

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

# OCIOSIDADE VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM ESTADOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Cinthya Santos da Silva<sup>1</sup>; Gilson Barbosa Athayde Júnior<sup>2</sup>, Cristiano das Neves Almeida<sup>3</sup>*

**Abstract:** Conceived as a social technology for water access, the One Million Cisterns Program initially aimed to build one million rural cisterns in Brazil's semi-arid region. These cisterns, each with a capacity of 16,000 liters, are connected to the roofs of households. However, low and unreliable rainfall levels and the variation in catchment areas associated with the systems can lead to different levels of efficiency among the cisterns. Thus, this study aimed to analyze the idleness of these reservoirs under different catchment area scenarios through the Volumetric Idle Coefficient (VIC). The analysis of the VIC for cisterns built in the semi-arid region revealed an increase in idleness as the catchment areas decreased, as well as higher VIC values in the central part of the semi-arid region. The VIC proved to be an effective tool for identifying reservoir idleness, allowing for a comparative analysis of underuse across different catchment areas. Therefore, it serves as a useful tool for designing rainwater harvesting systems in semi-arid regions.

**Resumo:** Idealizado como uma tecnologia social de acesso à água, o Programa 1 Milhão de Cisternas objetivou, inicialmente, a construção de 1 milhão de cisternas rurais na região do semiárido brasileiro, com volumes de 16 mil litros, conectadas aos telhados das residências. Entretanto, as pluviometrias baixas e irregulares e a variação de áreas de captação associadas aos sistemas, podem levar as cisternas a diferentes níveis de eficiências. Desse modo, este trabalho buscou a análise da ociosidade desses reservatórios em diferentes cenários de área de captação, por meio do Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV). A análise do COV para as cisternas construídas no semiárido permitiu verificar um aumento da ociosidade com a diminuição das áreas de captação, além de um maior COV para a região central do semiárido. O COV mostrou-se uma ferramenta eficaz para verificação da ociosidade de reservatórios, permitindo a realização de uma análise comparativa da ociosidade para diferentes áreas de captação, servindo, dessa forma como uma ferramenta útil para a concepção de sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em regiões semiáridas.

**Palavras-Chave** – Água da chuva, semiárido, cisternas.

1) Instituto Federal da Paraíba – campus Cajazeiras, R. José Antônio da Silva, 300, bairro Jardim Oásis, Cajazeiras/PB, fone: 83 35324100, e-mail: cinthya.santos@ifpb.edu.br

2) Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, João Pessoa/PB, fone: 83 32167200, e-mail: gilson.athayde@academico.ufpb.br

3) Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, João Pessoa/PB, fone: 83 32167200, e-mail: almeida74br@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

Em todo o planeta, 4 bilhões de pessoas são afetadas pela escassez sazonal de água, com déficit de abastecimento em ao menos um mês por ano (Mekonnen e Hoekstra, 2016); situação que pode ser agravada pelas mudanças climáticas evidenciadas nas últimas décadas, causadoras, entre outros eventos, de secas extremas, de forma cada vez mais frequente.

Esses efeitos podem ser sentidos de forma intensificada em regiões historicamente mais secas, com períodos de estiagem cada vez mais longos e totais pluviométricos anuais cada vez mais baixos, aumentando os casos de conflito pelo uso da água e gerando maiores desafios ao abastecimento das populações residentes nessas áreas.

Dentro deste contexto, a região do Semiárido Brasileiro (SAB), compreendida territorialmente em onze estados da federação — nos nove estados da região Nordeste, mais o norte do estado de Minas Gerais e alguns municípios do estado do Espírito Santo —, é caracterizada climaticamente pelos efeitos do comportamento variável das chuvas no espaço e no tempo, com intervalos de fortes estiagens e secas (Carvalho, 2020). Historicamente, os impactos das secas foram sempre severos para a população do SAB, resultando em fome e sede em função da escassez de água e da baixa produção de alimentos, devido a um conjunto de condições naturais e socioeconômicas (Araújo, 2021).

