

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Antônio José Cruz de Araújo (*), Êmele Rádna Rodrigues do Vale, Maria Josicleide Felipe Guedes

* Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), e-mail: antoniojosecruz333@gmail.com

RESUMO

A escassez hídrica é uma adversidade cada vez mais intransigente em todo o mundo em consequência do consumo desenfreado de água, das alterações climáticas e da poluição dos mananciais. Sob essa conjuntura, formas alternativas de recursos hídricos, tais como água de chuva, estão sendo consideradas como opções aprazíveis para reduzir o consumo de água potável. Dessa forma, por meio deste estudo, objetivou-se avaliar a aplicação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial para fins não potáveis sugeridos na NBR 15.527. Foram calculados os volumes de reservatórios para residências de dois municípios situados no Rio Grande do Norte: Natal, a capital do estado; e Mossoró, o segundo município mais populoso do estado. Esses municípios foram selecionados por apresentarem características distintas de precipitação. Desse modo, foi possível analisar a capacidade dos reservatórios para diferentes conjunturas de precipitação, demandas e áreas de captação de água de chuva. Constatou-se que alguns métodos não são apropriados para algumas condições de precipitação, pois resultam sempre no mesmo volume de reservatório, independentemente da demanda de água de chuva, podendo levar à implementação de sistemas sub ou superdimensionados. Portanto, em regiões com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas, como o Nordeste brasileiro, é imprescindível cautela e análise técnica do projetista ao selecionar o método de dimensionamento de reservatórios de água pluvial.

PALAVRAS-CHAVE: água de chuva, cisternas, recursos hídricos, sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A urbanização e as alterações dos hábitos de consumo da população refletem em desequilíbrio entre a demanda e a oferta de água. Nesse contexto, o aproveitamento de água pluvial surgiu como uma das alternativas para minimizar as pressões sobre os recursos hídricos. No Japão, o adensamento urbano levou ao desenvolvimento de inovadores sistemas de aproveitamento de água. Em regiões áridas, como o norte da África e Oriente Médio, são discutidos o aproveitamento e o reúso de água em diversos setores como solução para o déficit hídrico periódico (WILCOX *et al.*, 2016).

Segundo Rupp, Munarim e Ghisi (2011), o dimensionamento da capacidade do reservatório de água pluvial é um dos pontos críticos na implantação do sistema. Geralmente, o reservatório é um dos itens mais custosos na implantação do sistema, impactando substancialmente o tempo de retorno do investimento; e é o principal fator a influenciar na confiabilidade do sistema, evitando falhas no atendimento da demanda.

O dimensionamento do reservatório de água de chuva deve ser realizado criteriosamente, para cada situação específica, considerando a pluviosidade local, área de captação e demanda de água. Logo, o dimensionamento pautado na tradição local não é recomendado, porque pode resultar em sistemas com baixa eficiência (GHISI, 2010).

Nesse sentido, entendendo a relevância do dimensionamento dos reservatórios de água de chuva para seguridade hídrica do sistema, por meio desta pesquisa, foram delineados diversos cenários possíveis de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em residências e seus respectivos cálculos de capacidade de reservatórios, observando os métodos propostos na NBR 15.527 (ABNT, 2007). Os cenários compreenderam distintas demandas e áreas de captação, considerando as características pluviométricas de dois municípios situados no Rio Grande do Norte: Natal e Mossoró.

2 OBJETIVO

Avaliar a aplicação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial para fins não potáveis sugeridos na NBR 15.527.

3 METODOLOGIA

3.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Utilizando os seis métodos sugeridos na NBR 15.527 (ABNT, 2007), foram calculados os volumes de reservatório de água pluvial para fins não potáveis para residências de dois municípios do Rio Grande do Norte: a capital do estado, Natal; e o segundo município mais populoso do estado, Mossoró.

Esses municípios foram selecionados por possuírem características distintas de precipitação, embora se situem no Nordeste brasileiro. O município de Natal apresenta precipitação média anual de 1.729 mm. Já Mossoró apresenta precipitação média anual de 637 mm (ANA, 2019). As precipitações médias mensais dos dois municípios são apresentadas na Figura 1.

