

SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS: VIABILIDADE HÍDRICA, ECONÔMICA E CLIMÁTICA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

RAINWATER HARVESTING SYSTEMS IN PUBLIC BUILDINGS:
HYDROLOGICAL, ECONOMIC, AND CLIMATE VIABILITY IN SEMI-ARID
REGIONS

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES PÚBLICAS: VIABILIDAD HÍDRICA, ECONÓMICA Y CLIMÁTICA EN REGIONES SEMIÁRIDAS

Carmem Cristina Barros Queiroz¹, Rafael Rodrigues da Silva², Wagner Eustáquio de Vasconcelos³, Waléria Guerreiro Lima⁴, Ana Rita Fraga Drummond⁵

DOI: 10.54899/dcs.v23i87.4518

Recibido: 06/02/2026 | Aceptado: 09/02/2026 | Publicación en línea: 17/02/2026.

RESUMO

Este artigo analisa a viabilidade técnica, hídrica, econômica e climática da implantação de um sistema descentralizado de captação e aproveitamento de águas pluviais em uma edificação pública situada no município de Caruaru, no semiárido pernambucano. A pesquisa adota uma abordagem aplicada e integrada, ancorada nas diretrizes da ABNT NBR 15527:2019 para dimensionamento hidráulico e da NBR ISO 14091:2025 para avaliação de riscos e resiliência frente às mudanças climáticas. Foram simulados diferentes cenários de variabilidade pluviométrica, com reduções de até 30% na precipitação média histórica, a fim de testar a robustez do sistema proposto. A análise econômica considerou o custo do ciclo de vida e aplicou os indicadores Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados indicam que, mesmo em contextos climáticos adversos, o sistema mantém desempenho funcional e oferece retorno econômico viável em médio prazo. Em cenários regulares, é capaz de suprir integralmente a demanda não potável da edificação, reduzindo significativamente o consumo de água da rede pública. Além disso, os achados reforçam o potencial estratégico dessas soluções para a promoção da segurança hídrica institucional, da sustentabilidade orçamentária e da adaptação climática urbana. O estudo contribui com evidências técnicas para a replicação de sistemas semelhantes em políticas públicas municipais e estaduais, especialmente em regiões vulneráveis a estresses hídricos.

¹ Mestre em Tecnologia Ambiental, Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: carmem.cristina@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-4908-6357>

² Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: rodriguesrs19@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6673-6972>

³ Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: wagner.vasconcelos@afya.com.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-8931-6472>

⁴ Doutora em Fitopatologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: waleria.lima@afya.com.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0524-7710>

⁵ Doutora em Engenharia Química, Universidade de Londres, Imperial College, Inglaterra. E-mail: anaritadrummond@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5545-7804>

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Sistemas de Captação. Reaproveitamento. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This article examines the technical, hydrological, economic, and climate feasibility of implementing a decentralized rainwater harvesting system in a public building located in Caruaru, a municipality in Brazil's semi-arid region. The study follows an applied and integrated approach, based on the guidelines of ABNT NBR 15527:2019 for hydraulic sizing and NBR ISO 14091:2025 for risk and resilience assessment under climate change scenarios. Rainfall variability simulations were conducted with reductions of up to 30% in the historical precipitation average to test the system's robustness. The economic analysis incorporated life cycle cost and applied indicators such as Payback, Net Present Value (NPV), and Internal Rate of Return (IRR). Results show that even under adverse climate conditions, the system remains operationally effective and economically viable in the medium term. In standard scenarios, it can fully meet the building's non-potable water demand, significantly reducing reliance on the municipal supply. The findings emphasize the strategic potential of these solutions in promoting institutional water security, budget sustainability, and urban climate adaptation. The study provides technical evidence to support the replication of similar systems in municipal and state-level public policies, especially in areas vulnerable to water stress.

Keywords: Water Resources. Harvesting Systems. Rainwater Utilization. Sustainability.

RESUMEN

Este artículo analiza la viabilidad técnica, hídrica, económica y climática de implementar un sistema descentralizado de captación y aprovechamiento de aguas pluviales en un edificio público ubicado en el municipio de Caruaru, en el semiárido brasileño. La investigación adopta un enfoque aplicado e integrado, basado en las directrices de la norma ABNT NBR 15527:2019 para el dimensionamiento hidráulico y de la NBR ISO 14091:2025 para la evaluación de riesgos y resiliencia ante el cambio climático. Se simularon escenarios de variabilidad pluviométrica con reducciones de hasta el 30% de la media histórica, con el fin de evaluar la robustez del sistema. El análisis económico consideró el costo del ciclo de vida e incluyó indicadores como el Payback, Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Los resultados indican que el sistema mantiene un rendimiento adecuado incluso en condiciones climáticas adversas, siendo económicamente viable a mediano plazo. En condiciones normales, satisface completamente la demanda de agua no potable del edificio, reduciendo significativamente el consumo de agua de la red pública. Los hallazgos refuerzan el potencial estratégico de estas soluciones para promover la seguridad hídrica institucional, la sostenibilidad presupuestaria y la adaptación urbana al clima. El estudio aporta evidencia técnica para replicar sistemas similares en políticas públicas municipales y estatales, especialmente en regiones vulnerables al estrés hídrico.