Dessa forma, iniciativas públicas tentam, por meio de diferentes programas, encontrar meios de contornar os problemas de escassez de água na região. Um exemplo é Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), lançado em 2003 com o intuito de construir 1 milhão de cisternas rurais com capacidade de armazenamento para 16 mil litros de água para consumo humano, captada da chuva por meio de calhas conectadas aos telhados das casas (Diniz et al., 2022).

Entretanto, são diversos os desafios existentes para a ampla utilização da água de chuva para abastecimento. Entre eles, destacam-se a busca por reservatórios que associem a maximização do atendimento da demanda à minimização de custos de implantação, diante de diferentes cenários de disponibilidade de área para o sistema, e de consumo de água. Portanto, um sistema como o do P1MC, onde cisternas padronizadas são instaladas em diferentes configurações de área de captação, demanda de água, e ainda variações pluviométricas, podem apresentar eficiências distintas.

Diferentes estudos presentes na literatura verificaram que a padronização do volume da cisterna não garante o atendimento das necessidades da família usuária. A exemplo de Almeida *et al.* (2021), que constataram, por meio da análise de eficiência de cisternas instaladas no estado da Bahia, que 60% das residências não teriam suas necessidades de abastecimento atendidas, seja por insuficiência de área de captação, seja por necessidade de volumes maiores de cisternas, enquanto os outros 40% poderiam ser atendidos com volumes menores.

De maneira similar Santos e Abrantes (2023) analisaram a eficiência de cisternas do P1MC para a cidade de Sousa-PB e verificaram que residências com cinco pessoas só teriam suas necessidades hídricas atendidas para áreas de captação superiores a 90 m<sup>2</sup>. Já a capacidade de atendimento de outras residências, com área de telhados diferentes, estaria diretamente relacionada à quantidade de pessoas na moradia.

Assim, fica evidente a necessidade de análises de eficiência mais abrangentes, que permitam a identificação de cenários — de área de captação e demanda de água — mais favoráveis a uma melhor eficiência técnica do sistema, além de uma otimização dos recursos financeiros empregados.

Buscando preencher esta lacuna, este trabalho propõe a aplicação do Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (COV) para a análise da eficiência das cisternas com capacidade de 16mil

litros, implantadas pelo P1MC. Tal coeficiente possibilita a análise do volume médio ocioso das cisternas em toda a região que abrange o SAB, em relação ao volume do reservatório construído, permitindo analisar, de forma simples, quais áreas de captação estão relacionadas a uma maior ociosidade em cada localidade, considerando suas condições pluviométricas e o consumo de água (Silva *et al.*, 2024), criando, assim, mais uma fonte de informações sobre a região do SAB disponível para um maior entendimento das condições climáticas da região.