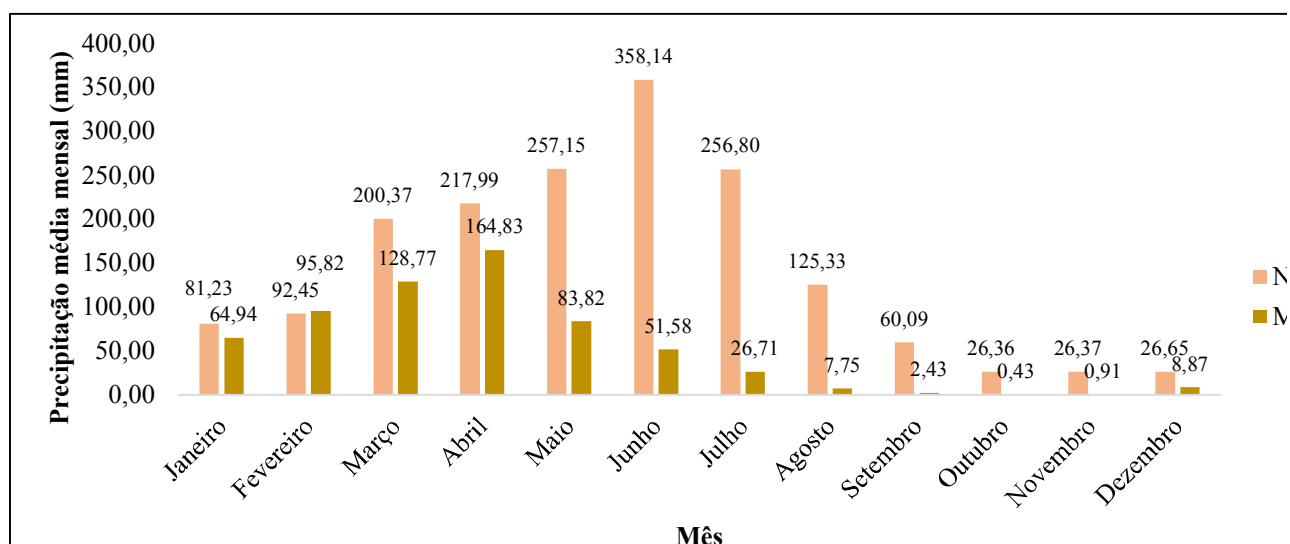


Figura 1: Precipitação média mensal dos municípios de Natal e Mossoró. Fonte: Adaptado de ANA (2019).

As séries históricas de precipitação dos dois municípios foram obtidas através da tabulação de dados contidos no HidroWeb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (ANA, 2019). Para o município de Natal, foi considerada uma série histórica de janeiro de 1995 a dezembro de 2015. E para o município de Mossoró, de janeiro de 1998 a dezembro de 2018. Quando necessário, conforme os dimensionamentos empregados nos diferentes métodos, esses dados foram convertidos para médias anuais.

3.2 CASOS ESTUDADOS

De acordo com cada método aplicado e cada município, os dimensionamentos dos reservatórios de água pluvial foram efetuados para 18 casos distintos, variando-se a área de captação (100, 200 e 300 m²), a porcentagem de substituição de água potável por pluvial (30, 40 e 50%) e o número médio de pessoas por domicílio (3,40 pessoas para Natal e 3,53 pessoas para Mossoró), conforme dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010). Os cenários simulados são apresentados nas Tabelas 1 e 2, para Natal e Mossoró, respectivamente.

Tabela 1. Casos estudados para o dimensionamento dos reservatórios de água pluvial em Natal. Fonte: Autoria própria (2019).