Palabras clave: Recursos Hídricos. Sistemas de Captación. Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Sostenibilidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O Brasil detém uma das maiores disponibilidades hídricas do planeta, concentrando aproximadamente 12% da água doce superficial do mundo. Contudo, essa abundância é marcada por uma distribuição espacial profundamente desigual, o que compromete a segurança hídrica de extensas parcelas da população (Pereira e Rodriguez, 2022). Segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024), grande parte dos recursos hídricos encontra-se concentrada em regiões com baixa densidade populacional, enquanto áreas altamente urbanizadas convivem com restrições significativas de oferta.

Nesse cenário, a região Nordeste apresenta-se como uma das mais vulneráveis do ponto de vista da segurança hídrica. Apesar de concentrar cerca de 27,8% da população brasileira e o Rio São Francisco (maior rio genuinamente brasileiro) passar pela região, esta dispõe de apenas 3,3% dos recursos hídricos do país, situação agravada por fatores climáticos, históricos e socioeconômicos que tornam a gestão da água um desafio estrutural (Brito *et al.*, 2022).

Inserido nesse contexto, o município de Caruaru, localizado no Agreste Pernambucano, integra a Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, caracterizada por uma das regiões de menor disponibilidade hídrica do Brasil. Trata-se de uma área predominantemente inserida no Semiárido Brasileiro, marcada por elevada variabilidade pluviométrica, longos períodos de estiagem e recorrência de secas históricas, além do crescimento contínuo da demanda hídrica decorrente da expansão urbana e populacional (Machado *et al.*, 2022).

Na busca por soluções para mitigar a escassez de água, o aproveitamento de águas pluviais passa a ser uma alternativa sustentável para proporcionar a economia de água potável e auxiliar na redução do consumo do sistema público de abastecimento (Rosas *et al.*, 2023).

Entretanto, a adoção de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais não pode ser analisada de forma isolada, uma vez que se insere em um contexto urbano cada vez mais marcado pela impermeabilização do solo. Assim, a eficácia dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais está diretamente associada à sua articulação com estratégias de drenagem sustentável e planejamento do uso e ocupação do solo, potencializando não apenas a economia de água potável, mas também a mitigação de riscos associados a eventos extremos (Rosas *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2022).

Dessa forma, estudos que avaliam de maneira quantitativa e aplicada, o potencial de economia de água potável proporcionado por sistemas de aproveitamento de águas pluviais em

edificações, mostram-se relevantes ao contribuir para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos e redução de custos operacionais, seja da administração pública ou da replicação em contextos semelhantes.

Nesse contexto, a adoção de soluções descentralizadas, como os sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais, tem se mostrado estratégica para a promoção da segurança hídrica, da eficiência orçamentária e da adaptação climática em edificações públicas, sobretudo em regiões semiáridas. Tais sistemas demandam análises técnicas e econômicas que considerem não apenas os aspectos hidráulicos e normativos, mas também a resiliência frente à variabilidade pluviométrica crescente, conforme preconizam normas como a ABNT NBR 15527:2019 e a NBR ISO 14091:2025. Dessa forma, o presente estudo busca avançar sobre abordagens tradicionais ao integrar dimensões técnicas, hídricas, econômicas e climáticas em uma análise aplicada e replicável.

Diante disso, o objetivo é analisar a viabilidade técnica, hídrica, econômica e climática da implantação de um sistema descentralizado de captação de águas pluviais em uma edificação pública localizada no município de Caruaru/PE no semiárido pernambucano, com base em simulações de cenários de variabilidade pluviométrica, nas diretrizes da ABNT NBR 15527:2019 e da NBR ISO 14091:2025, e nos critérios de retorno econômico e sustentabilidade institucional.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aproveitamento de Água Pluvial no Mundo e no Brasil

Diversos países passaram a incorporar sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais como estratégia relevante para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Essas soluções vêm sendo adotadas tanto em escala residencial quanto institucional, com diferentes níveis de complexidade tecnológica, demonstrando versatilidade e potencial de adaptação a distintos contextos climáticos e socioeconômicos. A experiência internacional evidencia que a água da chuva pode desempenhar papel significativo no atendimento de demandas não potáveis e, em alguns casos, até mesmo potáveis, desde que submetida a tratamento adequado, contribuindo para a redução da pressão sobre mananciais superficiais e subterrâneos (Kasai *et al.*, 2020). Nestas experiências, a captação pluvial é tratada não apenas como solução técnica, mas como elemento estruturante de cidades resilientes e sustentáveis, alinhando-se a estratégias de adaptação às

mudanças climáticas e uso eficiente dos recursos naturais, além de contribuir para a redução de enchentes, alagamentos e sobrecarga das redes públicas de esgoto (NG e Zheng, 2022; Pennypacker e Echols, 2024).