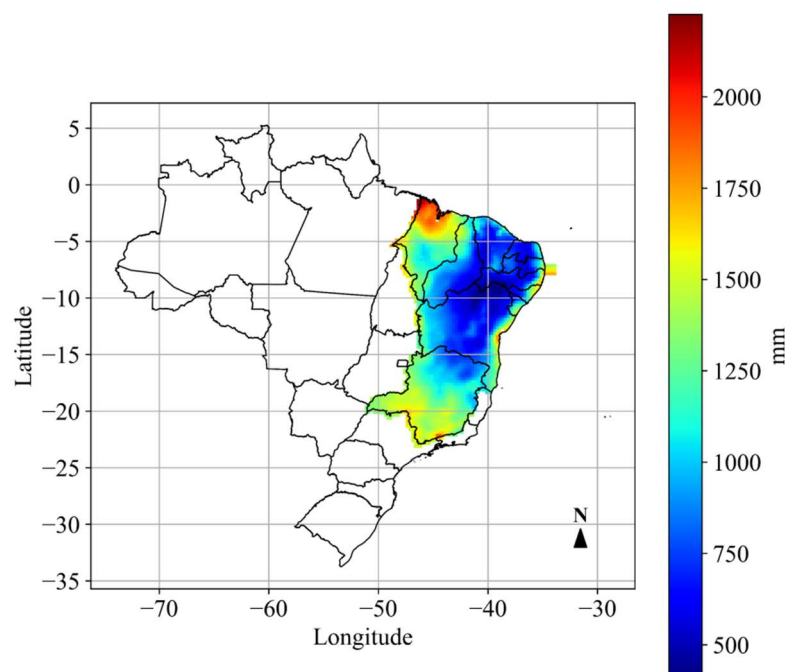
## METODOLOGIA

### Caracterização do objeto de estudo

A região do semiárido brasileiro é composta por 1.477 municípios, abrangendo uma extensão territorial de 983.563,3 km<sup>2</sup>, segundo delimitação definida por Portaria n° 89, de 16 de março de 2005 (Figura 1). A região Nordeste detém aproximadamente 89,5% dos municípios localizados no SAB, apresentando, nesses, uma precipitação média anual inferior a 800mm, o Índice de Aridez Thornthwaite igual ou inferior a 0,5 e risco de seca superior a 60% (IBGE, 2022).

As características pluviométricas do SAB consistem em um período chuvoso concentrado em poucos meses do ano, normalmente de janeiro a abril, com algumas regiões apresentando níveis pluviométricos de cerca de 290 mm durante os meses de inverno, comumente secos. Espacialmente, a região de menor precipitação ocorre na área central (390 - 690 mm.ano<sup>-1</sup>), e as maiores precipitações na borda leste e porção noroeste (1.700- 1.990 mm.ano<sup>-1</sup>) (Silva *et al.*, 2023).

Figura 1 – Delimitação da área de estudo com representação da precipitação média anual em mm.



Fonte: Autores (2025).

Nas áreas rurais, uma das principais atividades econômicas desenvolvidas é a agricultura familiar, responsável por 67% das ocupações e 23% do Produto Interno Bruto da produção agropecuária (CONTAG, 2023). Entretanto, a concentração de terras, entre outros fatores de vulnerabilidade social, faz com que todos os municípios do Semiárido apresentem Índice de

Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) inferior à média nacional (0,727), sendo considerado baixo ou muito baixo (ASA BRASIL, s.d.).

A fim de minimizar estas desigualdades, o P1MC surgiu no ano de 2003 como uma tecnologia social de acesso a água (Mendes *et al.*, 2022). O programa consiste na construção de um reservatório com capacidade de armazenamento de água da chuva de 16 mil litros, captada por meio de calhas conectadas ao telhado das casas, e construído nas proximidades da residência (Figura 2).

Figura 2 – Cisterna de placas com capacidade de 16mil litros



Fonte: Ministério do Desenvolvimento Social (2023).

Além do suprimento de água nos meses de estiagem, o processo de construção das cisternas teve como objetivo a mobilização e participação da comunidade beneficiada, com toda a matéria-prima prioritariamente adquirida no comércio local, e com a capacitação dos pedreiros(as) para a construção das cisternas, dinamizando, portanto, a economia local e dando oportunidade de trabalho às famílias (Diniz *et al.*, 2022).

### Cálculo do coeficiente de ociosidade volumétrica (COV)

O Coeficiente de Ociosidade Volumétrica (Silva, 2023) permite a análise de quanto do volume do reservatório ficará ocioso, em média, anualmente, em relação ao volume de armazenamento. Para seu cálculo foi necessária, inicialmente, a admissão de parâmetros de dimensionamento para a configuração de cada cenário, sendo eles: volume do reservatório, demanda de água, área de captação e coeficiente de escoamento superficial. Todos os parâmetros considerados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros admitidos para cálculo do COV

Volume do reservatório	Demanda de água	Áreas de captação	Coeficiente de escoamento superficial
16.000 litros	400 L/dia	50, 100, 150, 200, 250 e 300m <sup>2</sup>	0,8

Para verificação do volume ocioso da cisterna a cada dia, foram considerados dados de precipitação obtidos *online*, disponibilizados para o período entre 01/01/1980 e 31/12/2016, espacializados em forma de grade com resolução espacial de 0,25°x 0,25° para todo o Brasil (Xavier *et al.*, 2016), da qual foram extraídos os valores pertencentes à região semiárida.

