

## COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Carolina K. Novakoski <sup>1\*</sup> & Marcelo G. Marques <sup>2</sup> & Eliane Conterato <sup>3</sup> & Eder Daniel Teixeira<sup>4</sup>  
& Rute Ferla<sup>5</sup>

**Resumo** – A escolha do método de dimensionamento do reservatório é uma das etapas mais importantes do projeto de um sistema de aproveitamento de águas pluviais em qualquer tipo de edificação. O presente trabalho tem por objetivo analisar diversos métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais, visando sua implantação em residências unifamiliares. As análises foram realizadas a partir de simulações em residências de padrão baixo, normal e alto, localizadas na cidade de Porto Alegre-RS. Por fim é apresentada uma comparação entre todos os métodos e a indicação dos mais adequados ao dimensionamento de pequenos reservatórios, como é o caso dos implantados nessas residências.

**Palavras-Chave** – Aproveitamento de águas pluviais, dimensionamento de reservatório, residências unifamiliares.

## COMPARISON AMONG DESIGN METHODS OF RAIN WATER RESERVOIR

**Abstract** – The choice of the reservoir design method is one of the most important steps of the conception of the rain water system in any type of building. This paper aims to analyse several methods of rain water reservoir design, whose objective is the implementation in single family residences. The analyses were performed based on simulations in high, normal and low standard residences, located in the city of Porto Alegre-RS. Lastly, a comparison among all the methods is presented, besides an indication of the best suited ones for the design of small reservoirs, as is the case of the ones implemented at these residences.

**Keywords** – Utilization of rain water, reservoir design, single family residences.

## INTRODUÇÃO

Jabur *et al.* (2011) indicam que os mananciais que abastecem as cidades estão se tornando escassos devido ao aumento da população e à poluição urbana e rural lançada a eles. O aproveitamento de águas pluviais auxilia no combate a essa situação, pois possibilita a preservação da água potável para utilização onde é realmente necessária e ainda contribui no combate às enchentes urbanas. Essa medida vem ganhando ênfase em diversas partes do mundo por ser simples e eficiente contra a escassez de água potável para consumo. Segundo Dornelles (2012), dentre as vantagens proporcionadas por esse sistema, os benefícios econômicos decorrentes da economia de água são os mais notáveis e facilmente mensuráveis.

O sistema de aproveitamento de água da chuva consiste na captação da água pluvial por uma superfície, armazenamento e distribuição para bacias sanitárias e torneiras externas. Dornelles (2012) recomenda a utilização da água pluvial para uso não potável, já que, para atingir os padrões

<sup>1</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS); carolkn04@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor Doutor DOH/IPH/UFRGS; mmarques@iph.ufrgs.br

<sup>3</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS); eliconterato@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor Doutor DOH/IPH/UFRGS; eder.teixeira@ufrgs.br

<sup>5</sup> Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS); ruteferla@hotmail.com.

de potabilidade, os custos seriam altíssimos. É importante ressaltar que o sistema, não deve possibilitar contato entre a água pluvial e a potável.

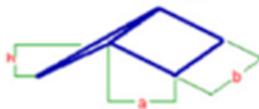
Segundo Cohim *et al.* (2008), os componentes do sistema de aproveitamento são: superfície de captação, calhas e tubulações, tratamentos, bombas, sistemas pressurizados e reservatórios. Como o reservatório representa cerca de 50% a 80% do custo total do sistema, este é um item que deve ser cuidadosamente dimensionado.

Existem diversos métodos para o dimensionamento do reservatório, porém, alguns visam o abastecimento de água, onde o ideal é o reservatório estar sempre cheio, e outros visam o combate a enchentes urbanas, onde o reservatório deve estar sempre vazio. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo comparar os resultados obtidos por alguns métodos e indicar o mais adequado para dimensionamento do reservatório de aproveitamento de águas pluviais para residências unifamiliares localizadas na cidade de Porto Alegre – RS.

## METODOLOGIA

Para execução desta pesquisa foram aplicados diversos métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais em uma residência de cada padrão (alto, normal e baixo) localizadas na cidade de Porto Alegre – RS. As residências foram selecionadas de acordo com a NBR 12721/2005, considerando que as características descritas na norma representam o mínimo necessário a cada padrão.

