

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESERVAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Luiz Antonio Farani de Souza – Universidade Federal da Fronteira Sul – E-mail: lafarani@yahoo.com.br

Resumo: O aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas é assunto de recentes discussões e permeia o tema de construções sustentáveis. O reservatório de armazenamento, item imprescindível do sistema, depende de características da captação, dos índices pluviométricos locais e das demandas exercidas. Questões técnicas ainda devem ser mais bem estudadas, dado que, para o adequado funcionamento do sistema, a capacidade de reservação é fundamental e, para tal, deve ser dimensionada com base na avaliação do nível de atendimento à demanda e eficiência. Visando obter uma ferramenta prática de auxílio à estimativa de desempenho de sistemas de águas de chuva, este artigo propõe uma metodologia para determinar o volume do reservatório de água da chuva para fins não potáveis a partir de um procedimento incremental. Um algoritmo é proposto e os resultados são confrontados com os métodos Azevedo Neto, Alemão, Rippl e Interativo. As análises foram realizadas a partir de dados mensais de precipitação do Município de São Luiz Gonzaga – RS, e o desempenho do reservatório de água pluvial é avaliado através da determinação dos seguintes parâmetros de projeto: volume de reservação, volume de suprimento, volume extravasado, percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência do sistema.

Palavras-chave: aproveitamento de água da chuva; dimensionamento de reservatório.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE RESERVATION CAPACITY OF RAINWATER HARVESTING SYSTEM

Abstract: The urban rainwater harvesting is an up-to-date subject and is linked to sustainable builds theme. The cistern, important item in system, depends on catchments characteristics, local rainfall and demands. Technical questions must be further studied, since for accurate functioning of the system it is essential to determine the reservoir capacity; therefore, it must be dimensioned based on the assessment of the level of demand and efficiency. Seeking a practical tool to aid the estimated performance of rainwater systems, this paper proposes a methodology to determine the volume of the reservoir of rainwater for non-potable purposes from an incremental procedure. An algorithm is proposed and the results are compared with the methods Azevedo Neto, German, Rippl and Interactive. Analyses were carried out using monthly data of precipitation in São Luiz Gonzaga – RS, and performance of the rainwater reservoir is assessed by determining the following design parameters: volume of reservation, supply volume, extravasated volume, monthly percentage of demand with rainwater, confidently and efficiently of the system.

Keywords: rainwater harvesting; reservoir dimensioning.

1. INTRODUÇÃO

O reservatório é um item imprescindível no sistema de aproveitamento de água pluvial e suas dimensões devem ser obtidas em função da área disponível para implantação, e seu volume deve atender às necessidades para as quais foram consideradas sem permanecer ocioso nem extravasar grande quantidade de água. Evidentemente, a definição do consumo depende do atendimento requerido e de sua frequência, podendo em alguns casos prever fonte alternativa (MORUZZI; OLIVEIRA, 2010).

Geralmente, durante os processos de dimensionamento de reservatório para água de chuva, procura-se construir grandes reservatórios buscando com isso regularizar a vazão, ou seja, acumular água durante o período chuvoso para ser utilizada durante a estiagem. Essa lógica aplica-se muito bem a regiões que não dispõem de outras fontes. Todavia, no dimensionamento desses sistemas para área urbana que, frequentemente, possui sistemas públicos de abastecimento de água e inexistência de áreas livres para instalação de grandes

volumes de reservação, a utilização de água pluvial deve funcionar como uma fonte complementar, que será utilizada durante o período de chuvas, permitindo, contudo, que esse sistema seja abastecido pela rede pública durante as estiagens.

Atualmente a maioria dos projetos de reservatórios de água pluvial com a finalidade de aproveitamento em fins não potáveis tem sido conduzida na base de critérios puramente empíricos. A predominância de tais critérios é decorrência da variedade e complexidade dos métodos de dimensionamento encontrados na literatura, o que muitas vezes dificulta a utilização dos mesmos. Sendo assim, o estudo minucioso de tais métodos torna-se uma etapa necessária para facilitar a aplicação deles (CARVALHO *et al.*, 2007).

Este artigo objetiva apresentar uma metodologia para determinar o volume do reservatório de água da chuva para fins não potáveis a partir de um procedimento incremental. Um algoritmo é proposto e a formulação é obtida a partir de dois métodos descritos pela NBR 15527/2007: Simulação e Australiano. Os resultados obtidos com essa metodologia são confrontados com os métodos Azevedo Neto, Alemão, Rippl e Interativo. Em adição, o método Alemão foi adaptado neste trabalho acrescentado na sua formulação o volume anual de descarte da primeira chuva. As análises foram realizadas a partir de dados mensais de precipitação do Município de São Luiz Gonzaga – RS referentes ao ano 2012, e o desempenho do reservatório de água pluvial é avaliado através da determinação dos seguintes parâmetros de projeto: volume de reservação, volume de suprimento, volume extravasado (*overflow*), percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência do sistema. Os modelos foram implementados computacionalmente através do programa gratuito Scilab - versão 5.4. Os resultados obtidos foram compilados através de gráficos gerados com o programa Excel 2007.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Determinação do volume passível de aproveitamento

Para o dimensionamento do reservatório de aproveitamento de água pluvial, foram utilizados os dados de precipitação da estação meteorológica do Município de São Luiz Gonzaga – RS referentes ao ano 2012, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Figura 1).