Para o cálculo COV, conforme Equação 1, foi necessária a determinação do volume de água aproveitável pelo sistema, sendo esse determinado por meio de um balanço hídrico, conforme Equação 2.

$$COV = \frac{(V \cdot n - V_{apr} / N)}{V} \quad (1)$$

Onde V é o volume do reservatório [m³], V<sub>apr</sub> é o volume total de água aproveitável pelo sistema [m³], N o número de anos analisados, n o número de dias analisados, e COV é o Coeficiente de Ociosidade Volumétrica [m³ de volume ocioso / m³ de volume de reservatório].

$$V_{apr} = \sum_1^n (V_{ent} - V_{tr}) \quad (2)$$

Onde V<sub>apr</sub> é o volume aproveitável total de água no sistema [m³], V<sub>ent</sub> o volume de entrada de água captada pelo telhado [m³], e V<sub>tr</sub> o volume de água transbordado pelo reservatório [m³], e n o número de dias analisados.

O volume de entrada (Equação 3) foi determinado para cada um dos cenários considerados, assim como o volume transbordado (Equação 4).

$$V_{ent} = \frac{P \cdot A \cdot \eta}{1000} \quad (3)$$

Onde V<sub>ent</sub> é o volume de entrada de água captada pelo telhado [m³], P a precipitação diária [mm], A área de captação do cenário [m²], e  $\eta$  o coeficiente de escoamento superficial [adimensional].

$$(V_{ent(t+1)} + V_{res(t)} - C) \begin{cases} > 0 \rightarrow V_{tr} = (V_{ent(t+1)} + V_{res(t)} - C) - V \\ < 0 \rightarrow V_{tr} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Onde V<sub>ent(t+1)</sub> é o volume de água absorvido pelo sistema de captação [m³], C o consumo diário [m³], e V<sub>res(t)</sub> o saldo de água existente no reservatório [m³], V<sub>tr</sub> o volume transbordado [m³], e V o volume do reservatório [m³]. Para dias em que o volume captado, mesmo quando da existência de saldo armazenado, foi inferior ao necessário para atendimento da demanda, o valor encontrado pela equação é negativo, ou seja, não ocorreu transbordamento, e o valor foi assumido como zero.

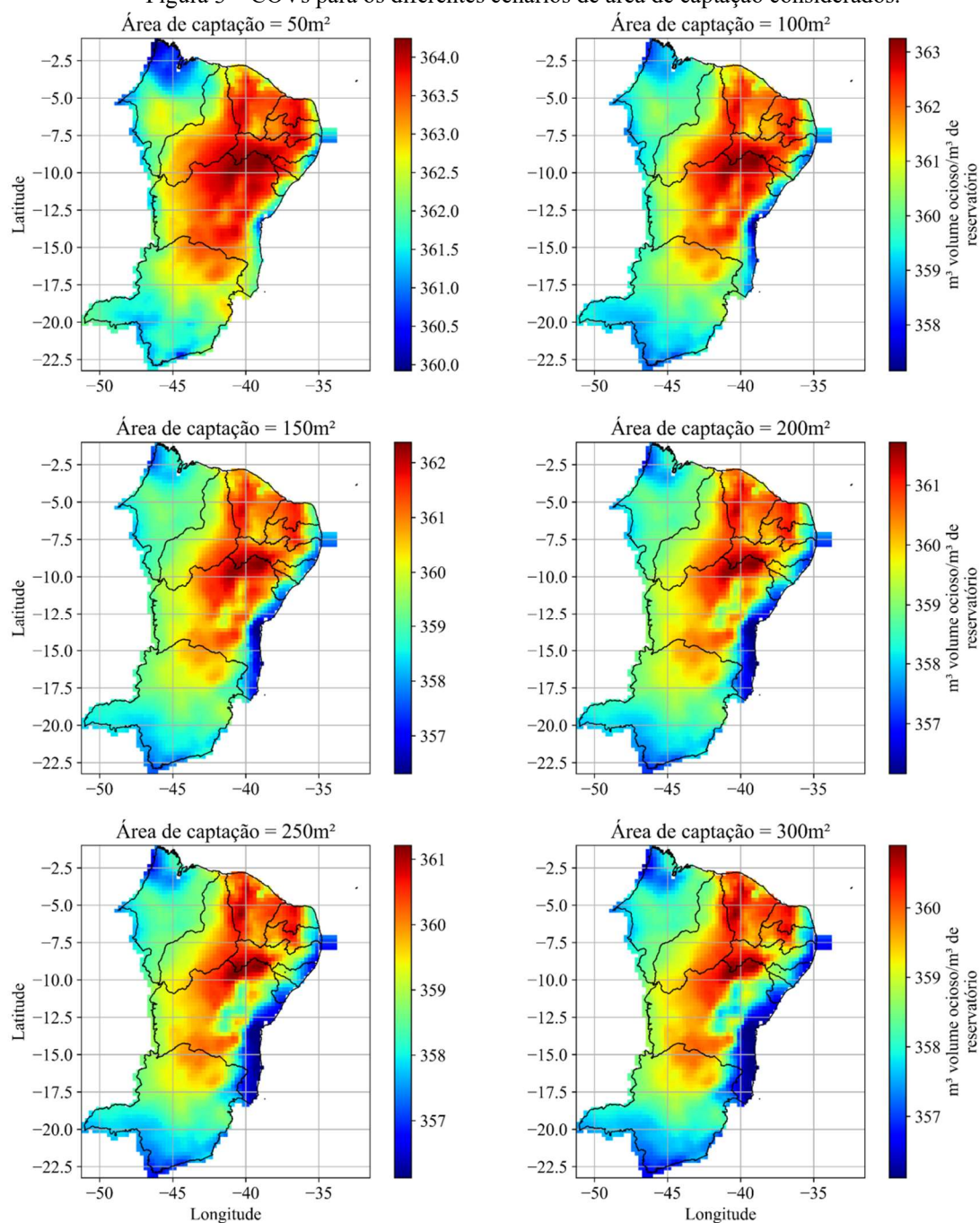
Para melhor visualização dos resultados, foram plotados mapas com os valores de COV, calculados para reservatórios em cada um dos cenários de área de captação aqui considerados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 3, estão representados os mapas com valores de COV obtidos para cada área de captação considerada no desenvolvimento desse estudo. Pode-se observar que, os em todos os cenários, os maiores valores se concentraram na região central do SAB — de menores alturas pluviométricas, conforme pode ser visto na figura 1 — tendo, as regiões mais secas, em todos os casos, atingido valores de COV superiores a 360m³ de volume ocioso médio no ano/m³ de reservatório.



