS SANTOS, S. P. Potencial de reúso das águas de resfriamento de destiladores laboratoriais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 180–194, 2020. DOI: https://doi.org/10.9771/gesta.v8i1.36627.

TEIXEIRA, E. P.; DA SILVA, P. B. Reúso da água do rejeito de um tratamento de osmose reversa de uma unidade de hemodiálise hospitalar: estudo de caso. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde**, v.4, n.4, p. 42-51, 2011. DOI: https://doi.org/10.18816/r-bits.v4i4.1496.

TESTON, A.; SOARES M.S.; B.M.; GHISI, E. Rainwater harvesting in buildings in Brazil: a literature review. **Water**, v.10, n.4, e.471, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/w10040471.