AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA CIDADE DE PALHOÇA/SC

Evaluation of a Rainwater harvesting system in a single-family home in Palhoça/SC

Bezerra, Isabela Warmling[1]; Custódio, Diego Antônio[2]; Vaz, Igor Catão Martins[3]; Ghisi, Enedir[4]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis-SC, Brasil, isawbezerra@gmail.com.

[2]Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Curitiba-PR, Brasil, custodio@utfpr.edu.br.

[3]Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis-SC, Brasil, igorcmvaz@gmail.com.

[4]Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis-SC, Brasil, enedir.ghisi@ufsc.br.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar técnica e economicamente um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma residência unifamiliar em Palhoça (SC). O método incluiu: (1) levantamento do consumo e de usos finais de água da residência por meio de visitas técnicas e registros semanais; (2) simulação no programa Netuno com dados pluviométricos históricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); e (3) análise de viabilidade econômica baseada em tarifas locais e indicadores de valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). Os principais usos finais de água foram em bacias sanitárias (19,95%), lavadora de roupas (19,91%) e chuveiros (15,90%). Foram analisados dois cenários para aproveitamento de água pluvial em bacias sanitárias, irrigação de jardim e máquina de lavar roupas (cenário 1) e apenas bacias sanitárias e irrigação de jardim (cenário 2). O sistema de aproveitamento de água pluvial simulado, com reservatório inferior de 3.000 L e superior de 500 L, resultou em economia de 35,6% (cenário 1) e 23,3% (cenário 2) no consumo de água potável. A análise financeira indicou viabilidade do investimento no cenário 1, com tempo de retorno de 55 meses, VPL positivo e TIR superior à TMA. Conclui-se que a adoção do sistema é tecnicamente eficaz e economicamente vantajosa, contribuindo para a sustentabilidade no ambiente construído.

Palavras-chave: Aproveitamento de água pluvial; Água não potável; Edificações residenciais; Netuno.

ABSTRACT

This study aimed to conduct a technical and economic analysis of a rainwater harvesting system in a single-family house located in Palhoça, Southern Brazil. The methodology comprised: (1) assessment of water consumption and end-uses through site visits and weekly records; (2) simulation using the Netuno software based on historical rainfall data from Brazilian National Institute of Meteorology (INMET); and (3) an economic feasibility analysis using local tariff structures and financial indicators such as Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). The main end-uses of water were toilet flushing (19.95%), clothes washing (19.91%), and showers (15.90%). Two rainwater harvesting scenarios were evaluated: scenario 1 considered its use for toilet flushing, garden irrigation, and washing machine; scenario 2 limited the use to toilet flushing and garden irrigation. The simulated rainwater harvesting system, considering a lower rainwater tank of 3,000 L and an upper tank of 500 L, resulted in a 35.6% reduction in potable water consumption. The financial analysis indicated that the investment was feasible in scenario 1, with a payback period of 55 months, a positive NPV, and an IRR higher than the Minimum Acceptable Rate of Return. It is concluded that the system is technically effective and economically advantageous, contributing to sustainability in the built environment.

Keywords: *Rainwater harvesting, Non-potable water; Residential buildings; Netuno.*

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.7933

1 INTRODUÇÃO

A água sempre desempenhou papel central na formação e desenvolvimento das cidades, sendo essencial tanto para o consumo humano quanto para a infraestrutura urbana. Desde os primeiros assentamentos até as metrópoles modernas, a disponibilidade de água e energia influenciou diretamente a localização dos centros urbanos (McCool, Clark, Stankey, 2008). A engenharia hidráulica e o avanço energético possibilitaram a expansão urbana, mas também aumentaram a dependência em relação ao fornecimento hídrico e energético. Com o crescimento das cidades, emergiram preocupações com o consumo excessivo de energia, água e materiais, impulsionando a busca por práticas de uso consciente de recursos (Malanima, 2014). Dados da ANA (2019) mostram o aumento expressivo do consumo urbano de água. Nesse sentido, diversos trabalhos reforçam a urgência da adoção de estratégias como o aproveitamento da água pluvial (Teston *et al*., 2018; Custódio; Ghisi, 2023), reúso de água cinza (Ghisi; Oliveira, 2007; Cureau; Ghisi, 2020) e o uso de equipamentos economizadores (Bertolazzi; Custódio, 2020).