Figura 3 – COVs para os diferentes cenários de área de captação considerados.



Fonte: Autores (2025).

A fim de facilitar o entendimento do cálculo do COV, a determinação do seu valor para a cidade de Cajazeiras, localizada no Alto Sertão paraibano, na coordenada de latitude -6,88 e longitude -38,56, é detalhado resumidamente na Tabela 2, para uma área de captação de 150 m², uma demanda de 400 L/dia e um coeficiente de escoamento superficial de 0,8.

Tabela 2 – Cálculo do COV para cidade de Cajazeiras/PB.

Data	Precipitação [mm]	Entrada de água [m³] (Equação 3)	Volume transbordado no dia[m³] (Equação 4)	Volume aproveitável de água total [m³] (Equação 2)
01/01/1980	0,11	0,0132	0	2.722,59
02/01/1980	0	0	0	
⋮				
24/01/2011	32,53	3,9036	2,0024	
25/01/2011	22,33	2,6796	2,2796	
26/01/2011	25,52	3,0624	2,6624	
⋮				
26/12/2016	0	0	0	COV [m³ de volume ocioso/m³ de volume de reservatório] (Equação 1)
27/12/2016	0	0	0	
28/12/2016	1,3	0,156	0	
29/12/2016	2,87	0,3444	0	
30/12/2016	0	0	0	360,67
31/12/2016	0	0	0	
Somatório		3.684,529	961,9424	

Na figura 3 pode-se observar que os valores de COVs tenderam a diminuir com o aumento dos totais precipitados para uma mesma área de captação, levando à conclusão de que uma maior altura pluviométrica corresponde a uma maior entrada de água no sistema e, conseqüentemente, a uma menor ociosidade média. Isso, considerando as características pluviométricas do semiárido, com um período chuvoso concentrado em poucos meses do ano, resultou na redução do volume ocioso das cisternas, tanto nos meses de chuva quanto nos meses subsequentes, quando o excedente armazenado passaria a ser utilizado para o abastecimento da residência.

