XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise da viabilidade econômica do aproveitamento da água de chuva para diferentes cidades de regiões do Brasil

Economic feasibility Analysis of rainwater use in different regions of Brazil

Rafael Krüegel Leite
Universidade Federal de Catalão | Catalão | Brasil |rafaelkruegeleng@gmail.com
Klaus Newman da Luz
Universidade Federal de Catalão | Catalão | Brasil | klausnewman@gmail.com
Heber Martins de Paula
Universidade Federal de Catalão | Catalão | Brasil |heberdepaula@ufcat.edu.br
Ricardo Prado Abreu Reis
Universidade Federal de Goiás | Goiânia | Brasil |ricardo_reis@ufg.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da implantação do Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) em diferentes regiões do Brasil. Para o dimensionamento dos reservatórios considerou-se o método de cálculo de balanços hídricos e a metodologia Yield After Spillage (YAS), que consiste em considerar o consumo depois do enchimento do reservatório, além de critérios de projeto conforme [1]. Comparando-se consumos e custos avaliou-se a viabilidade econômica para os cenários. Concluiu-se que, quanto maior a demanda de água pluvial, menor o tempo de retorno para recuperação do investimento aplicado na implantação do SAAP.

Palavras-chave: Aproveitamento de água pluvial. Balanço hídrico. Volume de água de chuva aproveitável. Viabilidade econômica.

Abstract

This paper shows an economic feasibility analysis of Rainwater Harvesting Systems implementing in different regions of Brazil. For the sizing of reservoirs, water balance method and Yield After Spillage (YAS) criterion were considered, in addition to the criteria established by [1]. Comparing consumption and costs, the economic viability for the scenarios was evaluated. It was concluded that the greater rainwater demand, the shorter the payback time for recovery of the investment applied in the implementation of the Rainwater Harvesting System.

Keywords: Use of rainwater. Water balance method. Usable volume of rainwater. Economic viability.

Como citar:
LEITE, K. R.; DA LUZ, K. N.; DE PAULA, H. M.; REIS, R. P. A. Análise da viabilidade econômica do aproveitamento da água de chuva para diferentes cidades de regiões do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-12.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por água potável, não apenas no Brasil como no mundo, é uma realidade, principalmente devido ao aumento populacional dos centros urbanos, claramente configurado por causa do avanço tecnológico. O que intensifica ainda mais essa conjuntura é a falta de infraestrutura concernente à distribuição adequada de água potável [2], utilização agrícola demasiada, poluição de mananciais, mudanças climáticas, que aumentam a frequência de secas e estiagens, e usos industriais exagerados.

Atualmente 12% da disponibilidade hídrica mundial pertence ao Brasil [3]. Porém, a distribuição da água doce brasileira diverge da distribuição da população. Enquanto na região Norte habitam apenas 5% da população brasileira, na região mais populosa, próxima ao Oceano Atlântico, residem 45% da população. Entretanto, a concentração hídrica nessas regiões são de 80% e 3%, respectivamente [3].

Para mitigar essa problemática, uma solução que está cada vez mais difundida e possui alta aceitação é o aproveitamento de água pluvial [4]. No nordeste do México, devido ao aumento populacional e a industrialização local, a busca por projetos de captação de águas pluviais é eminentemente recorrente, pois se trata de uma região semiárida com escassez de água. Em complementação, ressalta-se que a adoção de outras fontes alternativas de suprimento de água é frequentemente considerada pelos habitantes da região visando a redução ainda maior do tempo de retorno dos investimentos [5].

No Brasil, a norma vigente [1], determina que os sistemas de aproveitamento de água pluvial devem apenas captar as águas oriundas de precipitações atmosféricas, coletadas de coberturas onde não exista circulação de pessoas, animais ou automóveis. Essa restrição influencia na melhor qualidade da água captada e, também, no método de cálculo do volume do reservatório do Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP).

Assim, a adoção de um método de cálculo adequado para o dimensionamento de um reservatório mais próximo à realidade é um fator determinante para a obtenção de um melhor desempenho do sistema [6] e, dentre os modelos utilizados para análise dos volumes necessários aos reservatórios de água pluvial, o método de balanço hídrico diário tem sido um dos mais utilizados [7].