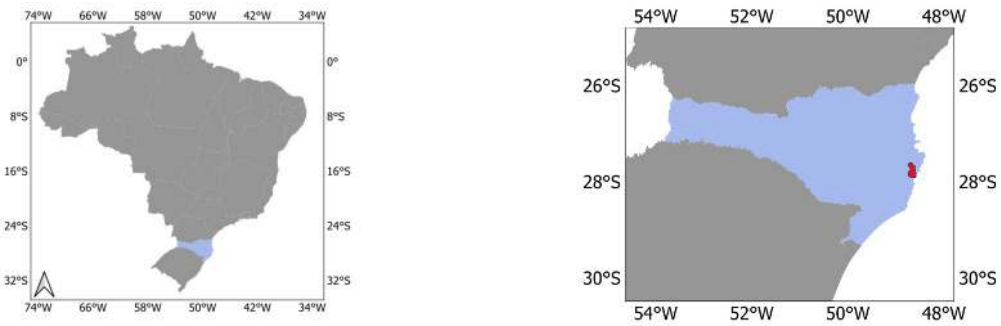
Diante das mudanças climáticas, aumenta cada vez mais a necessidade de medidas que promovam a resiliência das edificações e a mitigação dos impactos ambientais, incluindo o consumo hídrico. A escassez hídrica e os eventos extremos, cada vez mais frequentes, demandam soluções que reduzam a pressão sobre os sistemas urbanos de abastecimento e saneamento. Tecnologias como o aproveitamento da água da chuva e a redução do consumo de água potável em usos não potáveis se tornam fundamentais nesse cenário. Ressaltam-se também as estratégias de adaptação no ambiente construído que diminuam a vulnerabilidade das populações urbanas diante das alterações climáticas (Pereira *et al*., 2017; Kylili; Ilic; Fokaides, 2017), reforçando a importância de um planejamento sustentável e integrado para o setor residencial. Neste estudo, portanto, faz-se a avaliação de um sistema de aproveitamento de água pluvial, com o objetivo de analisar o potencial de economia de água potável em uma edificação unifamiliar localizada na cidade de Palhoça, Santa Catarina.

2 MÉTODO

2.1 Objeto de estudo e usos finais de água

O objeto de estudo é uma residência unifamiliar localizada na cidade de Palhoça (SC). A localização da cidade é mostrada na Figura 1. A edificação possui 228 m² distribuídos em três banheiros, cozinha, área de serviço e área externa, totalizando 17 pontos de consumo de água. A Figura 2 mostra a planta baixa da edificação.

Figura 1 – Localização da cidade de Palhoça em Santa Catarina



Fonte: Autores (2025)

Figura 2 – Planta baixa da edificação (sem escala)



Fonte: Autores (2025)

Foi realizada uma análise detalhada dos consumos dos moradores com base em registros semanais e visitas técnicas para identificação e medição do consumo de água nos aparelhos sanitários. Para caracterização da frequência de uso dos aparelhos hidrossanitários, foi requisitado que os moradores registrassem a quantidade de vezes e o tempo de uso dos aparelhos durante uma semana. Para caracterização da vazão, os aparelhos sanitários foram classificados em dois grupos: equipamentos cujo consumo foi calculado com base no tempo de uso e na vazão média aferida (chuveiros, torneiras, tanque, mangueiras), e equipamentos com consumo estimado a partir da quantidade de utilizações e dados técnicos de fabricantes (bacias sanitárias, lavadora de roupas e de louças).

O consumo total semanal da residência foi comparado com o histórico de faturas da concessionária para validação. A partir da análise, foi identificado o percentual da demanda de água que pode ser atendido com água pluvial, utilizada em bacias sanitárias, torneiras externas e máquina de lavar roupas. Por fim, é importante ressaltar que a edificação abrigava quatro moradores durante a pesquisa e foi construída em 2003.

2.2 Simulação de sistema de captação de água pluvial

O programa Netuno, versão 4 (Ghisi; Cordova, 2014), foi utilizado para avaliar o desempenho do sistema de aproveitamento de água pluvial. O programa utiliza um método determinístico baseado em dados reais de precipitação e consumo. O modelo para simulação do sistema de captação de água pluvial foi o mesmo dos trabalhos de Silva, Vaz e Ghisi (2025) e Freitas e Ghisi (2020). Foram utilizados dados pluviométricos diários do INMET (1945–2023), coeficiente de escoamento de 0,95 para telhas esmaltadas e consumo total diário de 800 L/dia, baseado nos resultados da avaliação do objeto de estudo.

O programa Netuno simula diferentes combinações de volume de reservatórios para encontrar o cenário ótimo de economia de água potável, adotando o limiar de eficiência de 5% por m³. O volume ideal para o reservatório superior foi calculado com base na demanda diária de uso não potável e a simulação considerou o descarte inicial de 2 mm (ABNT, 2019), o dimensionamento dos condutores e a reposição periódica de cloro, viabilizando a desinfecção da água no reservatório inferior. A Tabela 1 mostra os dados de entrada para a simulação no Netuno.