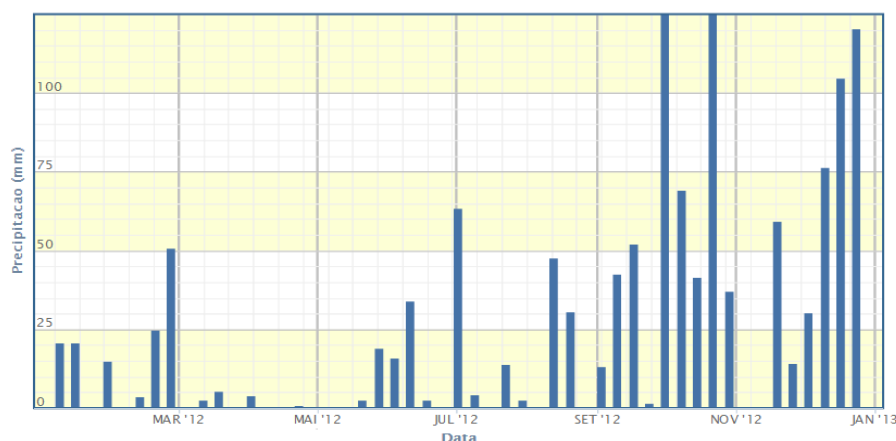


Figura 1 – Índices pluviométricos diários do Município de São Luiz Gonzaga – RS (INMET).

Segundo Moruzzi *et al.* (2008), para projetos de sistemas de aproveitamento de água pluvial, recomenda-se utilizar um histórico de dados de pelo menos dez anos. Contudo, tendo

em vista que o objetivo deste artigo é propor uma metodologia para o dimensionamento do volume de reservatório e compará-la com métodos existentes na literatura, a adoção dos dados pluviométricos do ano de 2012 reflete o erro referente à representatividade estatística, igualmente para os métodos investigados.

O volume total de precipitação mensal (V_p), dado em m^3 , é determinado por (TOMAZ, 2005):

$$V_p = \frac{C A P_m}{1000} \quad (1)$$

Onde C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional), P_m a precipitação média mensal (mm), e A a área de captação (m^2). O volume correspondente ao descarte da primeira chuva (V_{desc}), dado em m^3 , é calculado por:

$$V_{desc} = \frac{A P_{desc} d_m}{1000} \quad (2)$$

Onde P_{desc} é a precipitação de descarte da primeira chuva (mm), e d_m o número de dias com precipitação no mês correspondente. Neste trabalho foram investigados dois valores correspondentes à precipitação de descarte – 0 e 2 mm.

O volume passível de aproveitamento (V_{aprov}) é determinado por (MORUZZI *et al.*, 2008):

$$V_{aprov} = V_p - V_{desc} \quad (3)$$

2.2 Determinação da demanda de água não potável

A demanda de água não potável foi calculada considerando apenas o consumo de água em vaso sanitário de residência unifamiliar. Para tal, adotou-se um volume de seis litros por descarga e frequência de cinco descargas por habitante, conforme proposto por Tomaz (2000). A Tabela 1 mostra as demandas diárias e mensais correspondentes a quatro e cinco habitantes.

Tabela 1 – Demanda mensal e diária em função do número de habitantes em residência unifamiliar.

Número de habitantes	Demanda diária (m^3)	Demanda mensal D_m (m^3)
4	0,12	3,60
5	0,15	4,50

2.3 Modelos de dimensionamento do volume do reservatório

2.3.1 Método prático Azevedo Neto

Trata-se de um método empírico apresentado na NBR 15527/2007. O volume de água do reservatório V , expresso em L, é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 P_a A R \quad (4)$$

Onde P_a é a precipitação média anual (mm), A a área de coleta em projeção (m^2), e R o número de meses de pouca chuva ou seca.

2.3.2 Método prático Alemão Adaptado

Descrito na NBR 15527/2007, este método foi adaptado neste trabalho acrescentado na sua formulação o volume anual de descarte da primeira chuva. O volume do reservatório é

obtido considerando o menor entre os seguintes valores: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável. Matematicamente, o método é descrito por:

$$V = \min \left\{ 0,06 V_a, 0,06 D_a \right\} = \min \left\{ 0,06 V_{aprova}, 0,72 D_m \right\} \quad (5)$$

Onde V_a é volume anual de precipitação aproveitável (L), D_a a demanda anual de água não potável (L), e V_{aprova} o volume aproveitável anual (L) dado pela seguinte equação:

$$V_{aprova} = C A P_a - A P_{desc} d_a \quad (6)$$

Onde d_a é o número de dias com precipitação no ano, e P_a a precipitação média anual.

2.3.3 Método de Rippl

O Método de Rippl é um método de cálculo do volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Esse método se baseia no diagrama de massa do sistema que corresponde à integral de um hidrograma, sendo um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório, podendo ser apresentado pelas seguintes equações (NGIGI, 1999):

$$S_m = \sum (D_m - V_{aprov}) \quad (7)$$

$$V = \sum S_m, \text{ somente para valores } S_m > 0 \quad (8)$$

Onde S_m é o volume de água no reservatório no mês m (m^3), V é o volume do reservatório, e D_m a demanda ou consumo no mês m (m^3). Nesse método, o volume de água que escoou pela superfície de captação é subtraído da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo.

2.3.4 Método Interativo

Adaptado do Método de Rippl, o Método Interativo faz o cálculo do volume de chuva captável por mês e por ano do sistema e coloca esse dado à disposição do programador, para que o mesmo possa tê-lo como base, evitando a pré-determinação do volume acima do mesmo. Determinado o volume do reservatório pelo programador o percentual de demanda é verificado e, caso não esteja satisfatório, altera-se o volume do reservatório até encontrar um valor ideal, o qual varia de acordo com as possibilidades físicas e financeiras de cada empreendimento (ANNECCHINI, 2005).