Além disso, analisar a viabilidade econômica para a implantação do SAAP é imprescindível. O tempo de retorno do investimento feito em cinco cidades catarinenses mostraram que a depender da região em que essas cidades se encontram, o *payback* é diferente [8]. Isso comprova que até mesmo dentro de um mesmo Estado, há variações concernente ao retorno do investimento feito, quanto mais quando se trata de um país com extensão territorial continental.

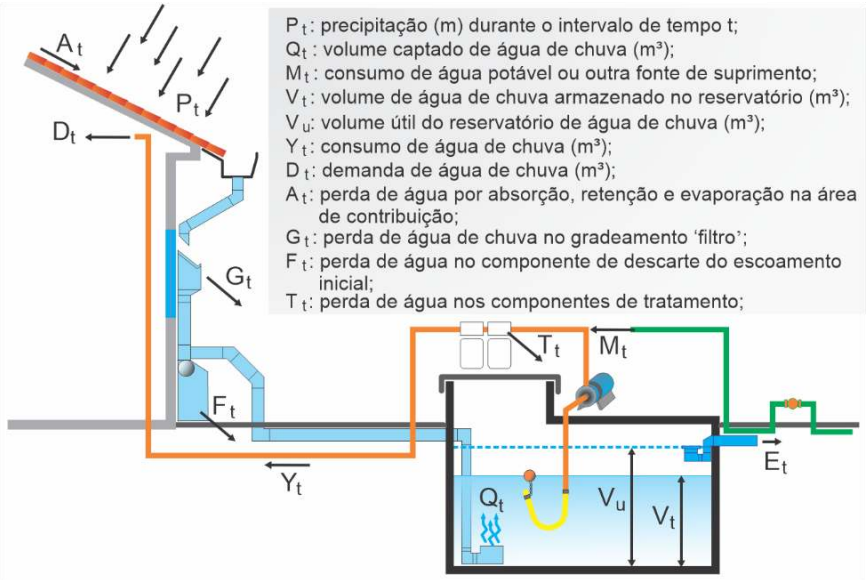
Dado o exposto, este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica do SAAP para áreas urbanas em diferentes regiões do Brasil, observando o regime pluviométrico diário, as dimensões dos reservatórios e estimando os custos necessários, bem como seu respectivo tempo de retorno, comparando-os com a variação da demanda requerida e da realidade climatológica local.

METODOLOGIA

A fim de verificar a viabilidade econômica de uma residência unifamiliar em diferentes regiões do Brasil, foram realizadas simulações diárias de oferta e demanda de água para um SAAP de uma edificação estimada em 100 m² (8,0 x 12,5 m) de cobertura, analisada em três municípios com diferentes características climatológicas. Embora os dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) abranjam uma série histórica de 10 anos (maio de 2012 a maio de 2022) [9], foram adotados os anos de 2013 a 2019 por serem informações anuais completas sem ocorrência de falhas.

Através da precipitação média diária de uma série histórica de 7 anos, levando em consideração as entradas e saídas de água do sistema e o regime pluviométrico de cada cenário, foi adotado como critério de dimensionamento o método do balanço hídrico que se baseia no equilíbrio diário das entradas, perdas e saídas de água (Figura 1). Neste trabalho considerou-se a abordagem *Yield After Spillage* (YAS) - consumo depois do enchimento – no qual o volume de água pluvial coletado é consumido após o término da chuva de projeto, ou seja, a regra do YAS pode ser entendida por considerar que o consumo ocorra após determinados a chuva adicionada à instalação de armazenamento e o extravasamento.

Figura 1: representação esquemática das principais entradas e saídas de um sistema de aproveitamento de água pluvial.



Fonte: Adaptado de [10].

Para estimar o volume aproveitável no SAAP, foram consideradas as recomendações conforme [1], respaldada nas vazões aproveitáveis do sistema, bem como suas perdas. Através da Equação 1 obtêm-se o volume de água de chuva aproveitável.

$$V = P \times A \times C \times \eta \qquad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

V = Volume anual, mensal ou diário de água pluvial aproveitável (m³/ano, mês ou dia);

P = Precipitação média anual, mensal ou diária (mm/ano, mês ou dia);

A = Área de contribuição ou coleta (m²);

C = Coeficiente de escoamento superficial - *Runoff* - que, segundo [11], varia de 0,80 a 0,95 conforme o tipo de telhado e seu potencial de escoar a precipitação;
η = Eficiência do sistema de captação (%), levando em consideração o(s) dispositivo(s) de descarte de sólidos e desvio(s) de precipitação inicial.

