



16, 17 e 18 de setembro de 2014  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP

# **CÁLCULO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA POR PROCESSO INCREMENTAL**

## **CALCULATION OF THE RAINWATER RESERVOIR VOLUME BY INCREMENTAL PROCESS**

**Luiz Antonio Farani de Souza**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana, lasouza@utfpr.edu.br

*Palavras-Chave: aproveitamento de água da chuva, volume do reservatório.*

*Key Words: rainwater harvesting, reservoir volume.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho objetiva apresentar uma metodologia para a determinação do volume mínimo do reservatório de água da chuva para fins não potáveis a partir de um procedimento incremental. Um algoritmo é proposto e sua formulação matemática é elaborada a partir dos métodos da Simulação e Australiano, ambos descritos na NBR 15527/2007. Em adição, este algoritmo é comparado com modelos encontrados na literatura em um estudo de caso, verificando-se o desempenho do reservatório por meio dos parâmetros eficiência e confiança do sistema.

### **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O percentual mensal de demanda atendida com água da chuva (DA) corresponde à divisão entre o volume captado pelo reservatório e a demanda mensal constante D no mês correspondente. O valor de DA pertence ao intervalo fechado  $[0, 100\%]$ , sendo que para  $DA = 0$  a demanda não é atendida, e para  $DA = 100\%$  a demanda é totalmente atendida. Nas simulações, considerou-se que o reservatório atende à demanda quando  $DA \geq 90\%$ .

A eficiência (e) indica a fração da demanda nominal por água não potável que é atendida pelo sistema de aproveitamento de água de chuva. O valor de eficiência varia entre zero e um (totalmente ineficiente e totalmente eficiente, respectivamente), e é determinado pelo quociente

entre o consumo de água não potável atendido pelo sistema de água de chuva ( $C_{AC}$ ) e o consumo total de água não potável atendido ( $C_{TNP}$ ).

Neste trabalho propõe-se uma metodologia para a determinação do volume mínimo do reservatório (T) por meio de um processo incremental descrito pelo algoritmo, na iteração i, apresentado na Figura 1.

```

Entrada:  ${}^tP$ , A,  ${}^tP_{desc}$ ,  ${}^tD$ , C,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$ ,  $\varepsilon_4$ ,  $T_0$ ,  $\Delta T$ 
Enquanto (Confiança $_i < \varepsilon_1$  OU  $e_i < \varepsilon_2$ ) E ( $|DAM_i - DAM_{i-1}| > \varepsilon_3$ ) E ( $|e_i - e_{i-1}| > \varepsilon_4$ )
  Para  $t = 1, \dots, n$ 
    Calcular  ${}^tQ_i = {}^tV_{p_i} - {}^tV_{desc_i}$ 
    Calcular  ${}^tV_i = {}^{t-1}V_i + {}^tQ_i - {}^tD_i$ 
    Se  ${}^tV_i < 0$ ,  ${}^tV_i = 0$ 
    Se  ${}^tV_i > T_i$ ,  ${}^tV_i = T_i$ 
  Fim
  Calcular Confiança $_i = 100 \left(1 - \frac{N_{r_i}}{n}\right)$ 
  Calcular  $e_i = \frac{\sum C_{AC_i}}{\sum C_{TNP_i}}$ 
  Calcular  $DAM_i = \frac{\sum_{i=1}^n {}^tDA_i}{n}$ 
  Atualizar  $T_{i+1} = T_i + \Delta T$ 
Fim
Saída:  $T_i$ , Confiança $_i$ ,  $e_i$ .

```

Figura 1. Algoritmo para a determinação do volume mínimo de reservação de água da chuva.

Com relação às variáveis do algoritmo, A é a área de captação,  ${}^tP$  a precipitação no mês t,  ${}^tP_{desc}$  a precipitação de descarte no mês t, n o número total de meses, C o coeficiente de escoamento superficial,  $\varepsilon_j$ , com  $j = 1, \dots, 4$  os valores limites,  $T_0$  o volume inicial adotado para o reservatório,  $\Delta T$  o incremento de volume,  ${}^tQ_i$  o volume produzido pela chuva no mês t,  ${}^tV_{desc_i}$  o volume correspondente ao descarte da primeira chuva no mês t,  ${}^tV_{p_i}$  o volume total de precipitação no mês t,  ${}^tV_i$  o volume de água no reservatório no fim do mês t,  ${}^{t-1}V_i$  o volume de água no reservatório no início do mês t,  ${}^tD_i$  a demanda no mês t,  $e_i$  a eficiência,  $DAM_i$  a demanda média anual, e  $N_{r_i}$  o número de meses em que o reservatório não atendeu ao percentual mensal de demanda com água de chuva (DA).

