

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

COMPARAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA UMA ESCOLA

*Ronaldo Kanopf de Araújo¹, Lidiane Bitencourt Barroso²; Denise Kanopf de Araújo³ & Delmira
Beatriz Wolff⁴*

Resumo – A água de chuva pode ser utilizada para fins não-potáveis, como descargas de vasos sanitários. Sua utilização reduz a demanda de água tratada, além de diminuir o escoamento superficial, ajudando na prevenção de enchentes. Neste trabalho foi dimensionado o volume do reservatório de água de chuva na Escola Municipal João Pedro Mena Barreto, Santa Maria-RS, por diferentes metodologias: Métodos de Rippl, da Simulação, Prático Alemão e Prático Australiano. A precipitação média anual e mensal da cidade são 1498,50 mm e 124,88 mm, respectivamente, e 293,30 m² a área de contribuição dos telhados. Os volumes de reservatório obtidos foram de 2,0 m³ nos Métodos da Simulação e Prático Australiano, e 11,90 m³ no Método Prático Alemão. Na análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de reservatório para a escola foi verificado que os 6,01 m³ calculados pelo Método de Fendrich em trabalhos anteriores é o valor mais econômico em relação à demanda de 16,53 m³ para as descargas. Conclui-se que o volume do reservatório de água de chuva simulado por diversos métodos, de acordo com a demanda de água e a manutenção dos recursos hídricos, poderá reduzir gastos na construção do sistema, pela escolha da alternativa mais econômica.

Abstract – Rainwater can be used for non-potable purposes such as toilet flushing. Its use reduces the demand for treated water, and reduces runoff, helping to prevent flooding. This work was scaled volume of the reservoir of rainwater at the Municipal School João Pedro Mena Barreto, Santa Maria-RS, by different methods: Methods for Ripple, Simulation, Practical German and Practical Australian. The average annual rainfall and monthly city is 1498,50 mm and 124,88 mm, respectively, and the area of roofs contribution is 293,30 m². The reservoir volumes obtained in Practical Australian and Simulation Methods is 2.0 m³, and in Practical German is 11,90 m³. The comparative analysis between the methods of sizing a reservoir for the school was found that the 6,01 m³ calculated by the method Fendrich in previous work is the most economic value relative to the demand of 16.53 m³ for discharges. It is concluded that the reservoir volume of rainwater simulated by several methods, according to the demand for water and maintenance of water resources may reduce costs in the construction of the system by choosing the cheaper alternative.

Palavras-Chave – Precipitação pluviométrica, água de chuva, área de captação.

¹ Mestrando de Pós-graduação em Engenharia Civil/UFMS, Av. Roraima 1000, 97105-900 Santa Maria-RS. Email: ronaldo.kanopf@gmail.com

² Professora do CTISM/UFMS, Av. Roraima 1000, 97105-900 Santa Maria-RS. E-mail: lidianebarroso@ctism.ufsm.br

³ Graduanda de Arquitetura e Urbanismo/UNIFRA, Rua dos Andradas, 1614, 97010-032 Santa Maria-RS. Email: denisekanopf@yahoo.com.br

⁴ Professora do DESA/UFMS, Av. Roraima 1000, 97105-900 Santa Maria-RS. E-mail: delmirawolff@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas ações de sustentabilidade para prevenção da escassez de um dos recursos mais importantes do planeta, a água, está à captação de água de chuva.

A viabilidade do uso da água de chuva em edificações é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como consequência a diminuição de custos com a água potável e a redução do risco de enchentes em caso de chuvas fortes (FENDRINCH, 2002).

A água de chuva serve principalmente para usos não-potáveis, pois para assegurar sua potabilidade deve-se atender à NBR 12.216 (ABNT, 1992), sendo uma alternativa viável apenas onde não há a possibilidade de abastecimento com água tratada.

O uso da água para fins não-potáveis em estabelecimentos comerciais, escolas, prédios públicos e mesmo em indústrias, pode responder por mais de 50% do consumo. É necessária uma inspeção cuidadosa no local para uma avaliação precisa. A utilização das águas pluviais classifica-se por graus de pureza, de acordo com os locais de sua coleta, como mostrado no quadro 1.

Quadro 1 - Graus de pureza e utilização das águas pluviais.