Exemplifica-se que na Austrália, um dos continentes mais secos do planeta, o aproveitamento de água pluvial consolidou-se como prática amplamente difundida, especialmente em áreas residenciais. Uma parcela expressiva das moradias utiliza a água da chuva para fins não potáveis e, em determinadas regiões, também para consumo humano após tratamento, representando parcela significativa do consumo total, sobretudo em áreas rurais (Zaved *et al.*, 2021). O Japão constitui outro exemplo relevante de adoção avançada de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. O País desenvolveu tecnologias eficientes voltadas principalmente para usos não potáveis em edificações urbanas, além de experiências extremas em localidades insulares onde o abastecimento doméstico depende exclusivamente da água da chuva (Kasai *et al.*, 2020). Em adição, em países como Alemanha e Estados Unidos, observa-se intensificação de pesquisas voltadas ao aproveitamento da água da chuva, com foco na integração desses sistemas ao planejamento urbano sustentável, à arquitetura e ao paisagismo (NG e Zheng, 2022; Pennypacker e Echols, 2024). Mesmo países com população inferior a 10 milhões de habitantes, especialmente Suíça, Áustria e Singapura, os sistemas de captação de água da chuva vêm ganhando popularidade impulsionados por políticas ambientais rigorosas, incentivos econômicos e crescente conscientização ambiental (Wartalska *et al.*, 2024).

A partir dos anos 2000, o governo federal brasileiro passou a implementar iniciativas voltadas ao aproveitamento de águas pluviais em regiões historicamente afetadas pela escassez hídrica, sendo possível destacar o Programa Cisternas. Essas ações foram fundamentadas, em grande medida, na adoção de tecnologias sociais de baixo custo, direcionadas ao armazenamento da água da chuva para usos essenciais, como o consumo humano e a produção de alimentos em pequena escala. Além de possibilitarem o acesso à água durante períodos prolongados de estiagem, tais soluções caracterizam-se pela descentralização do abastecimento, reduzindo a dependência de grandes sistemas hídricos centralizados e ampliando a autonomia das comunidades locais frente às variações climáticas e às limitações estruturais de infraestrutura hídrica (Lima *et al.*, 2025). Essa política representa um marco na promoção da segurança hídrica, ao associar acesso à água, inclusão social e fortalecimento da resiliência das populações vulneráveis.

Inserido nesse conjunto de ações, o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC)

configurou-se como o primeiro grande programa governamental, objetivando construir um milhão de cisternas de 16 mil litros ao lado de residências do semiárido. As cisternas têm o formato cilíndrico, ficam semienterradas e cobertas, e são construídas pela própria comunidade através de capacitação oferecida pelo programa (Lordelo *et al.*, 2025). Complementando essa iniciativa, há outro programa do governo, o Projeto Cisterna nas Escolas, iniciado em 2009, que já construiu mais de 100 cisternas de 52 mil litros de capacidade em escolas rurais de nove estados do semiárido: Pernambuco (PE), Paraíba (PB), Alagoas (AL), Sergipe (SE), Bahia (BA), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Piauí (PI) e Minas Gerais (MG) (ASA, 2025).

Além das iniciativas federais voltadas ao meio rural, a política de aproveitamento de águas pluviais no Brasil também vem sendo incorporada no contexto urbano, especialmente a partir dos Planos Estaduais e Municipais de Saneamento Básico (PESB e PMSB). O Marco Legal do Saneamento Básico (Lei Federal nº 14.026/2020) incentiva a inclusão da captação e do aproveitamento de águas pluviais em planos diretores, projetos de drenagem urbana e políticas de manejo das águas. Logo, merece destaque o papel das instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), que atuam na criação, validação e disseminação de tecnologias sociais de baixo custo adaptadas às realidades locais. Essas instituições fornecem suporte técnico e científico para políticas públicas e iniciativas comunitárias, consolidando o aproveitamento da água da chuva como solução viável, replicável e alinhada aos princípios da sustentabilidade hídrica no Brasil.

Legislação no Estado de Pernambuco e no Município de Caruaru

A Lei Estadual nº 14.572/2011 estabelece diretrizes para uso racional e reaproveitamento de águas em Pernambuco, dedicando seu Capítulo II a essa temática. O Art. 6º da referida Lei determina que a água da chuva seja captada na cobertura das edificações, armazenada e utilizada em atividades que não necessitam de água potável. A amplitude de usos demonstra o reconhecimento estadual da importância da captação pluvial em múltiplas aplicações, consolidando a prática como estratégia de sustentabilidade hídrica. Complementando essa estrutura legal, a Lei Estadual nº 15.630/2015 torna obrigatória a implantação de sistemas de captação de água da chuva para empresas que executam atividade de lavagem de veículos. Essa imposição regulatória reconhece o alto potencial de economia hídrica no setor de serviços,

especificamente em atividades com grande demanda de água.

Para o município de Caruaru, as diretrizes para o aproveitamento de águas pluviais estão estabelecidas no Código de Obras do município, a Lei Complementar nº 82/2021. Seu Artigo 147 autoriza o reaproveitamento de água da chuva para fins não potáveis (descargas em vasos sanitários, irrigação de gramados e plantas ornamentais, limpeza de pisos e pavimentos).