Caso	Área de captação [m ²]	Demanda diária per capita de água potável [L.pessoa ⁻¹ .dia ⁻¹]	Média de pessoas por domicílio	Porcentagem de substituição de água potável por pluvial [%]	Demanda mensal de água pluvial [m ³ .mês ⁻¹]
1				30	4,59
2	100			40	6,12
3				50	7,65
4				30	4,59
5	200	150	3,40	40	6,12
6				50	7,65
7				30	4,59
8	300			40	6,12
9				50	7,65

Tabela 2. Casos estudados para o dimensionamento dos reservatórios de água pluvial em Mossoró. Fonte: Autoria própria (2019).

Caso	Área de captação [m ²]	Demanda diária per capita de água potável [L.pessoa ⁻¹ .dia ⁻¹]	Média de pessoas por domicílio	Porcentagem de substituição de água potável por pluvial [%]	Demanda mensal de água pluvial [m ³ .mês ⁻¹]
10				30	4,77
11	100			40	6,35
12				50	7,94
13				30	4,77
14	200	150	3,53	40	6,35
15				50	7,94
16				30	4,77
17	300			40	6,35
18				50	7,94

3.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL

A NBR 15.527 define que o volume do reservatório de água pluvial deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais. O projetista é o responsável pela seleção de qualquer um dos seis métodos apresentados no documento, desde que a escolha seja justificada (ABNT, 2007).

Neste estudo, para os 18 casos apresentados nas Tabelas 1 e 2, foram avaliados os seis métodos de dimensionamento sugeridos na NBR 15.527: método de Rippl, método da simulação, método de Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e método prático australiano.

3.3.1 Método de Rippl

Neste método foram utilizadas séries históricas mensais de precipitação. A aplicação desta metodologia só é válida para casos onde a demanda é menor que o volume de chuva aproveitável no período avaliado, conforme as Equações 1, 2 e 3.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad \text{Equação (1)}$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad \text{Equação (2)}$$

$$V = \Sigma S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$S_{(t)}$ → volume de água no reservatório no tempo t ;

$D_{(t)}$ → demanda no tempo t ;

$Q_{(t)}$ → volume de chuva aproveitável no tempo t ;

C → coeficiente de escoamento superficial (adotado 0,80, conforme recomendações da NBR 15.527);

V → volume do reservatório (aplicável apenas para $\Sigma D_{(t)} < \Sigma Q_{(t)}$).

3.3.2 Método da simulação

Neste método, para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito (Equações 4, 5 e 6).

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad \text{Equação (4)}$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad \text{Equação (5)}$$

$$\text{Sendo que: } 0 \leq S_{(t)} \leq V \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$S_{(t)}$ → volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q_{(t)}$ → volume de chuva no tempo t ;

$S_{(t-1)}$ → volume de água no reservatório no tempo $t-1$;

$D_{(t)}$ → demanda no tempo t ;

V → volume do reservatório fixado;

C → coeficiente de escoamento superficial (adotado 0,80, conforme recomendações da NBR 15.527).

3.3.3 Método de Azevedo Neto

Neste método o volume de água do reservatório é dimensionado conforme a Equação 7.

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

P → valor numérico de precipitação média anual [mm];

A → valor numérico da área de coleta em projeção [m²];

T → valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

V → valor numérico de volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório [L].

A NBR 15.527 (ABNT, 2007) não define como determinar o número de meses de pouca chuva. À vista disso, neste trabalho foi considerado que os meses que possuem uma precipitação inferior a 70% da precipitação média mensal são os meses de pouca chuva.

3.3.4 Método prático alemão

Este é um método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável (Equação 8).

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

V_{adotado} → valor numérico do volume de água do reservatório;

V → valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual;

D → valor numérico da demanda anual da água não potável.

3.3.5 Método prático inglês

Neste método o volume de água do reservatório é obtido conforme a Equação 9.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

P → valor numérico da precipitação média anual [mm];

A → valor numérico da área de coleta em projeção [m²];

V → valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna [L].

3.3.6 Método prático australiano

O volume de chuva é obtido aplicando-se a Equação 10.

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

Q → volume mensal produzido pela chuva;

A → área de coleta;

C → coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P → precipitação média mensal;

I → interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm.