Alusivo a análise econômica, são necessários dados de entrada como: período para análise, taxa de inflação, tarifas de cobrança de água potável, custos de construção e manutenção do sistema e taxa mínima de atratividade do investimento. Desta forma é possível obter os dados de saída, como: o tempo de retorno do investimento ou *payback* corrigido.

À vista disso e de sua aplicação aos cenários adotados, foi possível inferir a respectiva viabilidade econômica de um SAAP, que varia em função, principalmente, da demanda e do regime pluviométrico da região.

CENÁRIOS DE ESTUDO: DEFINIÇÃO DOS MUNICÍPIOS PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E INFORMAÇÕES SOBRE OS PARAMETROS DE ENTRADA

A definição dos municípios para verificação da viabilidade econômica para a implantação do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) se deve principalmente a discrepância pluviométrica entre eles. A cidade de Nata-RN está localizada numa região predominantemente mais quente, enquanto Curitiba - PR possui um clima mais temperado e sua precipitação média é menor que a de Natal - RN e maior que a de Catalão - GO, terceiro município adotado. Catalão está localizada na região central do Brasil, relativamente distante dos outros municípios adotados, possuindo um clima tropical sazonal.

Foram adotados estes municípios, pois, através da observação dos resultados gerados, foi possível uma visão mais holística das distintas regiões e suas características climatológicas, verificando a viabilidade de implantação do SAAP sob a perspectiva econômica.

Os dados de entrada levados em consideração para a simulação da análise econômica encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Informações/dados de entrada para análise econômica.

Variáveis	Valores
Precipitação pluviométrica diária	Série histórica de 7 anos
Área de captação (m^2)	100
Demanda diária de água potável (m^3/mês) *	18
Número de moradores	4 (unifamiliar)
Porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial (%) Comprovado em Tabela 2.	36
Coeficiente de aproveitamento	0,9
Coeficiente de *Runoff*	0,8
Volume unitário do reservatório inferior (m^3) Padronizado pelo autor.	10
Volume do reservatório superior usado (m^3) Padronizado pelo autor.	1

* 150 L/pessoa [11].

Fonte: o autor.

Em uma residência unifamiliar com quatro moradores, foi analisado e aferido o consumo diário, constatando-se os dados apresentados na Tabela 2, onde pode-se analisar às proporções de água potável a serem substituídas pelo aproveitamento de água pluvial.

Tabela 2: Proporção de água potável a ser substituída por pluvial em aproveitamento.

Pontos de utilização	Vazão estimada		Demanda não potável
	(L/dia)	(L/mês)	(L/mês)
Chuveiro	216,0	4.518,0	
Bacia sanitária com válvula	256,0	5.354,7	5.354,7
Lavatórios	72,0	1.506,0	
Torneira de jardim	60,0	1.255,0	1.255,0
Pia de cozinha	144,0	3.012,0	
Tanque de lavagem de roupas	120,0	2.510,0	
Volume total consumido (m³/mês):	868,00	18.155,70	6.609,70
Volume total consumido (m³/mês):		18,16	6,61
		Proporção:	0,36

Fonte: [11].

A análise econômica levou em consideração o tempo de cinco anos, taxa mínima de atratividade de 0,9% e inflação de 0,75% ao mês (média dos últimos vinte e quatro meses segundo o Banco Central do Brasil). As tarifas de água e esgoto são pertinentes a cada município adotado, sendo:

- Natal-RN: 7,73 R$/m³
- Curitiba-PR: 19,34 R$/m³
- Catalão-GO: 12,50 R$/m³

Na Tabela 3 observam-se os custos considerados de outros itens do SAAP.

Tabela 3: Custo da intervenção.

ITEM	Valor (R$)
Reservatório 10 m³	4.898,90
Bomba periférica qb 80 1cv 220v - Sigma power	359,90
Separador de Água e Óleo 1000L/h SAO com Laudos para Oficina e Lava-Rápido - Madareli	890,00
Sistema de descarte (2mm/m²)	200,00
Filtro celulose duplo 25 micras	415,65
Bomba Dosadora de Cloro EMEC Modelo FCE-121.5 Italiana Modelo: FCE-121.5	1.379,00
Sistema desinfecção UV 20W	1.350,00
Calhas (25m lineares segundo SINAPI 04/2022 desonerado)	1.748,25
Mão-de-obra para instalação	2.000,00
Verificação do padrão de qualidade (semestral)	215,00
Limpeza dos reservatórios (unidade)	220,00
Substituição dos filtros de celulose (semestral)	415,65
TOTAL	14.092,35

Fonte: o autor.