Adotou-se que o volume do tanque escolhido V será, em metros cúbicos, quando a média dos valores obtidos da divisão do volume captado pelo reservatório no mês m (levando-se em conta o volume de reservação no início do mês m e o volume coletado pelo sistema com ou sem descarte da primeira chuva no mês m) pela demanda mensal constante, vezes 100, for maior ou igual a 90%.

2.3.5 Método Adaptado

Este método de dimensionamento do reservatório é adaptado dos métodos da Simulação e Australiano, ambos descritos na NBR 15527/2007. O cálculo do volume do reservatório T é obtido por um processo incremental, expresso matematicamente no tempo t pelas seguintes equações:

$$V_m^t = V_{m-1}^t + Q_m^t - D_m^t, \quad m = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$T^{t+1} = T^t + \Delta T \quad (10)$$

Com as seguintes restrições:

$$0 \leq V_m^t \leq T^t \quad (11)$$

$$\text{Confiança}^t \geq \varepsilon_1 \quad (12)$$

$$e^t \geq \varepsilon_2 \quad (13)$$

$$\Delta e^t = e^t - e^{t-1} \leq \varepsilon_3 \quad (14)$$

Onde e^t é a confiança no tempo t , T^t o volume adotado do reservatório no tempo t , V_m^t o volume de água que está no reservatório no fim do mês m no tempo t (m^3), V_{m-1}^t o volume de água que está no reservatório no início do mês m no tempo t (m^3), D_m^t a demanda mensal no tempo t (m^3), n o número total de meses, ε_1 e ε_2 os valores limites para a confiança e eficiência, respectivamente, Δe^t a diferença entre as eficiências obtidas nos tempos t e $t-1$, ε_3 o valor limite para Δe^t , e ΔT o incremento de volume de reservação (m^3). Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio. O volume produzido pela chuva Q_m^t (m^3) no mês m é dado por:

$$Q_m^t = V_{\text{aprov}}^t \quad (15)$$

2.4 Verificação do volume do reservatório

Para a verificação do volume do reservatório foram considerados os seguintes parâmetros de projeto:

2.4.1 Volume extravasado (*Overflow*)

Esse parâmetro se refere ao volume de extravasamento de água da chuva do reservatório (MAY, 2004).

2.4.2 Suprimento de água de outra fonte de alimentação

É o volume de água que pode vir do abastecimento público, de caminhão-tanque ou de outra procedência, caso o volume de chuva no reservatório não tenha atendido à demanda (MAY, 2004).

2.4.3 Percentual mensal de demanda atendida com água da chuva (DA)

Esse percentual corresponde à divisão do volume captado pelo reservatório dividido pela demanda mensal constante no mês correspondente, vezes 100. 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.

2.4.4 Confiança

Para o cálculo da confiança, utilizam-se as seguintes equações:

$$\text{Confiança}(\%) = 100 (1 - P_r) \quad (16)$$

$$P_r = \frac{N_r}{n} \quad (17)$$

Onde P_r é a falha, N_r o número de meses em que o reservatório não atendeu ao percentual mensal de demanda com água de chuva (DA), e n o número de meses considerado, geralmente 12 meses. Considerou-se que o reservatório atendeu à demanda quando $DA \geq 90\%$.

2.4.5 Eficiência

A eficiência 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 calculado por (DORNELLES *et al.*, 2012):

$$e = \frac{\sum C_{AC}}{\sum C_{TNP}} \quad (18)$$

Onde C_{AC} é o consumo de água não potável atendido pelo sistema de água de chuva; e C_{TNP} o consumo total de água não potável atendido, ou seja, o que é atendido pelo sistema de água de chuva mais o que é complementado com água tratada fornecida através da rede de abastecimento.

2.5 Algoritmo para o método Adaptado

Para um procedimento incremental, o volume de reservação T^t é obtido para o passo de tempo t através de o algoritmo descrito a seguir:

Entrada: P_m , A , P_{desc} , D_m^1 , C , ε_1 , ε_2 , ε_3 , T^1 , ΔT .

$t = 0$

Enquanto (Confiança^t < ε_1 OU $e^t < \varepsilon_2$) E ($\Delta e^t > \varepsilon_3$)

$t = t+1$

Para $m = 1, \dots, n$

Calcular $Q_m^t = V_p^t - V_{desc}^t$

Calcular $V_m^t = V_{m-1}^t + Q_m^t - D_m^t$

Se $V_m^t < 0$, $V_m^t = 0$.

Se $V_m^t > T^t$, $V_m^t = T^t$.

Fim

Calcular Confiança^t = $100 \left(1 - \frac{N_r^t}{n}\right)$

Calcular $e^t = \frac{\sum C_{AC}}{\sum C_{TNP}}$

Calcular $\Delta e^t = |e^t - e^{t-1}|$

Atualizar $T^{t+1} = T^t + \Delta T$

Fim

Saída: T^t , Confiança^t, e^t

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho do reservatório de água pluvial foi avaliado através de simulações com o método Adaptado cuja formulação é baseada em dois métodos descritos pela NBR 15527/2007: Simulação e Australiano. Os resultados são confrontados com os métodos Azevedo Neto, Alemão Adaptado, Rippl e Interativo. As análises foram realizadas a partir de dados mensais de precipitação do Município de São Luiz Gonzaga – RS referentes ao ano 2012, com a determinação das seguintes variáveis: volume de reservação, volume de suprimento, volume extravasado (*overflow*), percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência do sistema. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros utilizados para cada método.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados nos métodos de dimensionamento.