Neste método o dimensionamento do volume do reservatório é realizado por tentativas por meio da Equação 11, até que seja alcançado um valor dentro de um intervalo de confiança de 90 a 99% (Equação 12).

$$V_t = V_{t-1} - Q_t - D_t \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

- V_t → volume de água no reservatório no fim do mês t ;
 V_{t-1} → volume de água no reservatório no início do mês t ;
 Q_t → volume mensal produzido pela chuva no mês t ;
 D_t → demanda mensal.

A confiança é estimada por meio da Equação 12.

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

P_r → falha (razão entre número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda e número de meses considerado, geralmente 12 meses).

4 RESULTADOS

4.1 CAPACIDADES DOS RESERVATÓRIOS

Os resultados dos dimensionamentos dos reservatórios para o município de Natal são expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos dimensionamentos dos reservatórios de água pluvial para o município de Natal. Fonte: Autoria própria (2019).

DADOS DE ENTRADA				
Demanda diária <i>per capita</i> de água potável [L.pessoa ⁻¹ .dia ⁻¹]				150
Média de pessoas por domicílio [pessoas]				3,40
Porcentagem de substituição de água potável por pluvial [%]	30	40	50	
MÉTODO	CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO [m ³]			ÁREA DE CAPTAÇÃO [m ²]
Rippl	7,4	-	-	
Simulação	7,5	13,4	-	
Azevedo Neto	43,6	43,6	43,6	100
Prático alemão	3,3	4,4	5,5	
Prático inglês	8,6	8,6	8,6	
Prático australiano	3,0	10,7	-	
Rippl	1,1	29,2	38,4	
Simulação	1,1	5,7	10,3	
Azevedo Neto	87,1	87,1	87,1	200
Prático alemão	3,3	4,4	5,5	
Prático inglês	17,3	17,3	17,3	
Prático australiano	*	*	2,6	
Rippl	*	25,7	34,6	
Simulação	*	*	3,9	
Azevedo Neto	130,7	130,7	130,7	300
Prático alemão	3,3	4,4	5,5	
Prático inglês	25,9	25,9	25,9	
Prático australiano	*	*	*	

(-): Não foi possível dimensionar o reservatório. (*): Qualquer capacidade de reservatório atenderá a demanda.

Não foi possível dimensionar os reservatórios pelo método de Rippl para 3 casos simulados em Natal. Para as demandas de água pluvial de 40 e 50% da demanda total e área de captação de 100 m², não é possível efetuar o dimensionamento pelo método de Rippl, porque as demandas de água de chuva extrapolam o volume de água captado pela cobertura. Já para os telhados de 300 m² e uma baixa demanda (30% da demanda total), não foi possível estimar a capacidade do reservatório de acumulação pelo método de Rippl, pois em todos os meses a demanda de água pluvial será inferior à oferta, assim, qualquer volume de reservatório escolhido é suficiente para garantir água pluvial durante os 12 meses do ano.

Na aplicação do método da simulação não foi possível efetuar o dimensionamento dos reservatórios para 3 casos em Natal. Em um deles, a demanda de água pluvial extrapola a oferta. Nos outros dois casos, onde a demanda é baixa comparada à área de captação, qualquer capacidade de reservatório é bastante para garantir o atendimento.

Em Natal, em um dos casos dimensionados por meio do método prático australiano não foi possível atingir o intervalo de confiança recomendado. Para outros cinco casos, a aplicação do método indica que qualquer volume de reservatório é suficiente para garantir o suprimento necessário.

Os resultados dos dimensionamentos dos reservatórios para o município de Mossoró são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados dos dimensionamentos dos reservatórios de água pluvial para o município de Mossoró. Fonte: Autoria própria (2019).