Para a tarifa de energia elétrica necessária pela motobomba para recalque da água pluvial do reservatório inferior para o superior, foram adotados os valores de cada município, sendo:

- Natal-RN: 0,6722 R$/KWh
- Curitiba-PR: 0,4299 R$/KWh
- Catalão-GO: 0,6369 R$/KWh

Com os dados supracitados, a Tabela 4 apresenta os valores calculado para o consumo de energia mensal para cada uma das cidades em estudo.

Tabela 4: Consumo de energia mensal.

Componente do sistema	Funcionamento (horas)		Potência	Quantidade	Consumo
	Diário	Mensal	(W)		KWh/mês
Bomba centrifuga	6	**180**	135,49	**1**	**24,4**
Unid. desinfecção UV	6	**180**	20	**3**	**10,8**
Dosadora de cloro	6	**180**	45	**1**	**8,1**
				Consumo total kWh/mês =	**43,3**
				Custo mensal (R$) - Natal-RN = 0,6722 x 43,3	**29,11**
				Custo mensal (R$) - Curitiba-PR = 0,4299 x 43,3	**18,61**
				Custo mensal (R$) - Catalão-GO = 0,6369 x 43,3	**27,58**

Fonte: o autor.

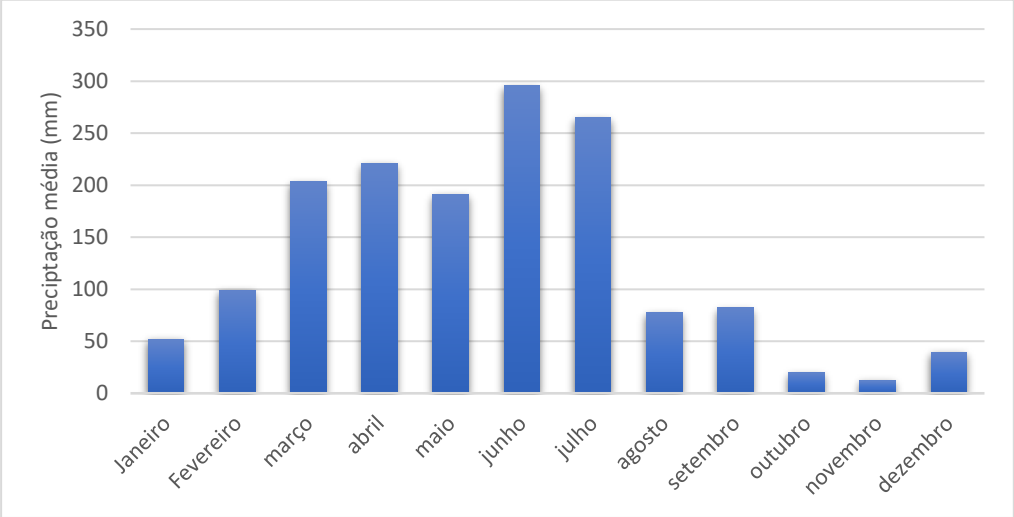
RESULTADOS

NATAL – RN

A cidade de Natal-RN possui precipitação média anual de 1.557,86 mm, sendo no mês de junho a maior precipitação média de 295,43 mm, enquanto novembro o de menor precipitação média com 12,43 mm.

Na Figura 2, o gráfico representa a média da precipitação mensal do período adotado.

Figura 2: Volume de precipitação média mensal de Natal-RN.