Para a aplicação dos métodos, foram calculadas as áreas da cobertura e as demandas de cada residência. A área da cobertura foi calculada de acordo com a NBR 10844. Ambas as residências apresentam cobertura do tipo superfície inclinada (figura 1), sendo assim, as áreas das coberturas foram calculadas através da equação 1.



$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) \times b \quad (1)$$

Figura 1: Tipo de cobertura presente nas residências

O cálculo do número de habitantes das residências foi realizado de acordo com o Decreto n. 9369/88, do Departamento Municipal de Água de Porto Alegre, que considera duas pessoas para dormitórios de até 12 m<sup>2</sup> e três pessoas para dormitórios de mais de 12 m<sup>2</sup>. A demanda foi calculada considerando o consumo de água dos aparelhos sanitários em que a água da chuva será utilizada: bacias sanitárias e torneiras externas para lavagem de carros e rega de jardins. Tomaz (2005) fornece os parâmetros para cálculo do consumo da demanda de água residencial usados nos Estados Unidos e ressalta que não existem pesquisas sobre esses dados no Brasil. Sendo assim, considerando-se que a população dos dois países possui hábitos relacionados ao consumo de água parecidos, o uso desses dados para o presente trabalho é adequado.

Tabela 1 – Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso externo

Uso Externo	Unidade	Parâmetros
Gramado ou jardim	Litros/dia/m <sup>2</sup>	2
Lavagem de carro	Litros/Lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4

Fonte: TOMAZ, 2005, P.52

Tabela 2 – Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso interno

Uso Interno	Unidade	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Mais Provável
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9

Fonte: TOMAZ, 2005, P.51

A área de cobertura, número de moradores e demanda de cada residência estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Características das residências

Residência	Área de cobertura (m <sup>2</sup> )	Número de moradores	Demanda de água não potável (m <sup>3</sup> /mês)
Padrão alto	260	12	17
Padrão normal	196	7	12,8
Padrão Baixo	110	5	9,4

Os dados de pluviometria foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas, disponível em meio digital. Foram utilizados os dados mensais (em milímetros de chuva por mês) e diários (em milímetros de chuva por dia), de 52 anos consecutivos (de 1961 a 2013) da estação de código 3051011, localizada na cidade de Porto Alegre.

Os métodos de dimensionamento aplicados foram: Método de Rippl, Método prático brasileiro, Método da simulação, Método prático inglês, Método prático alemão e Método prático australiano, presentes na NBR 15527/2007, além do Método do maior período de estiagem. Esses métodos estão explicados nos itens a seguir.

### Método prático brasileiro:

Segundo o Método prático brasileiro, o volume do reservatório está relacionado à precipitação da área de captação e ao número de meses de pouca chuva ou seca (equação 2).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (2)$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm); T = número de meses de pouca chuva ou seca; A = área de captação (m<sup>2</sup>); V = volume do reservatório (L).

Como a cidade de Porto Alegre não apresenta um período seco bem determinado, foram aplicados dois valores para T, iguais a 1 e 2 meses de seca.

### Método prático alemão:

Segundo o Método prático alemão, o volume do reservatório será o menor valor entre 6% do volume anual de consumo e 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

### Método prático inglês:

O Método prático inglês considera que o volume do reservatório é dependente apenas da precipitação e da área de captação, como indica a equação 3.

$$V = 0,04 \times P \times A \quad (3)$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm); A = área de captação (m<sup>2</sup>); V = volume do reservatório (L).

### Método de Rippl:

No Método de Rippl (equações 4, 5 e 6) o volume do reservatório é calculado através de um balanço de massa, sendo possível a utilização de dados diários ou mensais de precipitação. Para o presente trabalho foram aplicados tanto os dados diários como mensais.

$$Q(t) = P(t) \times A \times C \quad (4)$$

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (5)$$

$$V = \sum S(t) \quad (6)$$

Onde:

S<sub>(t)</sub> = volume de água no reservatório no tempo t (m<sup>3</sup>); Q<sub>(t)</sub> = volume de chuva captada no tempo t (m<sup>3</sup>); D<sub>(t)</sub> = demanda ou consumo no tempo t (m<sup>3</sup>); P<sub>(t)</sub> = precipitação no tempo t (mm); C = coeficiente de escoamento superficial; A = área de captação (m<sup>2</sup>);

### Método da simulação:

O Método da simulação (equações 7 e 8) calcula o volume do reservatório através de um balanço hídrico a partir de volumes de reservatórios pré-determinados. O método é calculado através de tentativas e erros, onde se supõe conhecer a demanda e o volume do reservatório.