Grau de Pureza	Área de Coleta das Águas Pluviais	Utilização das Águas Pluviais
A	Telhados (locais não usados por pessoas e animais)	Vaso sanitário, regar plantas, outros usos. Se purificadas por tratamentos simples são potáveis ao consumo.
B	Coberturas, sacadas (locais usados por pessoas e animais)	Vaso sanitário, regar plantas, outros usos, mas imprópria para consumo (necessário tratamento).
C	Estacionamentos, Jardins artificiais	
D	Vias elevadas, Estradas de Ferro e Rodovias	

Fonte: adaptado de Fendrich (2002).

Além do consumo de água potável, salienta-se que o aproveitamento de água pluvial também pode trazer como vantagem a retirada desse volume de água do sistema de drenagem urbana, podendo colaborar com a diminuição de enchentes (CAMPOS, 2004).

No Brasil há municípios que possuem projetos e leis que obrigam a retenção de parte da precipitação em reservatórios a fim de diminuir os problemas causados pela falta de um sistema de drenagem urbana eficiente. A liberação posterior desta água captada diminui o escoamento superficial e conseqüentemente os alagamentos, evidenciando outra importância da captação da água de chuva.

Em São Paulo a Lei n.º 13.276, de 04 de julho de 2002, torna obrigatória a execução de reservatório de águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m².

No Rio de Janeiro a Lei n.º 4.393, de 16 de setembro de 2004, dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover imóveis residenciais e comerciais com dispositivo para captação de água de chuva.

No município de Curitiba-PR o Decreto n.º 293, de 23 de março de 2006, que regulamenta a Lei n.º 10.785, de 18 de setembro de 2003, exige mecanismo de captação das águas pluviais no projeto de instalações hidráulicas de edificações, para posterior utilização em atividades que não exijam o uso de água tratada.

Em Porto Alegre-RS, de acordo com a Lei n.º 10.506, de 05 de agosto de 2008, que institui o programa de conservação, uso racional e reaproveitamento das águas, os interessados em participar poderão solicitar informações técnicas ou apresentar novo projeto que contemple a instalação dos equipamentos destinados ao aproveitamento de água de chuva.

Um dos componentes mais importantes de um sistema de aproveitamento da água pluvial é o reservatório, o qual deve ser dimensionado, tendo principalmente como base os seguintes critérios: custos totais de implantação, demanda de água, área de captação, regime pluviométrico e confiabilidade requerida para o sistema (MARINOSKI, 2007).

Um dos aspectos fundamentais relacionados ao armazenamento das águas pluviais envolve o dimensionamento dos reservatórios, de modo a considerar não somente o atendimento ao consumo como também fatores climáticos, hidrológicos e ambientais. E ainda, a interferência de tais sistemas no processo natural do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica (GIACCHINI, 2010).

Neste trabalho tem-se como objetivo dimensionar o reservatório de águas pluviais por diferentes métodos, comparando com a demanda de água não-potável em uma escola localizada em Santa Maria-RS. O projeto executivo e financeiro não fez parte do escopo deste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido no município de Santa Maria-RS, figura 1a, como parte integrante do Projeto Tecnologias para Sustentabilidade da Água em Zonas Rurais e Urbanas – TEC-ÁGUA, na Escola Municipal João Pedro Mena Barreto, na figura 1b. A escola está localizada à noroeste do centro da cidade, há cerca de 5 km de distância. Possui 418 alunos e 27 funcionários, distribuídos em dois turnos.