Tabela 1 – Dados de entrada na simulação de aproveitamento de água pluvial

Parâmetro	Valor
Dados de precipitação diária (mm)	Dados obtidos do INMET (2024)
Descarte do escoamento inicial (mm)	2
Área de captação (m²)*	294,94
Demanda total de água (litros/pessoa/dia)	200
Número de moradores	4
Percentual da demanda a ser substituída por água pluvial	Obtido a partir dos usos finais
Coeficiente de escoamento superficial	0,95
Volume reservatório superior	Volume igual à demanda diária de água pluvial
Volume reservatório inferior	Volume simulado entre 0 e 10.000 litros com intervalo de 250 litros. Adotado o volume ótimo de acordo com método do Netuno e limiar de 5 %/m³

* Calculada de acordo com o procedimento descrito na NBR 10844 (ABNT, 1989).

Fonte: Autores (2025)

2.3 Análise financeira

Para avaliar a viabilidade econômica da instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial, foi realizada uma análise considerando um período de 21 anos e desconsiderando os custos de reforma. Os custos analisados incluem instalação e operação dos sistemas, enquanto os benefícios foram calculados com base na economia de água potável. As tarifas de fornecimento hídrico foram obtidas da SAMAE (2024), com reajuste anual pela inflação de 4,76% (IBGE, 2024). O consumo mensal de água foi obtido conforme subseção 2.1 e os cálculos dos custos do consumo de água e respectivas economias em cada cenário avaliado foram calculados por meio das Equações 1 e 2.

$$C_m = t_f + (1 + t_e) \cdot \left[(v_1 \cdot t_1) + (v_2 \cdot t_2) + (v_3 \cdot t_3) \right] \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$E_m = C_m - (C_{mp} + C_0) \quad \text{(Eq. 2)}$$

Sendo: C_m é o custo mensal do consumo de água (R$/mês); tf é a tarifa fixa; t_e é a taxa de esgoto (%); v_1 é o volume consumido na primeira faixa de consumo (m³); t_1 é a tarifa da primeira faixa de consumo (R$/m³); v_2 é o volume consumido na segunda faixa de consumo (m³); t_2 é a tarifa da segunda faixa de consumo (R$/m³); v_3 é o volume consumido na terceira faixa de consumo (m³); t_3 é a tarifa da terceira faixa de consumo (R$/m³); E_m é a economia mensal com utilização do sistema de água pluvial (R$/mês); C_{mp} é o custo mensal de consumo com utilização do sistema de água pluvial (R$/mês); C_o é o custo mensal de operação e manutenção do sistema de água pluvial (R$/mês).

A avaliação da viabilidade econômica dos sistemas envolveu a aplicação de métodos consolidados com base no fluxo de caixa ao longo de 21 anos. O Valor Presente Líquido (VPL) foi calculado considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 0,93% ao mês, equivalente à taxa SELIC vigente em outubro de 2024, conforme dados do Banco Central (BCB, 2024). O VPL positivo ao final do período indica viabilidade econômica. O investimento inicial