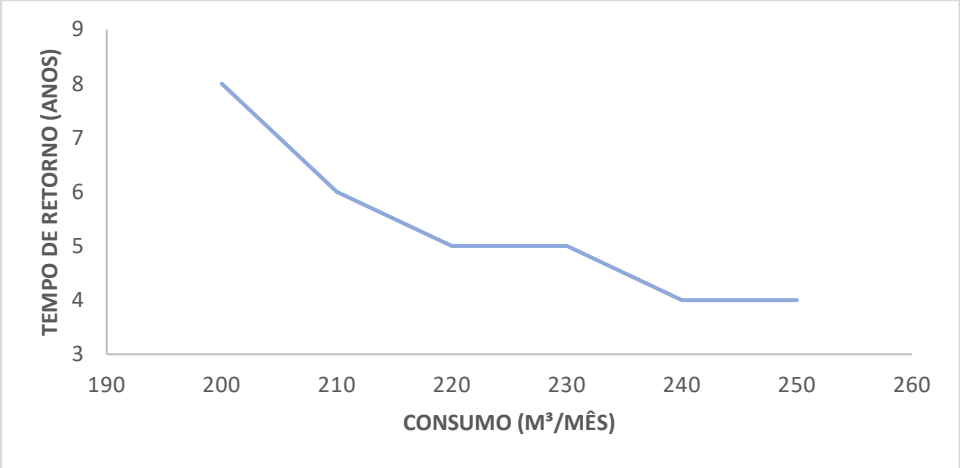


Fonte: Adaptado de [9].

Através dos dados pluviométricos diários analisados na realização dos cálculos concernentes à cidade de Natal, calculou-se o volume de reservatório necessário, 28,15 m³ (três reservatórios de 10 m³ cada) e a exigência de reservação de água pluvial para suprir a demanda local.

Em análise a viabilidade econômica, conclui-se que caso o consumo de água seja menor que 200 m³/mês, a implantação do SAAP se torna inviável, ou seja, não existiriam vantagens econômicas alusivas ao retorno do investimento realizado para a realização desse projeto. Também é possível aferir que o consumo é inversamente proporcional ao tempo de retorno, conforme comprovado pela Figura 3. Quando o consumo ou demanda é superior a 220 m³/mês o investimento retorna em cinco anos. Já para um consumo de 240 m³/mês, o *payback* ocorre em quatro anos.

Figura 3: Demanda/consumo versus tempo de retorno do investimento em Natal.



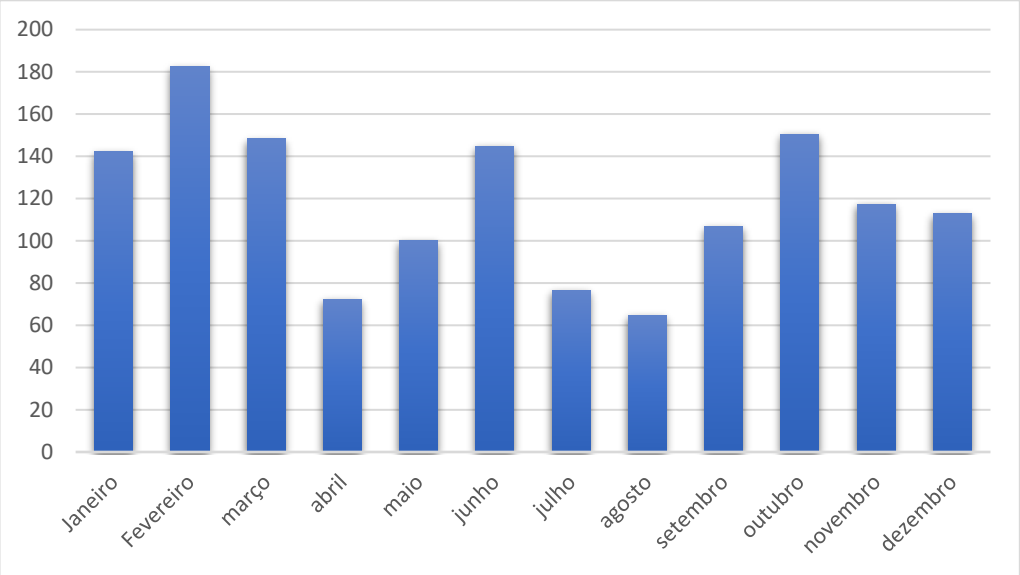
Fonte: o autor.

CURITIBA – PR

Da mesma forma que em Natal-RN, foram adotados os anos de 2013 a 2019 fornecidos pelo INMET por serem informações anuais completas. Analisou-se que Curitiba-PR apresenta uma precipitação média anual de 1.419,29 mm, sendo fevereiro o mês com maior precipitação média de 182,43 mm, enquanto agosto o de menor precipitação média, com 64,71 mm.

Na Figura 4 pode ser visto o gráfico que representa a média da precipitação mensal do período adotado.