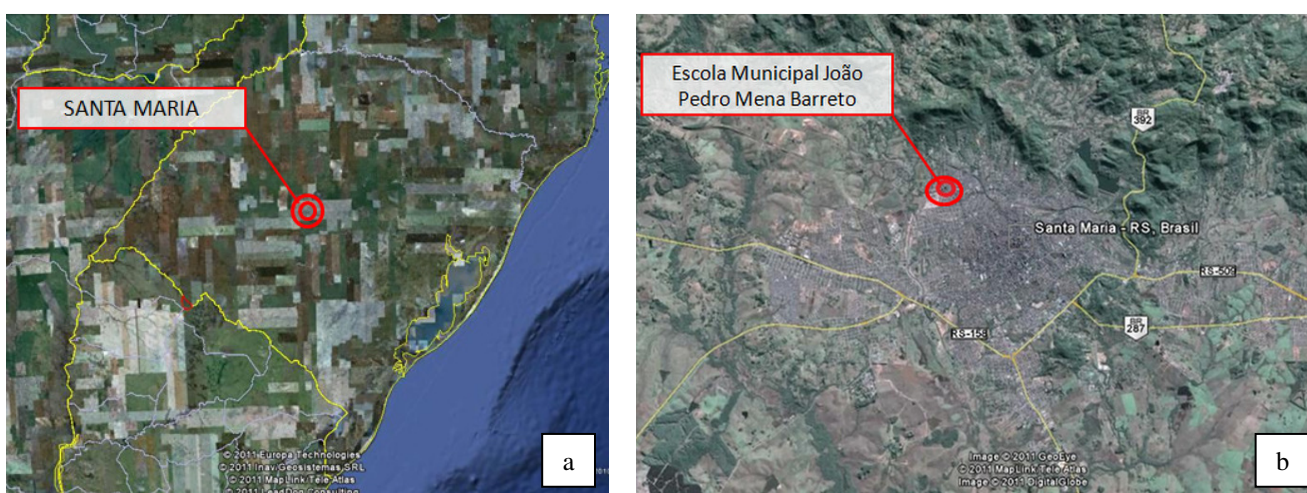


Figura 1 – Localização da Escola e do município, Google Earth (2010).



Figura 2 - Fachada frontal da Escola e vista dos prédios em estudo (Ouriques *et al.*, 2008).

As instalações prediais para a captação de águas pluviais desta escola foram propostas por Ouriques *et al.* (2008), seguindo as recomendações da NBR 10.844 (ABNT, 1989). Na figura 3 é apresentado o esquema com os dois telhados para coleta de água pluvial, que juntos possuem 293,30 m² de área superficial.

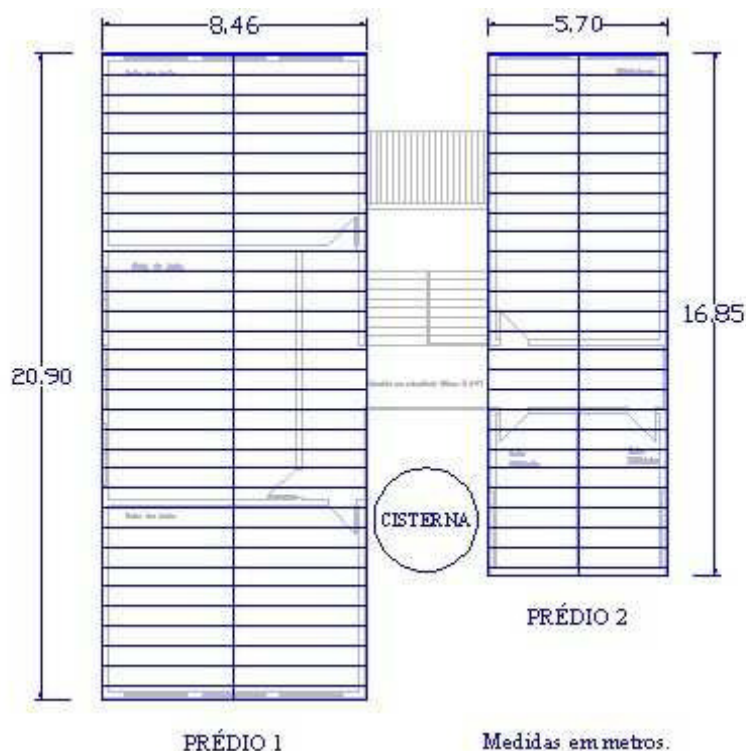


Figura 3. Planta de telhado dos prédios 1 e 2 (Ouriques *et al.*, 2008).

A precipitação média anual foi obtida pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico - AGRITEMPO. Na figura 4 são mostrados os totais de precipitação mensais em Santa Maria-RS, nos anos de 1961 a 1978 e 2001 a 2009.

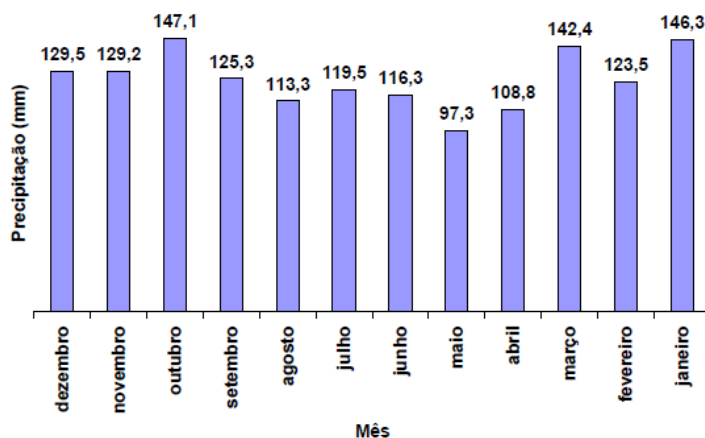


Figura 4. Precipitação média mensal em Santa Maria-RS, AGRITEMPO (2009).