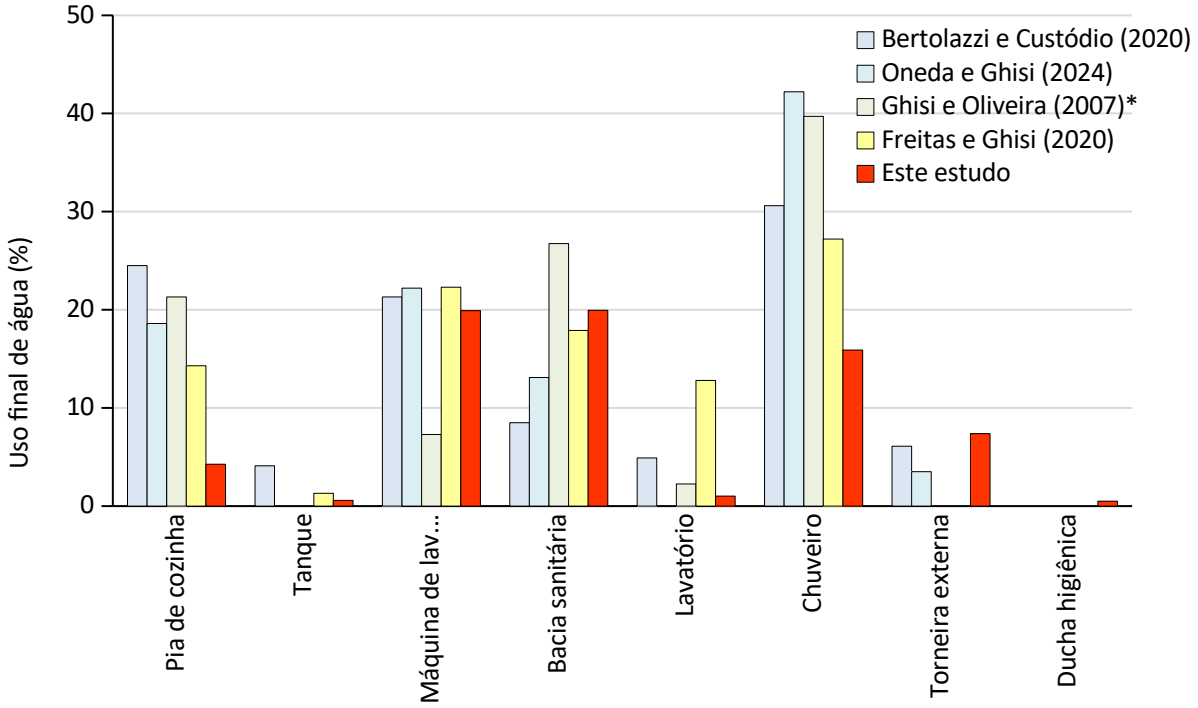
foi estimado com base nas tabelas do SINAPI (2024), utilizando os quantitativos de materiais gerados por meio de modelagem eletrônica. O tempo de retorno foi identificado como o momento em que o VPL acumulado se torna positivo, refletindo o prazo necessário para que os benefícios superem os custos iniciais. A Taxa Interna de Retorno (TIR) representa a rentabilidade mensal do investimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Usos finais de água da edificação

A análise dos hábitos de consumo semanal dos moradores permitiu identificar os usos finais com maior impacto no consumo total de água. Os três principais responsáveis pelo consumo foram as bacias sanitárias (19,95%), a máquina de lavar roupas (19,91%) e os chuveiros (15,90%). Juntos, esses três usos correspondem a 55,76% do total de água utilizada na residência. A Figura 3 mostra os usos finais de água calculados para a residência objeto deste estudo comparando-os com outros resultados da literatura. Na maioria dos estudos encontrados, os maiores percentuais de uso final de água ocorreram em bacias sanitárias, chuveiros e lava roupas (assim como os resultados obtidos neste estudo). As diferenças observadas entre os usos finais calculados neste estudo e outros da literatura podem estar relacionadas a contextos socioeconômicos, hábitos e condições climáticas diferentes. No estudo de Bertolazzi e Custódio (2020), por exemplo, foram analisados os usos finais de água em uma residência que, durante todo o dia, nenhum morador permanecia em casa.

Figura 3 – Usos finais de água em edificações residenciais unifamiliares



*Média aritmética das duas residências avaliadas pelos autores.

Fonte: Autores (2025)

Com base nesses percentuais, foi possível definir os usos que podem ser abastecidos com água pluvial, estabelecendo dois cenários de substituição. No cenário 1, que inclui bacias sanitárias,

irrigação do jardim e máquina de lavar roupas, o potencial de substituição de água potável por água pluvial alcança 47,24% do consumo total. O cenário 2 considera apenas bacias sanitárias e irrigação do jardim, representando 27,33% do consumo de água.

3.2 Potencial de economia de água potável

O sistema de aproveitamento de água pluvial foi dimensionado com base em uma área de captação de 294,94 m², composta por telhas cerâmicas esmaltadas (coeficiente de *runoff* de 0,95), e dados históricos de precipitação média anual de 1.544 mm. Com essas condições, o sistema projetado, utilizando reservatórios de 3000 L (inferior) e 500 L (superior), foi capaz de atender integralmente à demanda de água não potável da residência em 73,4% dos dias ao longo do ano. Isso representa um potencial real de economia de 35,6% sobre o total de água potável consumida no cenário 1 e 23,3% no cenário 2. Os volumes adotados foram definidos com base nas simulações feitas no programa Netuno e nas opções comerciais disponíveis, garantindo viabilidade hidráulica e construtiva. A substituição parcial da água potável por água pluvial reforça a eficiência do sistema, especialmente em usos como bacias sanitárias e lavanderia, que não exigem água tratada.