Figura 4: Volume de precipitação média mensal de Curitiba-PR.



Fonte: Adaptado de [9].

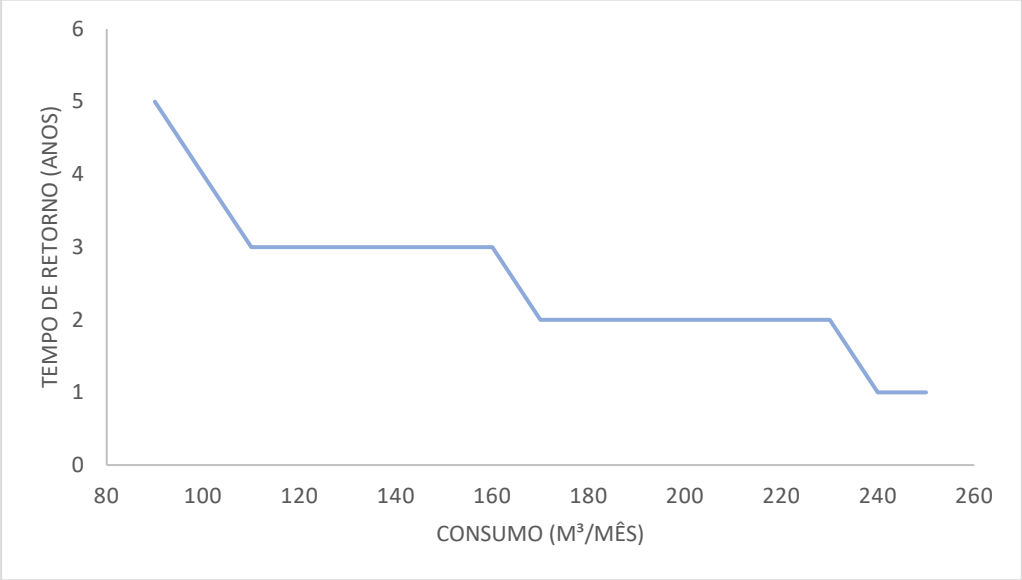
Considerando os dados pluviométricos da região de Curitiba-PR para dimensionamento do volume necessário no reservatório para a implantação do SAAP, obteve-se o resultado de 30,74 m³, adotando-se três reservatórios de 10 m³ cada.

Em relação a viabilidade econômica para a implantação do SAAP na região de Curitiba-PR, percebe-se um retorno em cinco anos mesmo quando a utilização de água é de apenas 90 m³ para uma residência com área de cobertura de 100 m² e as características acima elencadas.

Ressalta-se que a capital paranaense, quando comparada à capital do Rio Grande do Norte, apresenta uma precipitação média mensal mais uniforme ao longo do ano, por isso carece de um menor volume de reservação para que a demanda ao longo do ano seja suprida.

Para consumos menores, como por exemplo 80 m³ por mês, o retorno do investimento ao longo do tempo é de sete anos. No entanto, caso o consumo mensal aumente para 170 m³ o tempo de retorno será de dois anos, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Demanda/consumo versus tempo de retorno do investimento em Curitiba.



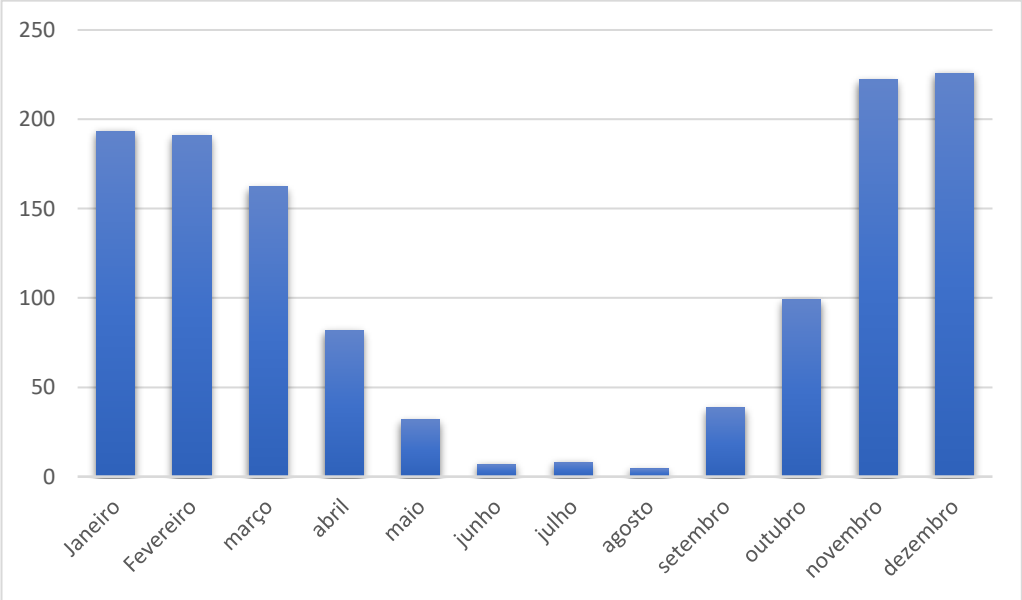
Fonte: o autor.