O consumo médio de água potável nos vasos sanitários era de 16,53 m³/mês, de acordo com os estudos de Araújo *et al.* (2010), que consideraram o consumo de 30,90%, da demanda total de água, nos vasos sanitários, segundo Yoshimoto e Silva (2005).

Métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais

Neste trabalho são aplicadas quatro entre as metodologias para dimensionamento do reservatório de águas pluviais apresentadas na NBR 15.527 (ABNT, 2007): Método de Rippl, Método da Simulação, Método Prático Alemão, Método Prático Australiano. Para melhor entendimento dos parâmetros de cada método, os mesmos estão descritos.

Para o dimensionamento de um reservatório de armazenamento de águas pluviais pelo Método de Rippl, são utilizadas as equações (1) e (2). Neste método podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \tag{1}$$

Em que:

$$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação} \tag{2}$$

$$V = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0.$$

Sendo que $\sum D(t) < \sum Q(t)$.

Em que: S(t) é o volume de água no reservatório no tempo t; Q(t) é o volume de chuva aproveitável no tempo t; D(t) é a demanda ou consumo no tempo t; V é o volume do reservatório; e C é o coeficiente de escoamento superficial.

Tomaz (2003) sugere a elaboração de uma planilha para o desenvolvimento dos cálculos, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Modelo de planilha para aplicação do Método de Rippl.

1	2	3	4	5	6	7
Mês	P (mm)	Dm (m ³)	Ac (m ²)	V Chuva (m ³)	Dm – V chuva (m ³)	Dif. Acum. Valores + (m ³)
Jan						
...						
Dez						
Total						

Fonte: adaptado de Tomaz (2003).

Em que:

Coluna 1 – Mês: Período de tempo correspondente aos meses do ano, de janeiro a dezembro.

Coluna 2 – P: Precipitação média mensal, em milímetros.

Coluna 3 – Dm: Demanda mensal, em metros cúbicos.

Coluna 4 – Ac: Área de captação da água da chuva, em metros quadrados.

Coluna 5 – Vc: Volume potencial de chuva, em metros cúbicos. Obtido multiplicando-se a coluna 2 pela coluna 3 e pelo coeficiente de escoamento superficial, *Runoff*.

Coluna 6 – Dm – Vc: Diferença entre a coluna 3 e a coluna 5, o sinal negativo representa excesso de água e o sinal positivo representa déficit.

Coluna 7 – Diferença Acumulada dos Valores Positivos: Diferenças acumuladas da coluna 6, referente apenas aos valores positivos.

No Método da Simulação a evaporação da água não deve ser considerada. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito, de acordo com as equações (3) e (4).

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (3)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação de chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (4)$$

Sendo que: $0 \leq S_{(t)} \leq V$

Em que: $S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ; $S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t-1$; $Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t ; $D_{(t)}$ é o consumo ou demanda no tempo t ; V é o volume do reservatório fixado; C é o coeficiente de escoamento superficial.

Para este método, duas hipóteses devem ser feitas, o reservatório está cheio no início da contagem do tempo “ t ”, os dados históricos são representativos para as condições futuras.

Tomaz (2003) sugere a elaboração de uma planilha para o desenvolvimento dos cálculos, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Modelo de planilha para aplicação do Método da Simulação.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mês	P (mm)	D _t (m ³)	Ac (m ²)	Q _t (m ³)	V fixado (m ³)	S _{t-1} (m ³)	S _t (m ³)	Ov (m ³)	S (m ³)
Jan									
...									
Dez									
Total									

Fonte: adaptado de Tomaz (2003).

Em que:

Coluna 1 – Mês: Período de tempo correspondente aos meses do ano, de janeiro a dezembro.

Coluna 2 – P: Precipitação média mensal, em milímetros.

Coluna 3 – D_t : Demanda mensal, em metros cúbicos.

Coluna 4 – Ac: Área de captação da água da chuva, em metros quadrados.

Coluna 5 – Q_t : Volume potencial de chuva, em metros cúbicos. Obtido multiplicando-se a coluna 2 pela coluna 4 e pelo coeficiente de escoamento superficial, *Runoff*.