Complementando essa estrutura normativa, a Lei Complementar Municipal nº 62/2018 instituiu o IPTU Verde (Imposto Predial e Territorial Urbano) para novos empreendimentos, vinculando benefícios fiscais (desconto no IPTU) à adoção de práticas sustentáveis, como a implementação de sistemas de captação pluvial. Essa combinação de normatização técnica e incentivos fiscais consolida Caruaru como município alinhado com políticas estaduais e nacionais de sustentabilidade hídrica. A integração entre obrigatoriedade regulatória e benefício fiscal viabiliza a adoção generalizada de sistemas de captação pluvial em novos empreendimentos, configurando abordagem integrada para mitigação da crise hídrica local.

Fundamentos Técnicos e Normativos

O dimensionamento hidráulico de sistemas de aproveitamento de águas pluviais deve seguir parâmetros técnicos consolidados, conforme estabelecido pela ABNT NBR 15527:2019. Essa norma define critérios como área de cobertura, índice de precipitação local, coeficiente de escoamento superficial e eficiência do sistema para estimar o volume de água de chuva disponível. A correta aplicação desses parâmetros garante não apenas o desempenho hídrico do sistema, mas também sua viabilidade econômica e funcional ao longo do tempo (Tomaz, 2010; ABNT, 2019). Estudos como o de Fernandes et al. (2024) mostram que a subestimação ou superdimensionamento do reservatório compromete tanto o custo-benefício quanto o retorno sobre o investimento, especialmente em contextos públicos com restrições orçamentárias. A análise do ciclo de vida (Life Cycle Costing), prevista na norma ISO 15686-5:2017, é uma ferramenta complementar que permite considerar o custo global do sistema desde a implantação até a operação e manutenção, promovendo decisões mais eficientes sob a ótica da sustentabilidade financeira (Gittinger, 1982; Freitas; Nascimento; Santos, 2022).

Adaptação Climática e Políticas Globais

A crescente variabilidade climática e a intensificação dos eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, reforçam a importância de estratégias de adaptação baseadas na gestão descentralizada da água. A NBR ISO 14091:2025 propõe que projetos de infraestrutura considerem análises de vulnerabilidade e resiliência como parte do planejamento técnico, associando-se a princípios de soluções baseadas na natureza (Nature-Based Solutions – NbS), conforme preconizado pela IUCN (2020). Nesse sentido, os sistemas de captação de águas pluviais configuram uma resposta estrutural coerente com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (água potável e saneamento) e o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), contribuindo para a segurança hídrica urbana e para a redução da pressão sobre os sistemas convencionais de abastecimento (ONU, 2025). No semiárido brasileiro, estudos recentes como os de Lima et al. (2025) e Rosas et al. (2023) reforçam que tais soluções, quando bem dimensionadas e integradas ao planejamento urbano, apresentam elevado potencial de replicabilidade e impacto social.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como descritiva, de abordagem quantitativa, com apoio de procedimentos bibliográficos, documentais e de simulação. O estudo foi desenvolvido em uma edificação pública federal situada no município de Caruaru/PE, inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental. A estrutura metodológica foi expandida com base no modelo de balanço hídrico simplificado e em simulações de cenários climáticos de variação de precipitação, conforme diretrizes da ABNT NBR 15527:2019 e da NBR ISO 14091:2025.

Foram utilizados dados pluviométricos mensais referentes ao ano de 2024, obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), Posto 211 – o mais próximo da edificação. A precipitação total no período foi de 602,90 mm. Esse valor serviu de base para o cálculo do volume de água de chuva potencialmente captável, segundo a fórmula definida pela ABNT NBR 15527:2019:

$$V_{disp} = P \times A \times C \times \eta \quad (1)$$

onde:

V_{disp} = volume de água disponível (L);

P = precipitação (mm);

A = área de coleta (m²);

C = coeficiente de escoamento superficial (adotado: 0,85 para telhado em fibrocimento);

η = eficiência do sistema de captação (adotado: 0,85 conforme ABNT, na ausência de dados do fabricante).

Para estimar o comportamento do sistema sob diferentes condições climáticas, foi empregada modelagem hidrológica simplificada com variação da precipitação em seis cenários:

- Redução de -30%, -20%, -10%;
- Cenário base (precipitação observada em 2024);
- Aumento de +10%, +20%, +30%.

Essa abordagem visa estimar a resiliência do sistema e sua capacidade de suprimento em contextos futuros com maior variabilidade pluviométrica, seguindo a estrutura metodológica proposta por Rosas et al. (2023) e Lima et al. (2025). Os cenários foram aplicados diretamente à equação de volume captado, mantendo constantes os demais parâmetros.