CATALÃO - GO

Para Catalão-GO também foram adotados os anos de 2013 a 2019 fornecidos pelo INMET por serem informações anuais completas. O município apresenta uma precipitação média anual de 1.265,29 mm, sendo dezembro o mês com maior precipitação média de 225,86 mm, enquanto agosto o de menor precipitação média com 4,43 mm.

Na Figura 6, o gráfico representa claramente a diferença pluviométrica entre os meses do ano.

Figura 6: Volume de precipitação média mensal de Catalão.



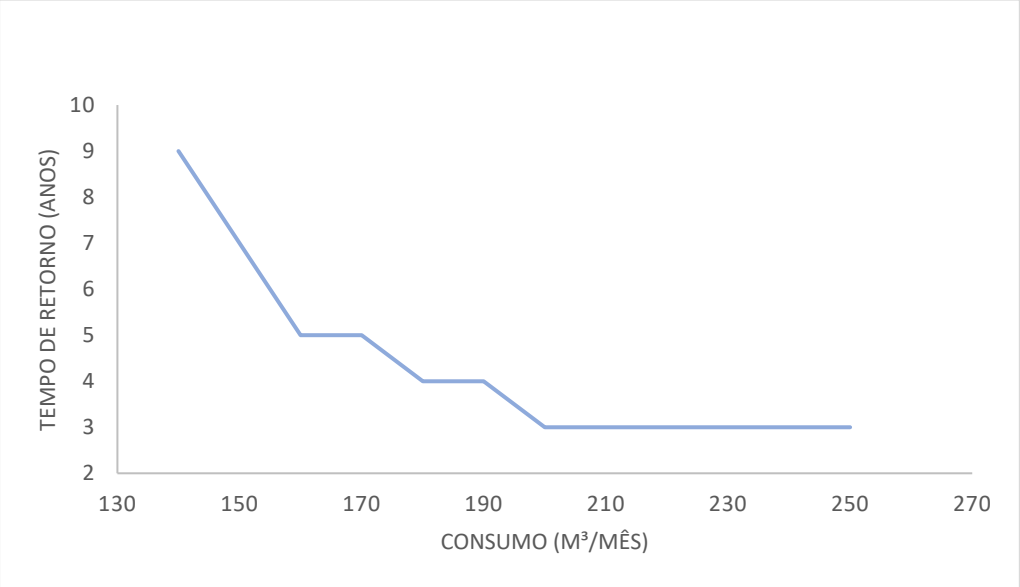
Fonte: Adaptado de [9].

Com base nos dados pluviométricos de Catalão-GO para dimensionamento do volume necessário no reservatório inferior, obteve-se um volume de 40,82 m³, estimando cinco reservatórios de 10 m³ cada. Para que a quantidade superior de reservação não caracterize uma despesa extra, uma opção seria adotar um SAAP com quatro reservatórios de 10 m³ cada, atendendo 97,99% da exigência.

Embora Catalão-GO e Natal-RN apresentem períodos de estiagem de sete meses, considerando os meses com precipitação menor que 100 mm, o município goiano apresenta picos máximos menores, o que justifica seu reservatório apresentar volume 45% maior.

De acordo com a Figura 7 é possível aferir claramente o comportamento do investimento com relação ao consumo de água e concluir que para um retorno do investimento realizado para implantação do sistema em cinco anos é necessário um consumo de 160 m³ de água mensal. A partir de 200 m³ mensais de água o retorno se daria em três anos.