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (7)$$

$$Q(t) = P(t) \times A \times C \quad (8)$$

Onde:

S<sub>(t)</sub> = volume de água no reservatório no tempo t (m<sup>3</sup>); S<sub>(t-1)</sub> = volume de água no reservatório no tempo t-1 (m<sup>3</sup>); Q<sub>(t)</sub> = volume de chuva no tempo t (m<sup>3</sup>); D<sub>(t)</sub> = demanda no tempo t (m<sup>3</sup>); P = precipitação de chuva (mm); T = número de meses de pouca chuva ou seca; A = área de captação (m<sup>2</sup>); C = coeficiente de *runoff*.

Novakoski *et al.* 2015 sugerem uma modificação no Método da simulação aplicado com valores diários de precipitação. Essa modificação consiste em dividir a equação 7 em duas partes, onde primeiramente soma-se o volume de água no reservatório no tempo t-1 com o volume no tempo t, então verifica-se o *overflow* ou suprimento de água externo necessário de acordo com o volume do reservatório que está sendo testado, para então subtrair a demanda. Essa modificação é baseada no fato de que a situação real seria: chove em um determinado momento, a água captada enche o reservatório e, então, a água é consumida. Para o presente trabalho, então, foi aplicado o Método da simulação modificado com valores diários de precipitação, uma vez que este apresentou melhores resultados quando aplicado com pequenos reservatórios. Para a aplicação do Método da simulação com valores mensais, a modificação não é válida, portanto, para essa situação o método foi aplicado normalmente.

### Método Prático australiano:

O Método prático australiano também consiste em calcular o volume do reservatório através de um balanço de massa, porém utiliza a pluviometria média mensal para cada mês do ano. Esse método não se mostrou eficiente porque a cidade de Porto Alegre não possui, na média, meses secos, sendo assim, o método fornece volumes muito pequenos de reservatórios que, na realidade, não atenderiam a demanda. O presente trabalho, então, não apresenta a comparação dos resultados do Método prático australiano com os demais, devido ao fato de que a aplicação deste não é indicada para a cidade em questão.

### Método do maior período de estiagem:

Neste método, o volume do reservatório é calculado com base no maior número de dias consecutivos sem chuva ocorrido na amostra de precipitação e na demanda diária de água não potável. A equação 7 indica como o cálculo é realizado. Dias com precipitação de até 1 mm são considerados sem chuva.

$$V = N \times D \quad (9)$$

Onde:

N = número de dias consecutivos sem chuvas; D = demanda diária para chuva (m<sup>3</sup>); V = volume do reservatório (m<sup>3</sup>).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da aplicação dos métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais nas três residências estudadas podem ser visualizados, de forma gráfica, nas figuras 2, 3 e 4.