Azevedo Neto	Alemão Adaptado	Método Adaptado	Rippl	Interativo
$P_a = 1359 \text{ mm}$ $A = 100 \text{ e } 200 \text{ m}^2$ $R = 1 \text{ mês}$	$P_a = 1359 \text{ mm}$ $A = 100 \text{ e } 200 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_a = 43200 \text{ L (} D_m = 3,6\text{m}^3\text{)}$ $D_a = 54000 \text{ L (} D_m = 4,5\text{m}^3\text{)}$ $d_a = 36 \text{ dias}$	$A = 100 \text{ e } 200 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_m = 3,6 \text{ e } 4,5 \text{ m}^3$ $\varepsilon_1 = 80 \%$ $\varepsilon_2 = 0,9$ $\varepsilon_3 = 10^{-8}$ $\Delta T = 0,1 \text{ m}^3$ $n = 12 \text{ meses}$	$A = 100 \text{ e } 200 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_m = 3,6 \text{ e } 4,5 \text{ m}^3$	$A = 100 \text{ e } 200 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_m = 3,6 \text{ e } 4,5 \text{ m}^3$

Nas Figuras 2 e 3 são comparados os volumes de reservação, de suprimento anual e extravasado anual (*overflow*) obtidos das simulações efetuadas com os métodos, referentes às demandas $3,6 \text{ m}^3/\text{mês}$ e $4,5 \text{ m}^3/\text{mês}$, respectivamente.

Os volumes de reservação obtidos pelos métodos analisados mostraram grande variabilidade entre si. O método de Rippl apresentou maiores volumes de reservação nas simulações considerando a área de captação igual a 100 m^2 , e o método prático de Azevedo Neto para a área igual a 200 m^2 .

Com relação ao método de Rippl, esse faz uma verificação do período crítico do sistema, e retorna como resultado de volume de reservação o somatório do volume de desabastecimento correspondente a esse período, sem analisar se o sistema é capaz de captar chuva para encher o volume proposto.

Já o método prático Alemão Adaptado foi o que resultou nos menores volumes, sendo os valores iguais a $2,59 \text{ m}^3$ e $3,24 \text{ m}^3$ para as demandas de $3,6 \text{ m}^3$ e $4,5 \text{ m}^3$, respectivamente. Não houve variação desses volumes com a variação da área de captação e do volume descarte, porque esse método utiliza a demanda anual de água não potável ou o volume anual captado para estimar o volume de reservação, sendo o primeiro o que prevaleceu em todos os casos ($0,06 D_a$).

Para as simulações efetuadas com os métodos de Rippl e Interativo, observou-se que houve um aumento do volume à proporção que aumenta o volume de descarte da primeira chuva para uma mesma área e demanda. Esse incremento se deve à diminuição do volume de água pluvial que entra no sistema, uma vez que a demanda ao longo do ano permanece constante. Para os métodos Azevedo Neto e Alemão Adaptado a variação do volume de descarte não alterou o volume de reservação nos casos analisados, pois os volumes do reservatório preditos por esses modelos representam uma parcela do volume total de chuva captado no ano, independentemente de como este se distribui ao longo do tempo.

No caso do método Adaptado, houve aumento do volume de reservação quando se supôs o descarte da primeira chuva para as análises considerando a área de captação igual a 200 m². Diferentemente, quando se adotou a área igual a 100 m² o volume de reservação diminuiu, porque mesmo se aumentando esse volume os valores da eficiência e da confiança permaneceram constantes. Nesse caso, de acordo com o algoritmo proposto, o modelo convergiu no momento em que o valor da diferença Δe ficou menor ou igual ao limite ϵ_3 .

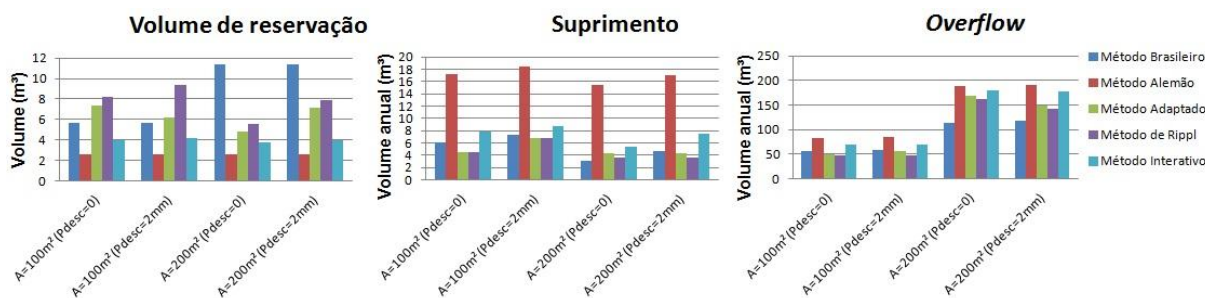


Figura 2 – Comparação entre os volumes de reservação, de suprimento anual e extravasado anual (*overflow*), referentes à demanda 3,6 m³/mês.