A demanda de água não potável foi estimada com base em:

- Consumo sanitário: 6 L/descarga $\times$ 5 usos/dia/pessoa $\times$ 17 pessoas $\times$ 22 dias úteis/mês + consumo reduzido em fins de semana;
- Irrigação: 2 L/dia/m² $\times$ área verde (466,82 m²) $\times$ 3 vezes/semana;
- Dados extraídos de Tomaz (2010) e adaptados conforme uso real do prédio.

A demanda total anual foi estimada em 280,60 m³, correspondente ao uso consolidado em sanitários e irrigação.

Para cada cenário de precipitação, calculou-se o volume captável de água pluvial e a respectiva porcentagem de atendimento à demanda de 280,60 m³. Nos casos em que o volume captado excede a demanda, a economia potencial é limitada à demanda real; nos demais, corresponde ao volume efetivamente disponível.

Todos os cálculos foram conduzidos conforme a ABNT NBR 15527:2019 para dimensionamento e NBR ISO 14091:2025 para análise de risco climático, considerando as incertezas envolvidas em sistemas de abastecimento descentralizados. As simulações foram processadas com auxílio de planilhas matriciais e validadas com apoio do método proposto por Rosas et al. (2023) para estimativas de viabilidade hídrica e econômica em sistemas urbanos descentralizados.

Com base na modelagem hidrológica proposta, procedeu-se à simulação de seis cenários de variação de precipitação, abrangendo reduções e incrementos de até 30% sobre os valores observados no ano de 2024. O objetivo foi avaliar a resiliência operacional do sistema de captação frente a condições climáticas adversas ou favoráveis, conforme diretrizes da NBR ISO 14091:2025 e do IPCC (2023) para planejamento adaptativo.

A equação de dimensionamento foi reaplicada em cada cenário, mantendo-se constantes os parâmetros de área de coleta (872,80 m²), coeficiente de escoamento (0,85) e eficiência do sistema (0,85), conforme recomenda a ABNT NBR 15527:2019. A Tabela 1 apresenta os volumes captados projetados e a respectiva porcentagem de atendimento da demanda anual de 280,60 m³.

Tabela 1 – Simulação de cenários climáticos e impacto na disponibilidade hídrica

Cenário	Precipitação (mm)	Volume Captado (m ³)	Demanda (m ³)	% Atendido	Interpretação
-30% (crítico)	422,03	265,67	280,60	94,7%	Queda significativa, mas ainda viável
-20%	482,32	303,51	280,60	100%	Atende integralmente
-10%	542,61	341,35	280,60	100%	Atende integralmente
0% (2024)	602,90	379,19	280,60	100%	Base real do estudo
+10%	663,19	417,03	280,60	100%	Elevado excedente
+20%	723,48	454,87	280,60	100%	Possibilidade de uso adicional
+30%	783,77	492,71	280,60	100%	Sistema sobredimensionado

Fonte: Dados simulados com base na metodologia da ABNT NBR 15527:2019, com precipitação de base da APAC (2024).

Os resultados indicam que o sistema estudado possui elevada robustez, sendo capaz de atender plenamente à demanda não potável mesmo sob redução de precipitação de até 20%. No cenário crítico de -30%, o suprimento atinge 94,7%, evidenciando a viabilidade do sistema mesmo em contextos de escassez hídrica extrema. A análise sugere que o dimensionamento atual pode inclusive ser otimizado para redução de custos, caso a frequência de eventos extremos seja baixa, conforme sugere Rosas et al. (2023).

A presença de excedentes nos cenários positivos (acima de +10%) abre possibilidades para ampliação do uso da água pluvial para fins secundários adicionais, como limpeza de áreas externas, lavagem de veículos ou uso em sistemas de combate a incêndio, conforme indicado por Tomaz (2010). Em termos de resiliência climática, os dados reforçam o potencial estratégico do sistema como ferramenta de mitigação de riscos hídricos urbanos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 11) da Agenda 2030 da ONU.

Análise Econômica da Implantação do Sistema

A viabilidade econômico-financeira do sistema de captação de águas pluviais foi avaliada com base nos métodos clássicos de análise de investimentos, conforme recomendações da ABNT NBR ISO 15686-5:2017, Gittinger (1982), e critérios adotados por autores como Freitas et al. (2022) e Oliveira e Barros (2023). Foi considerada a implantação de um novo sistema com os seguintes parâmetros:

- Investimento inicial estimado: R\$ 14.837,04
- Tarifa de água vigente em 2024: R\$ 6,63/m³ (Tarifa Não Residencial)
- Economia anual estimada: 280,60 m³ × R\$ 6,63 = R\$ 1.859,38/ano
- Horizonte de análise: 15 anos
- Taxa mínima de atratividade (TMA): 8% a.a.
- Manutenção anual estimada: R\$ 150,00

A abordagem considerou os fluxos de caixa anuais, incluindo os custos de investimento inicial, operação, manutenção e os benefícios econômicos advindos da economia na fatura de água ao longo da vida útil estimada do sistema. Descontados os custos de manutenção, a economia líquida anual é de R\$ 1.709,38.