Coluna 6 – V Fixado: Volume fixado para o reservatório, em metros cúbicos.

Coluna 7 – S_{t-1} : Volume do reservatório no início da contagem do tempo.

Coluna 8 – S_t : Volume do reservatório no final do tempo, valores negativos indicam água necessária para reposição.

Coluna 9 – Ov: Ocorrência de overflow, ou seja, excesso de água.

Coluna 10 – S: Suprimento de água de outra fonte.

O Método Prático Alemão é um método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório, na equação (5), desenvolvido por meio da relação entre a demanda anual e o volume aproveitável de chuva, ou seja, 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín} (V; D) \times 0,06 \quad (5)$$

Em que: V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, em litros (L); D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, em litros (L); e V_{adotado} é o valor numérico do volume de água do reservatório, em litros (L).

Pelo Método Prático Australiano, primeiramente obtém-se o volume de chuva aproveitável na área de captação é obtido pela equação (6):

$$Q = A \times C \times (P-I) \quad (6)$$

Em que: C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80 (Tomaz, 2003); P é a precipitação média mensal; I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm; A é a área de coleta; Q é o volume mensal produzido pela chuva.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório pela equação (7).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (7)$$

Em que: Q_t é o volume mensal produzido pela chuva no mês t; V_t é o volume de água que está no tanque no fim do mês t; V_{t-1} é o volume de água que está no tanque no início do mês t; D_t é a demanda mensal.

Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.

Quando $(V_{t-1} + Q_t - D_t) < 0$, então o $V_t = 0$

O volume do tanque escolhido será T.

A confiança do sistema é calculada pela equação (8):

$$Pr = Nr / N \quad (8)$$

Em que: Pr é a falha; Nr é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$; N é o número de meses considerado, geralmente 12 meses; Confiança = $(1 - Pr)$.

Na NBR 15.527 (ABNT, 2007) há a recomendação de que os valores de confiança estejam entre 90 % e 99 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo do volume de água de chuva aproveitável na escola considerou-se a área de captação do telhado, de $293,30 \text{ m}^2$, a precipitação média anual de $1498,50 \text{ mm}$ e precipitação média mensal de $124,88 \text{ mm}$. A demanda mensal de água para utilização nos vasos sanitários é de $16,53 \text{ m}^3$ e a demanda anual é de $198,36 \text{ m}^3$. O coeficiente de escoamento superficial (*Runnof*) utilizado foi $0,80$, como sugere Tomaz (2003).

Método de Rippl

Os resultados dos cálculos para encontrar o volume do reservatório pelo Método de Rippl estão presentes na tabela 3.

Tabela 3 - Resultado da aplicação do Método de Rippl.

1	2	3	4	5	6	7
Mês	P (mm)	Dm (m^3)	Ac (m^2)	V Chuva (m^3)	Dm - Vchuva (m^3)	Dif. Acum. Valores + (m^3)
Jan	146,30	16,53	293,30	34,33	- 17,80	-
Fev	123,50	16,53	293,30	28,98	- 12,45	-
Mar	142,40	16,53	293,30	33,41	- 16,88	-
Abr	108,80	16,53	293,30	25,53	- 9,00	-
Mai	97,30	16,53	293,30	22,83	- 6,30	-
Jun	116,30	16,53	293,30	27,29	- 10,76	-
Jul	119,50	16,53	293,30	28,04	- 11,51	-
Ago	113,30	16,53	293,30	26,58	- 10,05	-
Set	125,30	16,53	293,30	29,40	- 12,87	-
Out	147,10	16,53	293,30	34,52	- 17,99	-
Nov	129,20	16,53	293,30	30,32	- 13,79	-
Dez	129,50	16,53	293,30	30,39	- 13,86	-
Total	1498,50	198,36	-	351,62	-	-

O volume aproveitável de chuva, na coluna 5, foi obtido pela relação entre a precipitação pluviométrica, a área de coleta e o coeficiente de escoamento superficial, adotado $C = 0,80$.

Por este método, o volume do reservatório é obtido em função da diferença acumulada dos valores positivos da coluna 6. Os valores encontrados são todos negativos, devido ao fato de que em todos os meses do ano a demanda de água não-potável na escola é inferior ao volume de chuva que pode ser captado na área de coleta considerada. Assim, ocorreu o chamado *over flow*, ou seja, sobra água em todos os meses do ano.