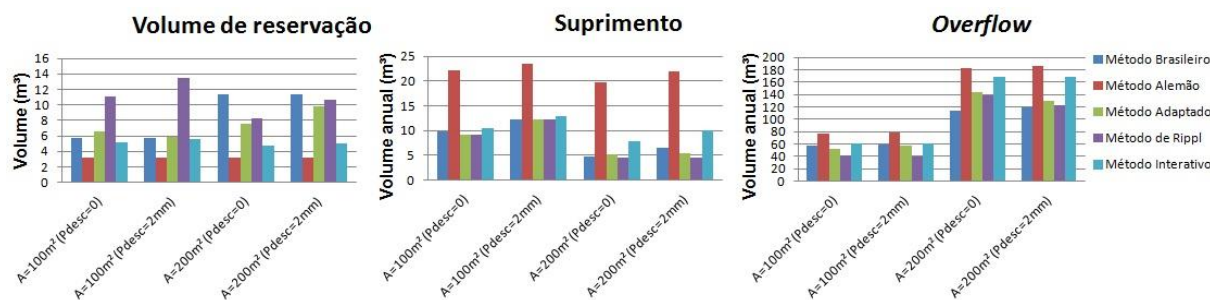


Figura 3 – Comparação entre os volumes de reservação, de suprimento anual e extravasado anual (*overflow*), referentes à demanda 4,5 m³/mês.

Na aplicação dos métodos de Rippl e Interativo vale ressaltar que, durante o desenvolvimento deste trabalho, notou-se que para uma mesma demanda a área de captação tem uma relação inversamente proporcional ao volume final obtido para o reservatório, ou seja, quanto maior a área de captação, menor será o volume final do reservatório obtido. Isso ocorre porque com o aumento da área de captação aumenta-se o volume de água pluvial captado, o qual suprirá por um maior período a demanda.

Com o aumento da demanda de água não potável, verificou-se que o volume de reservação aumentou para as análises com os métodos Alemão Adaptado, de Rippl e Interativo. Já para o método Adaptado esse aumento ocorreu para as análises considerando a área de captação igual a 200 m²; no caso das análises efetuadas com a área igual a 100 m², o que limitou o volume de reservação foi a diferença entre as eficiências calculadas nos passos de tempo t e $t-1$, pois a partir de certo volume a eficiência tornou-se constante.

No cálculo da demanda, contudo, podem ser considerados outros consumos de água, tanto interno (máquina de lavar roupa) quanto externo (lavagem de carro e rega de gramado ou jardim) (TOMAZ, 2000). Assim, mensurá-la de forma precisa é fundamental para garantir a economia do sistema, visto que a demanda influencia diretamente no volume do reservatório.

Nas simulações, adotou-se o coeficiente de escoamento (C) igual a 0,8 (perda de 20% de toda água precipitada) supondo que o telhado seja constituído por telhas cerâmicas. O

volume passível de aproveitamento (V_{aprov}) pode ser aumentado com a adoção de outro tipo de material que constitui a telha e a alteração da inclinação da superfície de captação, pois esse coeficiente depende desses fatores (segundo Vaes e Berlamont (1999), o valor de C para telha esmaltada fica compreendido entre 0,90 e 0,95).

Conforme as Figuras 2 e 3, vê-se que para todos os casos analisados houve a necessidade de suprimento de água de outra fonte para anteder totalmente às demandas requeridas. Os métodos Interativo e Alemão Adaptado foram os que apresentaram maior volume de suprimento anual se comparados aos demais. Com relação ao volume de extravasamento de água da chuva, esses métodos também exibiram os maiores volumes. Esses resultados se devem ao fato dos métodos Interativo e Alemão Adaptado predizerem os menores volumes de reservação.

As Figuras 4 e 5 mostram as curvas de volume de reservação *versus* eficiência obtidas com o método Adaptado, variando-se a área de captação e o volume de descarte para as demandas 3,6 e 4,5 m³/mês, respectivamente. Vê-se que a eficiência aumenta com o aumento do volume de reservação para os casos com e sem descarte da primeira chuva, entretanto a eficiência se torna praticamente constante a partir de certo volume. Também, observa-se a influência do volume de descarte na eficiência do sistema, uma vez que com a redução do volume de água da chuva aproveitável é necessário um maior volume para se obter a mesma eficiência.

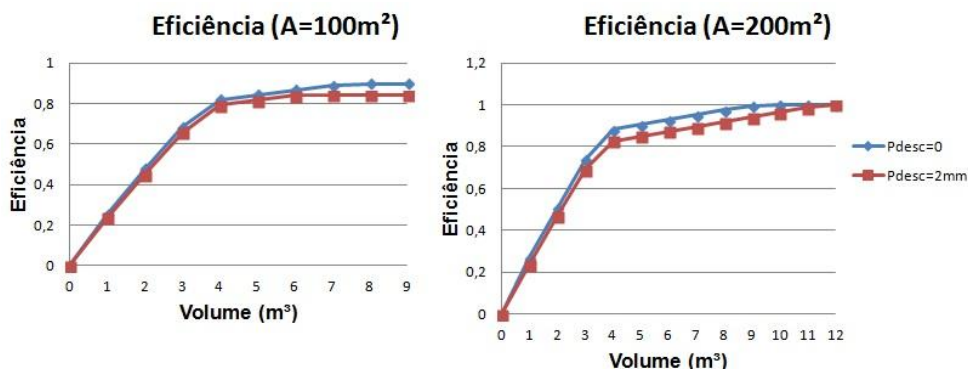


Figura 4 – Curvas volume do reservatório *versus* eficiência, referentes às áreas de captação de 100 m² e 200 m², sem e com volume de descarte da primeira chuva, para a demanda de 3,6 m³/mês.