No método empírico Azevedo Neto, descrito na NBR 15527/2007, o volume de água da chuva do reservatório (T) é obtido pela seguinte equação:

$$T = 0,042 A R (P_{ma} - P_{desc}d_a) \quad (1)$$

Onde  $P_{ma}$  é a precipitação média anual, R o número de meses de pouca chuva ou seca, e  $d_a$  o número total de dias com chuva no ano. No método prático Inglês, também apresentado na NBR 15527/2007, o volume de água da chuva do reservatório (T) é determinado por:

$$T = 0,05 A ( P_{ma} - P_{desc} d_a) \quad (2)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item apresenta-se um exemplo de aplicação da metodologia proposta que consiste na determinação do volume mínimo do reservatório de água da chuva (T) para uma residência unifamiliar. No cálculo da demanda interna mensal constante (D), adotou-se um volume de seis litros por descarga e frequência de cinco descargas por habitante, conforme proposto por Tomaz (2000). Supondo quatro habitantes, chega-se no valor de 3,60 m<sup>3</sup>/mês para a mesma. Na Tabela 1 a precipitação mensal média e o número total de dias de chuva correspondente são apresentados, a partir do conjunto de dados obtido da estação pluviométrica de Curitiba (025490006), localizada na UFPR, compreendido entre os anos de 1889 a 2005 (GOMES *et al.*, 2010). Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros dos métodos implementados computacionalmente.

Tabela 1. Precipitação média mensal e o número total de dias de chuva.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Precipitação média (mm)</b>	189	154	123,4	80,9	98	97,5	79,8	80,1	124,6	136	114,8	148,2
<b>Dias de chuva</b>	19	18	18	16	17	15	14	13	15	15	15	17

Tabela 2. Parâmetros dos métodos.

Algoritmo proposto	Azevedo Neto	Inglês
$n = 12$ $\varepsilon_1 = 100$ $\varepsilon_2 = 1$ $\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 10^{-15}$ $T_0 = 0$ $\Delta T = 0,001$ $C = 0,8$	$P_{ma} = 1462,3 \text{ mm}$ $d_a = 192 \text{ dias}$ $R = 1$	$P_{ma} = 1462,3 \text{ mm}$ $d_a = 192 \text{ dias}$

Na Tabela 3 são apresentados os volumes mínimos de reservação e os respectivos valores da eficiência e confiança para cada método, supondo nas simulações a área de captação A igual a 100 m<sup>2</sup> e assumindo os valores 0 ou 2 mm para a precipitação de descarte  $P_{desc}$ . Fazendo a comparação dos métodos analisados, vê-se que os volumes de reservação obtidos mostraram grande variabilidade entre si, sendo que o algoritmo proposto foi o que conduziu ao menor volume de reservação em todos os casos. Quanto ao desempenho do sistema, todos os métodos apresentaram valor máximo tanto para a confiança (100%) quanto para a eficiência (1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), indicando que a

demanda interna mensal requerida é totalmente atendida ao longo do ano, não havendo necessidade de abastecimento de água de outra fonte. Observa-se que houve um aumento do volume à proporção que aumenta o volume de descarte da primeira chuva para o algoritmo proposto. Esse incremento se deve à diminuição do volume de água da chuva que entra no sistema, uma vez que a demanda ao longo do ano permanece constante. Diferentemente para os métodos empíricos Azevedo Neto e Inglês, com o aumento do volume de descarte houve uma diminuição do volume de reservação.

Tabela 3. Volume do reservatório, confiança e eficiência para  $A = 100 \text{ m}^2$ .

Método	$P_{\text{desc}} = 0$			$P_{\text{desc}} = 2 \text{ mm}$		
	T ( $\text{m}^3$ )	Confiança (%)	Eficiência ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	T ( $\text{m}^3$ )	Confiança (%)	Eficiência ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )
Azevedo Neto	5,9905	100	1	4,3777	100	1
Prático Inglês	7,1315	100	1	5,2115	100	1
Algoritmo proposta	3,6010	100	1	3,9290	100	1

#### 4. CONCLUSÃO

A implementação computacional de modelos de dimensionamento de reservatório constitui-se como uma ferramenta de suporte à decisão quanto ao volume mínimo a ser adotado, visto que é possível se fazer um estudo de sensibilidade das variáveis de entrada do modelo (demanda, área de captação, volume de descarte da primeira chuva, precipitação média mensal ou diária, entre outras), bem como a verificação rápida de resultados. Ademais, devido à fácil aplicação e relativa simplicidade, o algoritmo proposto pode ser utilizado no dimensionamento do reservatório de água da chuva de residências unifamiliares ou de pequenos estabelecimentos, pois permite ao projetista definir previamente a confiança e a eficiência do sistema de aproveitamento de água da chuva, em função das particularidades de cada caso no que diz respeito à existência de fontes alternativas, tipo de consumo (parcial, intermitente ou total), características pluviométricas da região, entre outras.

#### AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida com o apoio financeiro da UTFPR.

#### REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. São Paulo, 2007.

GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M. Dimensionamento de Reservatórios de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n.1, p. 89-100, 2010.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. Navegar Editora, São Paulo, 2000.