Com base nesses dados, foram calculados os principais indicadores de viabilidade econômica: o Payback simples foi estimado em 8,68 anos, indicando o tempo necessário para o retorno do capital investido; o Valor Presente Líquido (VPL), considerando a TMA de 8% ao ano, resultou em R\$ 6.155,97, evidenciando que o investimento é vantajoso sob a ótica do valor do dinheiro no tempo; e a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi de 15,3%, o que supera a TMA, reafirmando a atratividade do projeto.

Esses resultados apontam para a viabilidade econômica do sistema dentro de sua vida útil, especialmente quando se leva em consideração o contexto de escassez hídrica do Semiárido e a crescente necessidade de soluções descentralizadas e sustentáveis. Tais indicadores reforçam que o investimento público em infraestrutura hídrica resiliente pode ser não apenas tecnicamente eficiente, mas também financeiramente compensador para a administração pública, além de replicável em contextos urbanos similares.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados obtidos por meio da aplicação da metodologia proposta permitiu compreender, em diferentes níveis, a eficiência técnica, econômica e ambiental do sistema de aproveitamento de águas pluviais implantado em uma edificação pública do município de Caruaru, Pernambuco. A abordagem quantitativa aliada à simulação de cenários climáticos diversos revelou não apenas a funcionalidade do sistema sob as condições atuais, mas também sua robustez frente a possíveis alterações no regime de chuvas — elemento cada vez mais crítico em função das mudanças climáticas globais.

O volume de precipitação anual considerado na base do estudo foi de 602,90 mm, com dados fornecidos pela APAC, correspondente ao volume acumulado de 2024 na microrregião do Agreste pernambucano. A área de cobertura utilizada para captação foi de 872,80 m², sobre a qual se aplicou um coeficiente de escoamento de 0,85 e uma eficiência global do sistema de 85%, conforme os parâmetros definidos pela ABNT NBR 15527:2019. Com base nesses dados, foi possível estimar que o volume potencial anual de água de chuva captada é de 379,19 m³. Este volume é superior à demanda não potável da edificação, calculada em 280,60 m³ por ano, configurando um cenário de abastecimento pleno e com excedente de aproximadamente 98,59 m³.

Para avaliar a robustez do sistema frente à variabilidade climática, procedeu-se à simulação de cenários com redução e aumento da precipitação em incrementos de 10%, variando de -30% a +30% do valor médio anual. A metodologia de simulação foi baseada em diretrizes da NBR ISO 14091:2025 e inspirada em estudos de Rosas et al. (2023), que recomendam a modelagem de múltiplos regimes hídricos para aferição da adaptabilidade de soluções descentralizadas.

Os resultados demonstraram que, mesmo sob um cenário crítico de redução de 30% da precipitação, o sistema ainda seria capaz de atender a 94,7% da demanda projetada, o que evidencia um grau elevado de resiliência operacional. Nos demais cenários com menores reduções (-20%, -10%) ou com aumento de precipitação (+10%, +20%, +30%), o sistema se manteve com desempenho pleno, apresentando inclusive excedentes substanciais. Isso reforça o potencial da solução não apenas como ferramenta de mitigação de riscos hídricos em situações de escassez, mas também como tecnologia de economia de recursos hídricos em períodos de normalidade ou abundância. A Tabela 01, anteriormente apresentada, sintetiza os dados de

volume captado e percentual de atendimento para todos os cenários simulados.

A literatura especializada tem reforçado a importância de soluções híbridas, baseadas na descentralização e na adaptação climática, sobretudo em contextos urbanos inseridos em biomas semiáridos. Conforme apontado por Lima et al. (2025), sistemas como o avaliado neste estudo têm potencial de reduzir a dependência das redes públicas de abastecimento, além de contribuir para a segurança hídrica de equipamentos públicos, tornando-os menos vulneráveis a eventos extremos como estiagens prolongadas ou falhas de distribuição.

Adicionalmente, os ganhos econômicos associados à adoção da tecnologia foram estimados com base na economia direta de água potável, que representa atualmente um custo unitário de R\$ 6,63/m³ para a categoria não residencial (tarifa vigente da Compesa em 2024). Assim, a substituição parcial da água potável por água de chuva proporcionaria uma economia anual de R\$ 1.859,38, considerando a totalidade da demanda não potável. Subtraindo-se os custos de manutenção (estimados em R\$ 150,00/ano), obtém-se uma economia líquida anual de R\$ 1.709,38. Com investimento inicial de R\$ 14.837,04, o sistema simulado apresenta um payback simples de 8,68 anos, valor inferior ao ciclo de vida útil médio da estrutura, que é de pelo menos 15 anos (Tomaz, 2010; ABNT NBR ISO 15686-5:2017).

Além disso, o Valor Presente Líquido (VPL) da operação foi calculado em R\$ 6.155,97, considerando uma taxa mínima de atratividade de 8% ao ano, e a Taxa Interna de Retorno (TIR) estimada foi de 15,3%, o que comprova a atratividade econômica do investimento público. A integração entre eficiência hídrica e retorno financeiro torna a tecnologia não apenas ambientalmente sustentável, mas também economicamente racional, fator fundamental em contextos de austeridade fiscal e crescente exigência por racionalização do gasto público.