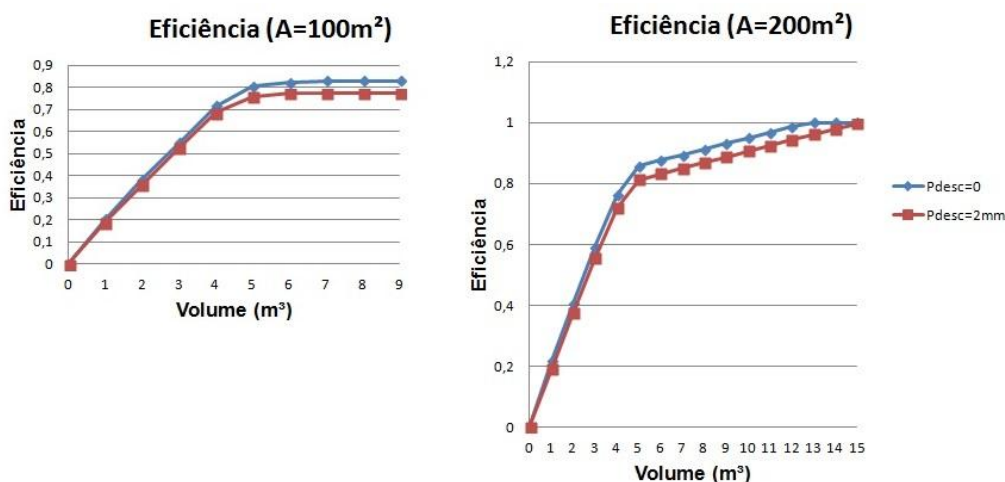


Figura 5 – Curvas volume do reservatório *versus* eficiência, referentes às áreas de captação de 100 m² e 200 m², sem e com volume de descarte da primeira chuva, para a demanda 4,5 m³/mês.

Nos casos em que se considerou a área de captação igual a 100 m², mesmo com o incremento do volume do reservatório a eficiência do sistema (e) ficou menor do que um, ou seja, a demanda não foi atendida totalmente nos meses de estiagem (período de pouca chuva). Já para as simulações com a área igual a 200 m², o modelo conseguiu determinar volumes de reservação tal que a eficiência do sistema seja total (a demanda é atendida integralmente em todos os meses). Contudo, reservatórios com grandes dimensões podem inviabilizar a implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva em residências unifamiliares. Portanto, o que limita o desempenho do sistema de aproveitamento é o volume aproveitável de água da chuva, o qual depende principalmente dos dados pluviométricos da região e da área de captação.

Nas Tabelas 3 e 4 são exibidos os valores determinados para a eficiência e a confiança do sistema referentes às análises com a demanda de 4,5 m³/mês para todos os métodos. Com relação à eficiência, o método de Rippl, Adaptado e de Azevedo Neto apresentaram resultados próximos entre si em todos os casos analisados, mesmo cada método conduzindo a volumes de reservação diferentes (Figura 3). O método Interativo mostrou resultados próximos aos desses métodos nas análises efetuadas considerando a área A = 100 m². Diferentemente, o método prático Alemão apresentou os menores valores para a confiança e eficiência do sistema se comparados aos demais.

Tabela 3 – Valores da eficiência do sistema referente à demanda 4,5 m³/mês.

Método	Azevedo Neto	Alemão Adaptado	Método Adaptado	Rippl	Interativo
A=100 m ² (Pdesc = 0)	0,82	0,59	0,83	0,83	0,81
A=100 m ² (Pdesc = 2 mm)	0,77	0,57	0,77	0,77	0,76
A=200 m ² (Pdesc = 0)	0,91	0,64	0,90	0,92	0,85
A=200 m ² (Pdesc = 2 mm)	0,88	0,59	0,90	0,92	0,81

Tabela 4 – Valores da confiança do sistema referente à demanda 4,5 m³/mês.

Método	Azevedo Neto	Alemão Adaptado	Método Adaptado	Rippl	Interativo
A=100 m ² (Pdesc = 0)	75,00	0,00	75,00	75,00	75,00
A=100 m ² (Pdesc = 2 mm)	58,33	0,00	58,33	58,33	58,33
A=200 m ² (Pdesc = 0)	83,33	0,00	83,33	83,33	75,00
A=200 m ² (Pdesc = 2 mm)	83,33	0,00	83,33	83,33	75,00

Os valores obtidos para a eficiência e confiança com o método Adaptado no caso das simulações com área igual a 200 m² não variaram com a variação do volume de descarte da primeira chuva, porque o volume de reservação T é obtido a partir da definição prévia dos valores da eficiência e confiança no processo incremental (parâmetros de entrada do modelo). No entanto, no caso das análises efetuadas com a área de 100 m², a variação do volume de descarte influenciou nos valores desses parâmetros. Nesse caso, o sistema não conseguiu captar um volume de água da chuva suficiente para atender à demanda mensal requerida no período de estiagem, independentemente de se considerar ou não o descarte da primeira chuva.

Nas Figuras 6 e 7 são confrontados os percentuais mensais de demanda atendida com água pluvial e o suprimento de água de outra fonte necessário para atender às demandas mensais de 3,6 m³/mês e 4,5 m³/mês, respectivamente. Observa-se que a demanda de água não potável é atendida parcialmente no período de estiagem para as áreas de captação

propostas independentemente da capacidade do reservatório predito. Para que a demanda seja atendida totalmente nesse período, é necessário o acréscimo de volume de água proveniente de outra fonte (suprimento). Também, vê-se que o volume de descarte da primeira chuva e a área de captação influenciaram no percentual de demanda atendida mensal e, conseqüentemente, no suprimento.