DADOS DE ENTRADA				
Demanda diária <i>per capita</i> de água potável [L.pessoa ⁻¹ .dia ⁻¹]		150		
Média de pessoas por domicílio [pessoas]		3,53		
Porcentagem de substituição de água potável por pluvial [%]	30	40	50	
MÉTODO	CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO [m ³]			ÁREA DE CAPTAÇÃO [m ²]
Rippl	-	-	-	
Simulação	-	-	-	
Azevedo Neto	16,0	16,0	16,0	100
Prático alemão	3,0	3,0	3,0	
Prático inglês	3,2	3,2	3,2	
Prático australiano	-	-	-	
Rippl	21,1	30,6	40,1	
Simulação	21,1	30,6	40,1	
Azevedo Neto	32,1	32,1	32,1	200
Prático alemão	3,4	4,6	5,7	
Prático inglês	6,4	6,4	6,4	
Prático australiano	*	2,6	11,0	
Rippl	18,9	26,9	36,3	
Simulação	19,0	26,9	36,4	
Azevedo Neto	48,2	48,2	48,2	300
Prático alemão	3,4	4,6	5,7	
Prático inglês	9,6	9,6	9,6	
Prático australiano	*	*	0,8	

(-): Não foi possível dimensionar o reservatório. (*): Qualquer capacidade de reservatório atenderá a demanda.

Devido às características pluviométricas de Mossoró, o dimensionamento dos reservatórios de água pluvial pautado no método de Rippl não pode ser sucedido em 3 casos contemplando área de captação de 100 m². Nesses casos, o somatório da demanda é maior que o somatório do volume de chuva aproveitável, requerendo maiores áreas de captação. O mesmo ocorre em 3 casos não possíveis de serem modelados pelo método da simulação e prático australiano, pois não satisfazem o intervalo de confiança exigido.

Ao comparar os dois municípios, percebe-se que a aplicação do método de Rippl conduz para valores de capacidades de reservatórios relativamente próximos para demandas médias e altas (40% e 50%, respectivamente), com valores moderadamente superiores para o município com menor precipitação, Mossoró. Já para demandas baixas (30%), o método de Rippl encaminha para valores de capacidade de reservatório bem distintos, como no caso de área de captação de 200 m² e demanda de 30% (onde em Natal um reservatório de 1,1 m³ supre a necessidade e em Mossoró apenas um de 21,1 m³).

Os resultados obtidos pelos métodos de Azevedo Neto e prático inglês mostram-se constantes em função da demanda mensal de água pluvial, variando somente de acordo com a área de captação. Não obstante, o método de Azevedo Neto considera as deficiências dos meses de pouca chuva ou seca, enquanto que o método prático inglês desconsidera tais efeitos. Com essas características, esses dois métodos pressupõem que quanto maior a área de captação e o volume de água precipitado, maior deverá ser a capacidade do reservatório. Contudo, o método de Azevedo Neto, na maioria dos casos, traduz em capacidades de reservatórios elevadas em relação aos demais métodos.

5 CONCLUSÃO

De maneira geral, pode-se concluir que os métodos apresentados na NBR 15.527 (ABNT, 2007) mostram-se impraticáveis para alguns casos avaliados. Além disso, a aplicação das diferentes metodologias propostas na norma fornece valores díspares de capacidades de reservatórios. Os métodos práticos alemão e inglês desconsideram as deficiências dos meses de pouca chuva ou seca, e ao aplicá-lo, foram obtidas capacidades de reservatórios relativamente reduzidas em relação aos outros métodos. Sendo assim, em regiões com intensa variabilidade temporal e espacial de

chuvas, como o Nordeste brasileiro, é imprescindível cautela e análise técnica do projetista ao selecionar o método de dimensionamento de reservatórios de água pluvial, visando evitar a implementação de sistemas sub ou superdimensionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15.527**: Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 15 p.
2. Agência Nacional de Águas (ANA). **HidroWeb**: Sistema de Informações Hidrológicas. 2019. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 23 de maio de 2019.
3. GHISI, E. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2381-2403, 2010.
4. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 23 de maio de 2019.
5. RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.
6. WILCOX, J.; NASIRI, F.; BELL, S.; SAIFUR, R. Urban water reuse: a triple bottom line assessment framework and review. **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 448-456, nov. 2016.