A aplicação do Método de Rippl, para a situação da Escola, não traz resposta adequada. Por este motivo, neste estudo, não foi estabelecido o volume do reservatório pelo Método de Rippl.

Uma possibilidade para o dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl, para a situação estudada, seria a alteração da área de coleta em função da demanda. Não utilizar a área total do telhado dos dois prédios para o cálculo do volume aproveitável, apenas um dos prédios.

Método da Simulação

Na tabela 4 são apresentados os resultados para o dimensionamento pelo Método da Simulação. Para o volume de reservatório fixado foi utilizado o valor $2,0 \text{ m}^3$, obtido por Barroso *et al.* (2009), pelo Método de Azevedo.

Tabela 4 - Resultado da aplicação do Método da simulação.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mês	P (mm)	Dm (m ³)	Ac (m ²)	V Chuva (m ³)	V fixado (m ³)	V t-1 (m ³)	Vt (m ³)	Ov (m ³)	S (m ³)
Jan	146,30	16,53	293,30	34,33	2,0	2,0	2,0	17,8	0
Fev	123,50	16,53	293,30	28,98	2,0	2,0	2,0	12,45	0
Mar	142,40	16,53	293,30	33,41	2,0	2,0	2,0	16,88	0
Abr	108,80	16,53	293,30	25,53	2,0	2,0	2,0	9,00	0
Mai	97,30	16,53	293,30	22,83	2,0	2,0	2,0	6,30	0
Jun	116,30	16,53	293,30	27,29	2,0	2,0	2,0	10,76	0
Jul	119,50	16,53	293,30	28,04	2,0	2,0	2,0	11,51	0
Ago	113,30	16,53	293,30	26,58	2,0	2,0	2,0	10,05	0
Set	125,30	16,53	293,30	29,40	2,0	2,0	2,0	12,87	0
Out	147,10	16,53	293,30	34,52	2,0	2,0	2,0	17,99	0
Nov	129,20	16,53	293,30	30,32	2,0	2,0	2,0	13,79	0
Dez	129,50	16,53	293,30	30,39	2,0	2,0	2,0	13,86	0

Observa-se que os valores referentes ao volume fixado, volume no tempo t-1 e volume no tempo t, ou seja, colunas 6, 7 e 8 são coincidentes. Na situação estudada, tal fato acontece em função da restrição imposta pelo método para que o volume do reservatório seja maior ou igual a

zero e menor ou igual ao volume fixado, ou seja, $0 \leq V_t \leq V_{\text{fixado}}$. Assim sendo, o volume do reservatório para a situação, através da aplicação do Método da Simulação estudada corresponde ao volume fixado, $V_t = 2,00 \text{ m}^3$.

Por meio da interpretação dos resultados verifica-se na coluna 9, a ocorrência de over flow, ou seja, sobra de água em todos os meses do ano. Logo, na coluna 10, os valores de suprimento são iguais a zero. Isto indica que não há necessidade de abastecimento por outra fonte.

Método Prático Alemão

Pela simulação do Método Prático Alemão, adotando 6% do volume anual da demanda da escola, de $198,36 \text{ m}^3$, o volume do reservatório é de $11,90 \text{ m}^3$. O volume encontrado utilizando o volume anual precipitado de $351,56 \text{ m}^3$ na área de captação de $293,30 \text{ m}^2$ é de $21,10 \text{ m}^3$. Isto demonstra que a capacidade de aproveitamento de água pluvial desta área, para os dados de chuva da região, é maior do que a demanda para os usos não-potáveis na escola. Porém salienta-se que o método induz à utilização do menor valor obtido na simulação, o que é importante em relação ao balanço hídrico da região.

Método Prático Australiano

Na tabela 5 são apresentados os valores para o cálculo do volume do reservatório pelo Método Prático Australiano. Para o volume de reservatório fixado foi utilizado o valor $2,0 \text{ m}^3$, obtido por Barroso *et al.* (2009), pelo Método de Azevedo. A precipitação média mensal utilizada e considerou-se ainda 2 mm de perdas de água por evaporação na superfície do telhado.