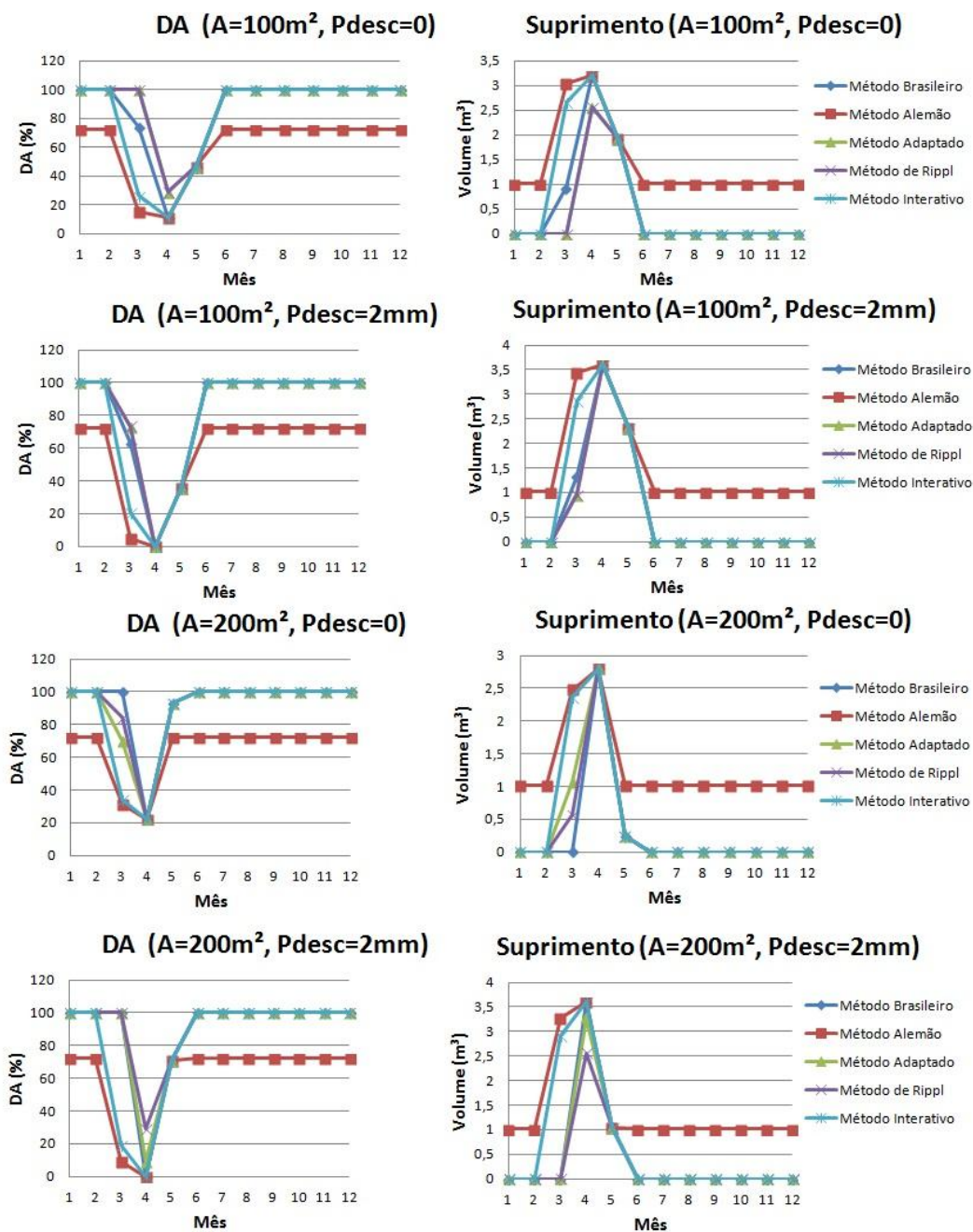


Figura 6 – Percentuais mensais de demanda atendida com água pluvial e o volume de suprimento de água necessário de outra fonte para atender à demanda mensal constante de 3,6 m³/mês.

Os percentuais mensais de demanda atendida com água pluvial obtidos com o método Adaptado podem ser melhorados estabelecendo valores limites maiores para a eficiência e confiança (ϵ_1 e ϵ_2). Contudo, pode ocorrer que o volume captado de água da chuva não seja

suficiente para atender à demanda (devido à área de captação e ao índice pluviométrico local), fazendo com que haja um valor máximo para a eficiência e a confiança do sistema. Portanto, como poder ser observado nas Figuras 4 e 5, o aumento da capacidade do reservatório além de certo limite não melhorará o desempenho do sistema de aproveitamento de água da chuva.