Figura 7: Demanda/consumo versus tempo de retorno do investimento em Catalão.



Fonte: o autor.

Para fácil comparação, a Tabela 5 demonstra um paralelo entre a viabilidade econômica e seu tempo de retorno do investimento da implantação do SAAP em cada município adotado.

Tabela 5: Viabilidade econômica por município.

Consumo (m³/mês)	Tempo (anos)		
	Natal-RN	Catalão-GO	Curitiba-PR
18	Inviável	Inviável	Inviável
30	Inviável	Inviável	Inviável
45	Inviável	Inviável	Inviável
50	Inviável	Inviável	Inviável
60	Inviável	Inviável	Inviável
70	Inviável	Inviável	Inviável
80	Inviável	Inviável	7
90	Inviável	Inviável	5
100	Inviável	Inviável	4
110	Inviável	Inviável	3
120	Inviável	Inviável	3
130	Inviável	Inviável	3
140	Inviável	9	3
150	Inviável	7	3
160	Inviável	5	3
170	Inviável	5	2
180	Inviável	4	2
190	Inviável	4	2
200	8	3	2
210	6	3	2
220	5	3	2
230	5	3	2
240	4	3	1
250	4	3	1

Fonte: o autor.

CONCLUSÕES

Com base nos cálculos mencionados, inicialmente constatou-se que a cidade de Catalão-GO e Curitiba-PR apresentaram volumes de reservatório de água pluvial para aproveitamento consideravelmente maiores quando comparados à Natal-RN. Devido aos dados pluviométricos, percebe-se que a cidade nordestina necessita de um volume de reservatório consideravelmente superior.

É importante ressaltar que o volume total médio de precipitação anual das três cidades apresenta certa discrepância, variando 23% entre Catalão-GO e Natal-RN. Porém, há grande variação entre a uniformidade dos volumes pluviométricos dos meses ao longo do ano, fazendo com que a implantação do SAAP se torne ou não viável em determinada região. Percebe-se, por exemplo, que Natal-RN possui um período de estiagem elevado (agosto a fevereiro) em comparação as demais cidades, porém os picos altos de precipitação (junho e julho) permitem que o volume do sistema para suprir esse período de seca seja menor.

Já Curitiba-PR possui uma média de precipitação mensal com maior uniformidade durante o ano, possibilitando um abastecimento constante do sistema com água da chuva e, consequentemente, carecendo de menor reservação para a época de precipitação baixas, quando comparada com o município Goiano.

Portanto, embora haja casos com variação pluviométrica consideravelmente divergentes, para residências unifamiliares com as características propostas neste artigo e cujo fornecimento de água tratada por meio de concessionária local é constante, a implantação de SAAP se torna inviável para baixos consumos, porém extremamente viável para consumos elevados, como residenciais e condomínios.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527/2019**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos, 2019.

[2] CAMPOS, M. A. S. **Qualidade de investimentos em sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial: uso de partículas swarm optimization.** 2012, 95 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

[3] ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019 : relatório pleno.** [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf. Acesso em: 10 de mai. 2022.

[4] OKOYE, C. O.; SOLYALI, O.; AKINTUŁ, B. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 104, p. 131-140, 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.08.015.

[5] ZAVALA, M. A. L.; VEGA, R. C.; MIRANDA, R. A. L.; Potential of rainwater harvesting and greywater reuse for water consumption reduction and wastewater minimization. **Water.** DOI 10.3390, p. 1-18, jun. 2016.

[6] SANTOS, C.; PINTO, F. T.; Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 71, p. 1-6, nov. 2012. DOI: 10.1016 /j.resconrec.2012.11.004.

[7] LIMA, K. A. **Avaliação de diferentes abordagens do balanço hídrico para o dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em diferentes regimes pluviométricos no Brasil.** 2020, 196 p. Dissertação (Mestrado) – PPGEC – UFG, Goiânia, 2020.

[8] GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4: manual do usuário.** 2014. 62 p. Manual – UFSC, Florianópolis, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4_Junho2014.pdf. Acessado em 05/08/2022.

[9] INMET. BDMEP - **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 mai. 2022

[10] FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: The field testing of a collection system. **Building and Environment**, v. 34, n. 6, p. 765-772, 1999. DOI: 10.1016/S0360-1323(98)00063-8.

[11] TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis**. São Paulo: Plínio Tomaz, 2010