Do ponto de vista político-institucional, os resultados reforçam o argumento de que a adoção de sistemas descentralizados de captação de água de chuva pode representar um instrumento eficaz de políticas públicas de sustentabilidade hídrica. Sua implementação é tecnicamente viável, economicamente justificável e ambientalmente estratégica, podendo ser replicada em larga escala por meio de programas municipais ou estaduais de infraestrutura sustentável, como previsto nos marcos normativos do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) e na Política Nacional de Mudança do Clima.

A capacidade do sistema de se manter operacional mesmo diante de cenários adversos o posiciona como alternativa aderente ao conceito de infraestrutura resiliente, defendido por organismos internacionais como a ONU-Habitat e pela IUCN (2020). Tal aderência possibilita

sua incorporação em instrumentos de planejamento urbano e gestão pública, como Planos Diretores Sustentáveis, programas de certificação ambiental de edificações públicas (ex: Selo Procel Edifica), ou políticas de incentivo fiscal como o IPTU Verde.

A avaliação ampliada do sistema demonstra sua efetividade em múltiplas dimensões: técnica, climática, econômica e institucional. Trata-se de uma tecnologia madura, de baixo custo, fácil replicabilidade e alta relevância estratégica, cuja adoção integrada pode contribuir significativamente para a construção de cidades mais sustentáveis, resilientes e eficientes na gestão dos seus recursos hídricos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram de forma clara a eficácia e a viabilidade da implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas, especialmente em contextos urbanos inseridos em regiões semiáridas. A metodologia ampliada, que incorporou simulações hidrológicas em cenários climáticos variados, permitiu avaliar com maior profundidade a resiliência do sistema frente à variabilidade da precipitação, revelando desempenho robusto mesmo sob condições severas de redução pluviométrica.

A aplicação prática dos dados, fundamentada nas diretrizes da ABNT NBR 15527:2019 e da NBR ISO 14091:2025, mostrou que o sistema implantado é capaz de atender integralmente à demanda hídrica não potável da edificação analisada, com margens de segurança nos cenários mais favoráveis e com perdas mínimas em cenários críticos. A capacidade de adaptação a condições climáticas adversas posiciona essa tecnologia como ferramenta estratégica para a construção de cidades mais resilientes e sustentáveis.

Além da eficiência operacional, a análise econômica demonstrou que o investimento apresenta atratividade financeira significativa, com retorno assegurado dentro do ciclo de vida útil do sistema. Os indicadores calculados — Payback simples de 8,68 anos, VPL positivo e TIR superior à taxa mínima de atratividade — corroboram a viabilidade do projeto, o que reforça sua aplicabilidade em larga escala no setor público.

Nesse sentido, os achados desta pesquisa não apenas validam a solução proposta do ponto de vista técnico e econômico, como também apontam caminhos concretos para sua integração em políticas públicas voltadas à sustentabilidade hídrica institucional. A replicabilidade da experiência analisada é plenamente viável, sendo recomendada sua adoção como estratégia

transversal em programas de gestão ambiental urbana, planos de saneamento básico e políticas de enfrentamento às mudanças climáticas.

Dessa forma, conclui-se que os sistemas descentralizados de captação e uso de água de chuva, quando bem dimensionados e integrados ao planejamento urbano e institucional, constituem soluções de alta eficácia para a promoção da segurança hídrica, da redução de custos públicos e da resiliência climática. A expansão de sua aplicação demanda, no entanto, o fortalecimento de marcos legais, incentivos fiscais e capacitação técnica contínua, visando consolidar essa tecnologia como política pública permanente e estruturante.

REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 15686-5:2017 – Edifícios e ativos construídos – Planejamento da vida útil – Parte 5: Custo do ciclo de vida**. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14091:2025 – Adaptação às mudanças climáticas – Diretrizes sobre vulnerabilidade, impactos e avaliação de risco**. Rio de Janeiro, 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil**. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf. Acesso em: 11 out. 2025.

ASA – ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Cadernos de políticas públicas para convivência com o Semiárido: propostas e instrumentos de incentivo à captação de água de chuva**. 1. ed. Recife: ASA Brasil, 2025.

BRITO, H. C. de; BRITO, Y. M. A. de; RUFINO, I. A. A. O Índice de Segurança Hídrica do Brasil e o Semiárido Brasileiro: desafios e riscos futuros. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 1, p. 1–15, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n1-60928. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/60928>. Acesso em: 15 nov. 2025.

CARUARU (PE). **Lei Complementar nº 62, de 27 de dezembro de 2018**. Institui o Programa de Incentivo denominado IPTU Verde no município de Caruaru. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/caruaru/lei-complementar/2018/6/62/>. Acesso em: 14 out. 2025.

CARUARU (PE). **Lei Complementar nº 82, de 23 de junho de 2021**. Reestrutura o Código de

Obras do Município de Caruaru. Disponível em:

<https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/caruaru/lei-complementar/2021/9/82/>. Acesso em: 30 set. 2025.