Tabela 5 - Resultado da aplicação do Método Prático Australiano.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mês	P (mm)	Dm (m^3)	Ac (m^2)	V Chuva (m^3)	V fixado (m^3)	V t-1 (m^3)	Vt (m^3)	Ov (m^3)
Jan	146,30	16,53	293,30	33,86	2,0	0	2,0	17,33
Fev	123,50	16,53	293,30	28,51	2,0	2,0	2,0	11,98
Mar	142,40	16,53	293,30	32,94	2,0	2,0	2,0	16,41
Abr	108,80	16,53	293,30	25,06	2,0	2,0	2,0	8,53
Mai	97,30	16,53	293,30	22,36	2,0	2,0	2,0	5,83
Jun	116,30	16,53	293,30	26,82	2,0	2,0	2,0	10,29
Jul	119,50	16,53	293,30	27,57	2,0	2,0	2,0	11,04
Ago	113,30	16,53	293,30	26,12	2,0	2,0	2,0	9,59
Set	125,30	16,53	293,30	28,93	2,0	2,0	2,0	12,40
Out	147,10	16,53	293,30	34,05	2,0	2,0	2,0	17,52
Nov	129,20	16,53	293,30	29,85	2,0	2,0	2,0	13,32
Dez	129,50	16,53	293,30	29,92	2,0	2,0	2,0	13,39

Os valores referentes ao volume fixado, ao volume no tempo $t-1$ e ao volume no tempo t , colunas 6, 7 e 8, respectivamente, são coincidentes. Na situação estudada, isto ocorre em função da restrição imposta pelo método para que o volume do reservatório seja maior ou igual a zero e menor ou igual ao volume fixado, ou seja, $0 \leq V_t \leq V_{\text{fixado}}$.

Desta forma, o volume do reservatório pela aplicação do Método prático australiano corresponde ao volume fixado, $V_t = 2,0 \text{ m}^3$.

Pela interpretação dos resultados verifica-se na coluna 9 a ocorrência de *over flow*, ou seja, sobra de água em todos os meses do ano. Consequentemente a falha do sistema corresponde à zero, pois a probabilidade de falha é obtida pela relação entre o número de meses em que o reservatório está na condição vazio pelo número de meses do ano. Portanto o volume adotado apresenta 100% de confiança.

Barroso *et al.* (2009) dimensionaram o volume do reservatório para o aproveitamento da água de chuva pelo Método Azevedo Neto de 1.506,50 L, adotando $2,0 \text{ m}^3$, onde é possível atender à demanda para 1,5 dias sem chuva.

Araújo *et al.* (2010) aplicaram os métodos de Fendrich, Prático Inglês e Prático Japonês para a obtenção do volume de reservatório de água de chuva, encontrando, respectivamente 6.012,65 L, 21.963,77 L e 29.330,00 L. Para o volume encontrado pelo Método de Fendrich é possível atender à demanda por 10,91 dias sem chuva.

Análise comparativa dos métodos de dimensionamento

A análise comparativa dos métodos de dimensionamento de reservatório de água pluvial aplicados neste trabalho teve por objetivo subsidiar a identificação da situação em cada método propiciará resultados satisfatórios em relação à demanda de água para usos não-potáveis na escola.

Os métodos de dimensionamento aplicados levaram à diferentes resultados no volume do reservatório; algo esperado devido às diferentes concepções de cada forma de simulação. Os resultados para os métodos utilizados são apresentados na tabela 6.

Nos métodos da Simulação e Prático Australiano obteve-se o mesmo volume de reservatório, $2,0 \text{ m}^3$, pois têm concepções similares e utilizou-se o mesmo volume fixado de referência em ambos os casos. Apesar de ser o menor volume obtido dentre os métodos estudados, o valor fixado do reservatório é capaz de atender à demanda por apenas 1,5 dias sem chuva, enquanto a simulação pelo Método de Fendrich de $6,01 \text{ m}^3$ atende à demanda por 10,91 dias (Araújo *et al.*, 2010).

O Método Prático Alemão conduz a um dimensionamento anti-econômico do reservatório de águas pluviais, pois não considera aspectos relativos ao balanço hídrico na bacia hidrográfica.

Tabela 6 - Resultados da aplicação dos métodos de dimensionamento do reservatório.