3.3 Viabilidade econômica do sistema

A análise financeira considerou o consumo total de 24 m³/mês para oito moradores. Com o uso de água pluvial estimado em 35,6%, o consumo de água potável reduz-se para 15,46 m³/mês. Esta mudança gera economia mensal líquida de R$ 100,42, considerando os valores tarifários da SAMAE e os descontos de operação do sistema (R$ 33,16/mês, incluindo energia da motobomba e cloro). O investimento inicial foi estimado em R$ 6.626,00, com base em preços do SINAPI e modelos comerciais dos equipamentos. Desse modo, o sistema apresentou um VPL positivo de R$ 6.849,89, com tempo de retorno do investimento de 55 meses e TIR de 1,83% ao mês, superior à TMA (0,93%/mês), indicando viabilidade econômica para a implementação do sistema de aproveitamento de água pluvial, considerando o cenário 1. No cenário 2, no entanto, o tempo de retorno do investimento foi de 109 meses, TIR de 0,75% e o VPL foi negativo (R$ -2.093,86). Assim, ao considerar um percentual menor do consumo de água potável a ser substituído por água pluvial (apenas bacias sanitárias e irrigação do jardim) a implementação do sistema não se mostrou viável economicamente.

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar, considerando o uso em bacias sanitárias, mangueiras e máquina de lavar roupas. O sistema projetado apresentou potencial de economia de água potável de 35,6% e consequente viabilidade econômica, com tempo de retorno de 55 meses, valor presente líquido positivo e taxa interna de retorno de 1,83% ao mês no cenário 1. Ao analisar o cenário 2, percebeu-se a necessidade de escolher adequadamente os parâmetros de dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial para garantir a viabilidade econômica. Entre as limitações, destacam-se a ausência de avaliação de manutenção técnica, variações climáticas não previstas e o uso de custos médios estimados, sem considerar flutuações de mercado ou incentivos fiscais. Para trabalhos futuros, recomenda-se expandir a aplicação para edificações multifamiliares, incluir tecnologias como reúso de água cinza e realizar análises econômicas mais completas, considerando políticas públicas de incentivo à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15527:2019 – **Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BCB. Banco Central do Brasil. **Taxa Selic**. 2024. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic. Acesso em: nov. 2024.

BERTOLAZZI, L.; CUSTÓDIO, D. A. Análise econômica de soluções para reduzir o consumo de água potável – estudo de caso de uma residência em Joinville – SC, **Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 197-217, 2020.

CUREAU, R. J.; GHISI, E. Electricity savings by reducing water consumption in a whole city: A case study in Joinville, Southern Brazil, ***Journal of Cleaner Production***, v. 261, p. 121194, 2020.

CUSTÓDIO, D. A.; GHISI, E. Potential for potable water savings using rainwater: a case study in a university building in Southern Brazil. ***Urban Water Journal***, v. 21, n. 2, p. 251–258, 2023.

FREITAS, D. A.; GHISI, E. Economic feasibility analysis of rainwater harvesting: a case study in Imbituba, Brazil, ***Urban Water Journal***, v. 17, n. 1, p. 905-911, 2020.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. de. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. ***Building and Environment***, v. 42, n. 4, p. 1731–1742, 2007.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. Netuno 4, **Programa computacional**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/. 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Inflação**. 2024. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php. Acesso em: nov. 2024.

KYLILI, A.; ILIC, M.; FOKAIDES, P. A. Whole-building Life Cycle Assessment (LCA) of a passive house of the sub-tropical climatic zone. ***Resources, Conservation and Recycling***, v. 116, p.169-177, jan. 2017.

MALANIMA, P. Energy in history. In: AGNOLETTI, M.; SERNERI, S. N. *(Ed.)*. ***The basic environmental history***. Heidelberg: Springer, 2014. p. 1-29.

MCCOOL, S. F.; CLARK, R. N.; STANKEY, G. H. ***Water and people: challenges at the interface of symbolic and utilitarian values***. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2008. 246 p.

ONEDA. T. M. S.; GHISI, E. Análise do sistema de aproveitamento de água pluvial a partir da medição dos usos finais de água, **Paranoá**, v. 17, 2024.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p.

SAMAE. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Serviços. Disponível em: https://www.samaepalhoca.com.br/servico/ligacao-de-agua. Acesso em: jul. 2024.

SILVA, M. C. S.; VAZ, I. C.; GHISI, E. Rainwater Harvesting in Social Housing: An Analysis Across Twelve Cities in Brazil, ***Environmental and earth sciences proceedings***, v. 32, n. 1, p. 4, 2025.

TESTON, A.; GERALDI, S. M.; COLASIO, B. M.; GHISI, E. Rainwater harvesting in buildings in Brazil: a literature review. ***Water***, v. 10, n. 4, p. 471, 2018.