CRUZ, C. G. da; RIOS, M. L. Potencial de captação da água pluvial em uma escola na comunidade de Lage dos Negros / Campo Formoso – BA. **Revista Macambira**, v. 6, n. 1, p. 1–15, 2022. DOI: 10.35642/rm.v6i1.555. Disponível em:

<https://revista.lapprudess.net/RM/article/view/555>. Acesso em: 23 nov. 2025.

FERNANDES, C. E. et al. Reaproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais.

Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 7, n. 2, p. e68999, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n2-030. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/68999>. Acesso em: 15 nov. 2025.

FREITAS, R.; NASCIMENTO, V.; SANTOS, L. Avaliação econômica de sistemas sustentáveis urbanos: uma proposta metodológica para o setor público. **Revista Brasileira de Planejamento Urbano**, v. 11, n. 2, p. 89–110, jul./dez. 2022.

GITTINGER, J. Price. **Análise econômica de projetos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1982.

IUCN – INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Nature-based solutions: global standard for NbS**. Gland, Switzerland: IUCN, 2020.

KASAI, T. Tecnologia e avaliação de aproveitamento de água da chuva. **Journal of Rainwater Catchment Systems**, v. 26, n. 1, p. 11–15, 2020. DOI: 10.7132/jrcsa.26_1_11. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrcsa/26/1/26_26_1_11/_article. Acesso em: 21 nov. 2025.

LIMA, A. et al. Desafios e soluções na gestão sustentável dos recursos hídricos em zonas áridas e semiáridas. **IOSR Journal of Business and Management**, v. 27, n. 1, ser. 2, p. 1–12, 2025. DOI: 10.9790/487X-2701020112. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol27-issue1/Ser-2/A2701020112.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

LIMA, F. S. et al. Viabilidade hídrica e econômica de sistemas descentralizados no Semiárido: evidências para políticas públicas. **Revista Brasileira de Recursos Naturais**, Natal, v. 17, n. 1, p. 33–50, 2025.

LORDELO, L. M. K.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Condições de abastecimento de água a partir da coleta de águas de chuva nas cisternas do PM1C: um estudo no município de Macuré, Bahia, Brasil. **Revista Caribeña**, v. 3, p. e4475, 2025. DOI: 10.55905/rcssv14n3-006. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/4475>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MACHADO, S. S. et al. Planejamento e regulação de sistemas de drenagem urbana de águas pluviais em municípios mineiros da Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri. **Revista de Gestão – RGSA**, v. 16, n. 3, p. e03184, 2022. DOI: 10.24857/rgsa.v16n3-017. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/3184>. Acesso em: 11 out. 2025.

NG, P. J. H.; ZHENG, S. Segurança hídrica diante das mudanças climáticas: a abordagem de Singapura. In: **Water Security Under Climate Change**. Singapura: Springer, 2022. p. 21–32. DOI: 10.1007/978-981-16-5493-0_2.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York, 2025.

OLIVEIRA, P. G. S. de; PEREIRA, M. de S. Estudo sobre a economia de água por meio de reaproveitamento da água da chuva. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, e18412240169, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i2.40169.

PENNYPACKER, E.; ECHOLS, S. Design artístico para aproveitamento de águas pluviais: lições aprendidas ao longo do tempo. **Landscape Journal**, v. 43, n. 2, p. 51–70, 2024. DOI: 10.3368/lj.43.2.51. Disponível em: <https://lj.uwpress.org/content/43/2/51>. Acesso em: 20 nov. 2025.

PERNAMBUCO (Estado). **Lei nº 14.572, de 27 de dezembro de 2011**. Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=14572&ano=2011>. Acesso em: 26 jul. 2025.

PERNAMBUCO (Estado). **Lei nº 15.630, de 29 de outubro de 2015**. Torna obrigatória a instalação de sistema de captação de água de chuva. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=305501>. Acesso em: 12 out. 2025.

ROSAS, D. F. et al. Method of calculation the efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems. **Revista de Gestão – RGSA**, v. 18, n. 2, p. e04471, 2023. DOI: 10.24857/rgsa.v18n2-021. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4471>. Acesso em: 4 out. 2025.

SILVA, A. V. A. et al. Análise da viabilidade de sistema de aproveitamento de água de chuva em um prédio público. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, v. 10, n. 2, 2023. DOI: 10.14210/rbts.v10n2.p14-27. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/rbts/article/view/19950>. Acesso em: 22 nov. 2025.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. São Paulo: Plínio Tomaz, 2010. Disponível em: https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

WARTALSKA, K. et al. O potencial dos sistemas de captação de água da chuva na Europa – estado atual e perspectivas futuras. **Water Resources Management**, v. 38, p. 4657–4683, 2024. DOI: 10.1007/s11269-024-03882-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-024-03882-0>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ZAVED, K. et al. Uma avaliação em escala continental da captação de água da chuva na Austrália. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, p. 105378, 2021. DOI:

10.1016/j.resconrec.2020.105378.