A partir da análise da figura 3, pode-se observar, ainda, que, para a região do interior da Bahia o aumento da área de captação levou a uma contínua redução da ociosidade — padrão que não foi observado, entretanto, no Alto Sertão pernambucano ou paraibano. Observando, porém, os valores de COV obtidos para dois pontos (Tabela 3), um de cada região, pode-se ver como o incremento da área de captação afetou a ociosidade de cada reservatório em ambas as localidades.

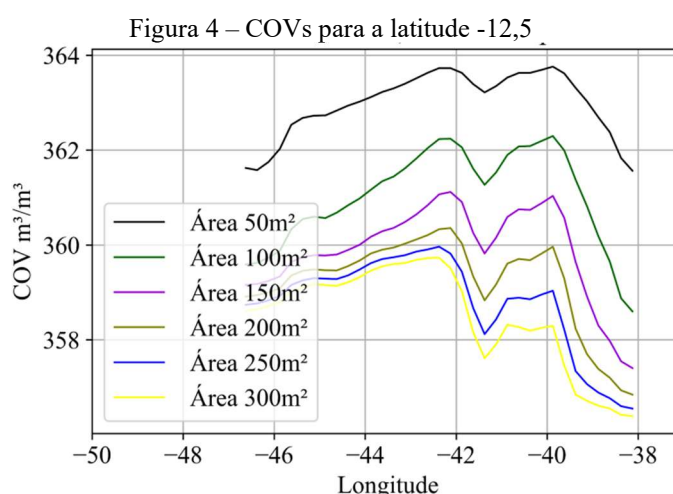
Tabela 3 – Valores de COV para cada cenário em dois pontos.

Área de captação [m²]	COV - Lençóis/BA Latitude: -12,5/Longitude: -41,9	COV – Petrolina/PE Latitude: -9,1/Longitude: -40,5
50	363,63	364,14
100	362,06	363,05

150	360,91	362,17
200	360,03	361,56
250	359,44	361,11
300	359,03	360,79

Analisando estatisticamente esses valores, pode-se observar que o valor médio para a cidade de Lençóis/BA foi de 360,85 m<sup>3</sup> de volume ocioso médio/volume de reservatório, com um desvio padrão de 1,74, enquanto para a cidade de Petrolina o COV médio foi de 362,27 m<sup>3</sup> de volume ocioso médio/volume de reservatório, com um desvio padrão de 1,27. Isso, demonstra que além de as cisternas terem uma maior ociosidade na região de Petrolina, a sua variabilidade entre cenários foi menor do que a observada para Lençóis/BA.

Uma análise mais detalhada de uma linha ao longo da latitude -12,5 (Figura 4) possibilita a análise do comportamento dos valores de COV para cada cenário ao longo de toda longitude, cruzando as regiões mais secas ao centro e mais chuvosas na borda leste, confirmando que maiores valores de COV estão relacionados a menores áreas de captação e menores alturas pluviométricas.



Fonte: Autores (2025).

Pode ser observado, ainda, que os maiores valores de COV ocorreram para menores áreas de captação, devido às características climáticas da região, onde uma menor área resulta numa menor entrada de água no sistema, o que, para uma cisterna com volume padronizado pode implicar numa maior ociosidade.

Mais do que uma análise quantitativa, o COV permite realizar uma análise comparativa da viabilidade técnica das cisternas para cada cenário, possibilitando a verificação de quais valores de área de captação resultariam em um menor volume ocioso.

## CONCLUSÕES

O Coeficiente de Ociosidade Volumétrica se mostrou uma alternativa prática para verificação da ociosidade das cisternas no P1MC, permitindo a verificação do impacto da variação da área de



captação, associada ao sistema, em uma cisterna com capacidade de armazenamento de 16 mil litros.

Pode-se perceber que, mesmo dentro da região semiárida, existem variações pluviométricas que influenciam na eficiência do reservatório, sendo observada uma maior ociosidade na região central, que concentra o clima mais seco.

Foi percebido, também, que menores áreas de captação implicaram em um maior volume ocioso e, conseqüentemente, um maior COV, de onde se conclui que essas áreas não captaram toda água que poderia ser armazenada na cisterna.