Método	Volume (m ³)	Características
Fendrich	6,01	Valor relativamente reduzido do volume do reservatório para a situação estudada, visão holística da bacia hidrográfica.
Rippl	-	Não possibilitou a obtenção adequada do volume para a situação estudada, observância de aspectos relativos à demanda e a precipitação pluviométrica, não considera aspectos relativos às possíveis interferências no balanço hídrico na bacia hidrográfica.
Simulação	2,00	Valor reduzido, possibilidade de escolha pelo projetista do volume desejado em função da confiança necessária, considera aspectos relativos à demanda e à precipitação pluviométrica, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
Azevedo Neto	2,00	Valor reduzido do volume do reservatório, possibilidade de subjetividade na identificação dos meses de pouca chuva, não considera aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
Prático Australiano	2,00	Volume reduzido do reservatório, escolha pelo projetista do volume desejado em função da confiança necessária, considera aspectos relativos à demanda e a precipitação pluviométrica, não leva em conta aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
Prático Alemão	11,90	Valor relativamente alto do volume do reservatório, não considera aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
Prático Japonês	29,30	Valor muito elevado para o volume do reservatório, considera características regionais de clima e precipitação do Japão.
Prático Inglês	21,96	Valor elevado do volume do reservatório, não são observados aspectos relativos à sustentabilidade da bacia hidrográfica.

CONCLUSÃO

Na análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de reservatório de água de chuva para a escola foi verificado que os 6,01 m³ calculados pelo Método de Fendrich em trabalhos anteriores é o valor mais adequado em termos de economia relacionada à demanda. Apesar de o valor de 2,0 m³ encontrado pelo Método Azevedo Neto, Método da Simulação e Método Prático Australiano ser menor, a demanda pode ser atendida por apenas 1,5 dias. Já pelo Método de Fendrich o abastecimento de água de chuva para os vasos sanitários se dá por até 10,91 dias.

Com base neste resultado, concluí-se que o cálculo do volume do reservatório de aproveitamento da água de chuva simulado por diversos métodos, levando em consideração a demanda de água para a utilização desta água poderá levar a uma redução de gastos na construção

do sistema, bem como a manutenção dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, pela escolha da alternativa mais econômica.

Para que se tenha a real redução de consumo de água tratada, contudo, é importante conceber o projeto executivo e financeiro, avaliando-se os custos da implantação deste sistema versus os benefícios, ou seja, a economia global de água potável.

BIBLIOGRAFIA

- AGRITEMPO (2009). Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Dados Meteorológicos – Santa Maria (INMET). Disponível em: < <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario> >. Acesso em: 14/12/2009.
- ARAÚJO, R. K. *et al.* (2010). *Reservatório de água pluvial em escola para fins não-potáveis*. In: 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2010, Bento Gonçalves-RS.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1989). *NBR 10.844- Instalações prediais de águas pluviais*. Rio de Janeiro, 1989.
- ____ (1992). *NBR 12.216- Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1992.
- ____ (2007). *NBR 15.527- Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Rio de Janeiro.
- BARROSO, L. B. *et al.* (2009). *Dimensionamento de reservatório de água de chuva em escola municipal para fins não-potáveis*. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife-PE.
- CAMPOS, M. (2004). *Aproveitamento de água pluvial em edifícios multifamiliares na cidade de São Carlos*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- CURITIBA (2006). *Decreto n.º 293, de 23 de março de 2006*. Regulamenta a Lei n.º 10.785, de 18 de setembro de 2003, e dispõe sobre os critérios do Uso e Conservação Racional da Água nas Edificações e dá outras providências. Curitiba.
- CURITIBA (2003). *Lei n.º 10.785, de 18 de setembro de 2003*. Cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Curitiba.
- FENDRINCH, R. (2002). *Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana*. Tese de doutorado, Curso de Pós-graduação em Geologia Ambiental – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GIACCHINI, M. (2010). *Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MARINOSKI, A. K. (2007). *Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: Estudo de caso em Florianópolis-SC*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis.
- OURIQUES, R. Z. *et al.* (2008). *Aproveitamento da água de chuva em escola para fins não-potáveis, Santa Maria-RS*. In: VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2008, Porto Alegre-RS.
- PORTO ALEGRE (2008). *Lei n.º 10.506, de 05 de agosto de 2008*. Institui o programa de conservação, uso racional e reaproveitamento das águas. Porto Alegre, 2008.
- RIO DE JANEIRO (2004). *Lei n.º 4.393, de 16 de setembro de 2004*. Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de água de chuva. Rio de Janeiro.

SÃO PAULO (2002). *Lei n.º 13.276, 04 de janeiro de 2002*. Torna obrigatória a execução de reservatório de águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m². São Paulo.

TOMAZ, P. (2003). *Aproveitamento de água de chuva*. São Paulo: Navegar Editora.

YOSHIMOTO, P. M.; SILVA, S. M. N. (2005). *Uso racional de água*. In: Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. São Paulo, ABES.