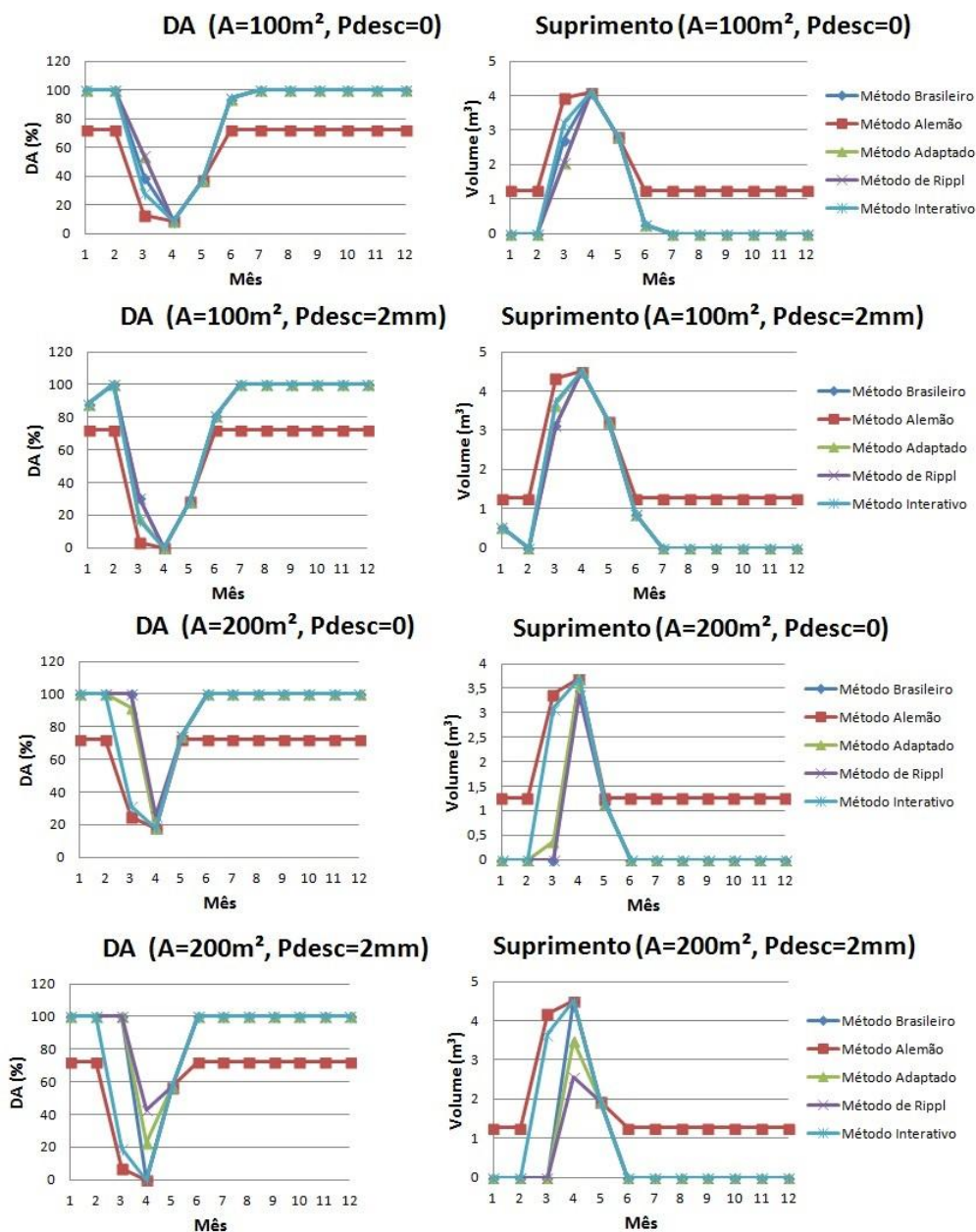


Figura 7 – Percentuais mensais de demanda atendida com água pluvial e o volume de suprimento de água necessário de outra fonte para atender à demanda mensal constante de 4,5 m³/mês.

4. CONCLUSÃO

A eficiência e a confiabilidade dos sistemas de aproveitamento de água de chuva estão ligadas diretamente ao dimensionamento do reservatório de armazenamento, necessitando de um ponto ótimo na combinação do volume de reservação e da demanda a ser atendida, que resulte na maior eficiência, com o menor gasto possível.

Diante dos resultados de dimensionamento mostrados, é evidente a importância de se conhecer os dados de entrada para alimentar os modelos de forma precisa, fazendo com que os mesmos resultem em volumes de reservação confiáveis sem serem subdimensionados ou superdimensionados.

O método Adaptado proposto neste artigo 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 tange à existência de fontes alternativas, tipo de consumo (parcial, intermitente ou total), características pluviométricas da região, entre outras. Esse método também permite analisar a variação do volume do reservatório ao longo do tempo (dias ou anos), através de um balanço entre o volume aproveitável de água da chuva, a demanda interna e o volume do reservatório nos tempos $t-1$ e t .

A implementação computacional de modelos de dimensionamento de reservatório constitui-se uma ferramenta de suporte à decisão quanto ao volume mínimo a ser adotado, uma vez 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.

Vê-se que os parâmetros de projeto avaliados nas simulações efetuadas com os métodos (suprimento de água de outra fonte, volume de extravasamento, percentual de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência) são úteis para se verificar o desempenho do reservatório, principalmente no período de estiagem.

Ademais, devido à fácil aplicação e relativa simplicidade, a metodologia proposta pode ser utilizada em residências unifamiliares ou em pequenos estabelecimentos, uma vez que se pode realizar a simulação do volume do reservatório de acordo com a destinação final que se dará à água armazenada e de acordo com os interesses econômicos.

Como sugestão de pesquisa futura, podem-se acrescentar mais restrições ao modelo (critérios de convergência) e outras leis de evolução para o volume do reservatório no processo incremental. Em adição, simulações podem ser efetuadas para outras tipologias de edificações (condomínios, indústrias, entre outras), além da consideração de dados diários de precipitação.

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.
- ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. Cálculo do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento de água de chuva. In: Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 10, 2007. **Anais...** São Carlos, 2007.
- DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A.; TASSI, R. Metodologia para Ajuste do Fator de Esgoto/Água para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 1, p. 111-121, 2012.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de Ponta Grossa, Pr. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 36 – 48, 2010.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; CARVALHO, G. S. Volume do reservatório de aproveitamento de água pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. **Publ. UEPG Exact Earth Sci., Agr. Sci. Eng.**, Ponta Grossa, 14 (3), p. 217-227, 2008.

NGIGI, S. N. Optimization of rainwater catchment systems design parameters in the arid and semiarid lands of Kenya. In: Conferência Internacional Sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, 1999. **Anais...** Petrolina, 1999.

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

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. Navegar Editora, São Paulo, 2005.

VAES, G.; BERLAMONT, J. The impact of rainwater reuse on CSO emissions. **Water Science Technology**, v. 39, n. 5, p. 57 – 64, 1999.