Em todos os casos, o COV permitiu uma análise comparativa entre cenários, possibilitando ao projetista perceber qual área de captação melhor atenderia ao seu projeto, por meio da minimização da ociosidade.

Vale ressaltar que os valores aqui apresentados corresponderam a uma demanda de 400 L/dia e a um coeficiente de escoamento superficial de 0,8, sendo recomendada uma análise complementar, em trabalhos futuros, do comportamento da ociosidade destas cisternas com a variação desses parâmetros.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. L. F.; ARAÚJO, J.F.; ORRICO, S.R.M.; COHIM, E. (2021). “*Volume de cisternas rurais: uma contribuição para abastecimento regular de água*”. Revista Aidis, v.14, n.2, pp.639-656. Doi: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.72265>
- ARAÚJO, S. M. S. (2021). “*A seca e suas consequências sobre os recursos do semiárido brasileiro*”. Revista de Geociências do Nordeste, v.7, n.1, pp.52-58. Doi: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID21251>
- ARTICULAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA BRASIL). (s.d.). “*É no semiárido que a vida pulsa*”. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/semiarido/#Indicadores-Sociais>. Acesso em: 25 de maio de 2025.
- CARVALHO, A. T. F. (2020). “*Caracterização climática da quadra chuvosa em Apodi, semiárido brasileiro, nos anos de 2013 a 2017*”. Revista Geografia em Atos, v.2, n.17, pp.4-23. Doi: 10.35416/geoatos.v2i17.7116
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRABALHADORES RURAIS AGRICULTORES E AGRICULTORAS FAMILIARES (CONTAG). (2023). “*Anuário Estatístico da Agricultura Familiar 2023*”. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ww2.contag.org.br/documentos/pdf/17916-696048-anua%CC%81rio-agricultura-2023-web-revisado.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2025.
- DINIZ, P. C. O.; SANTOS, C.F.; ROZENDO, C. (2022). “*Acesso à água para consumo humano no semiárido brasileiro: desafios, tensões e perspectivas do programa “Um Milhão de Cisternas”*”. Contemporânea, v.12, n.1, pp.095-119. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/2316-1329.2022005>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2022). “*Quadro Geográfico de Referência para Produção, Análise e Disseminação de Estatísticas*”. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ibge.gov.br/apps/quadrogeografico/pdf/2022\\_080\\_semiarido.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ibge.gov.br/apps/quadrogeografico/pdf/2022_080_semiarido.pdf). Acesso em: 24 de maio de 2025.

- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. (2016). “*Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity*”. Science Advances, v. 2, n. 2. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- MENDES, P.D.A.G.; ALMEIDA, A. C.; LITRE, G.; RODRIGUES FILHO, S.; SAITO, C.H.; DÁVALOS, N.E.B.; GAIVIZZO, L.A.B.; LINDOSO, D.P.; REIS, F.M.; FERREIRA, J.L. (2022). “*Políticas públicas e adaptação às mudanças climáticas: três estudos de casos no semiárido brasileiro*”. Sustainability in Debate, v. 13, n. 3. Disponível em: [0.18472/SustDeb.v13n3.2022.46064](https://doi.org/10.18472/SustDeb.v13n3.2022.46064)
- SANTOS, V. S.; ABRANTES, A.P. (2023). “*Avaliação do modelo de cisterna adotado pelo programa um milhão de cisternas no município de Sousa-PB*”. Revista DAE, v.71, n.242, pp.217-230. Doi: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.066>
- SILVA, C. S. (2023). “*Metodologia de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva em edificações residenciais no Brasil*”. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- SILVA, C. S.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B.; ALMEIDA, C. N. (2024). “*Proposal of coefficients for performance analysis of reservoir for rainwater storage*”. Journal of Hydrology. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131288>
- SILVA, L. A.P.; SILVA, C.R.; SOUZA, C.M.P.; BOLFE, E. L.; SOUZA, J.P.S.; LEITE, M.E. (2023). “*Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros – Semiárido Brasileiro*” Sociedade & Natureza, v.35. Doi: [10.14393/SN-v35-2023-67666](https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666)
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. (2016). “*Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)*”. International Journal of Climatology, v. 36, n. 6, p. 2644-2659. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>