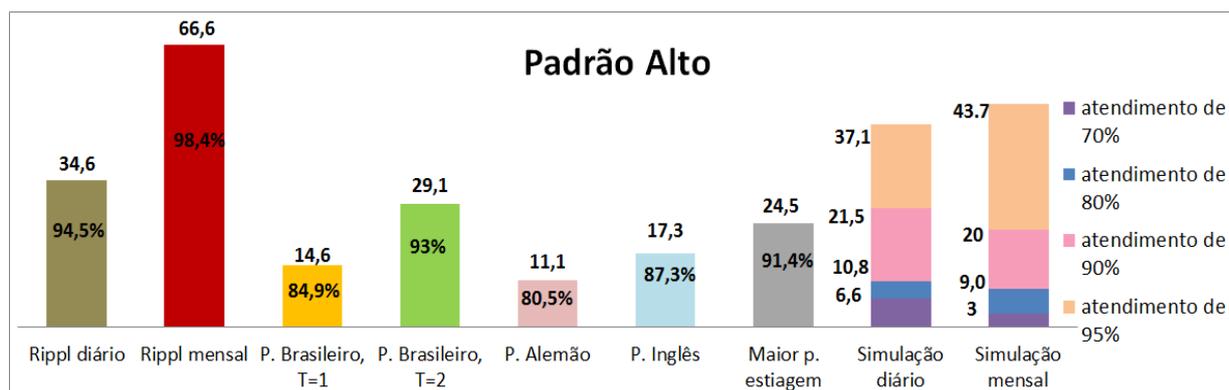


Figura 2: Volumes de reservatório, em m<sup>3</sup>, e porcentagem de atendimento à demanda para a residência de padrão alto.

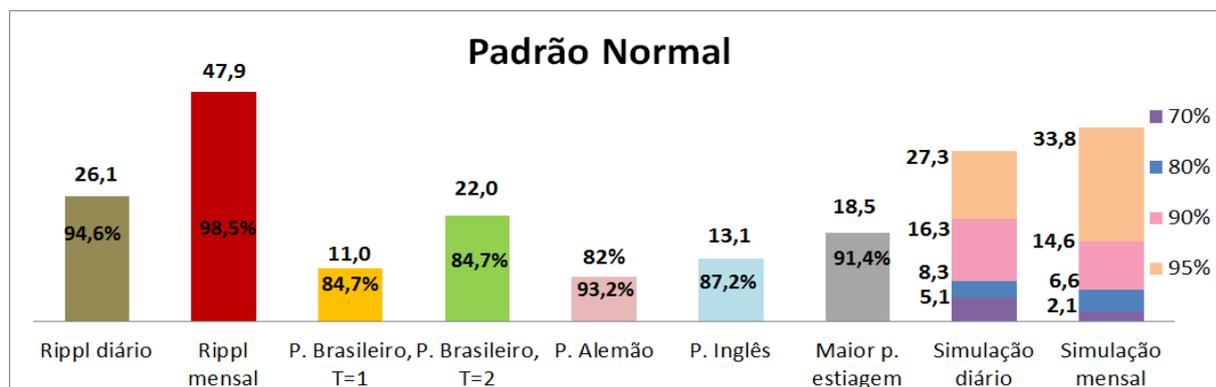


Figura 3: Volumes de reservatório, em m<sup>3</sup>, e porcentagem de atendimento à demanda para a residência de padrão normal.

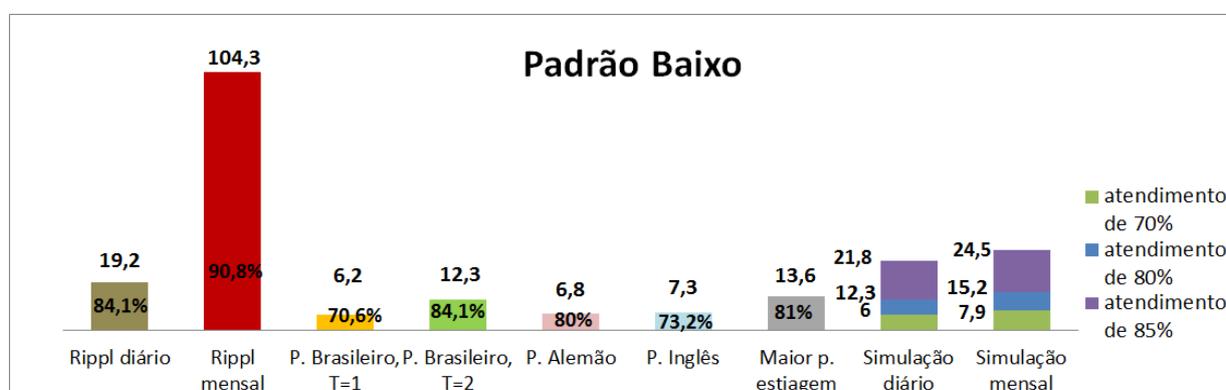


Figura 4: Volumes de reservatório, em m<sup>3</sup>, e porcentagem de atendimento à demanda para a residência de padrão baixo.

Para as residências de padrão alto e normal, os Métodos de Rippl, prático brasileiro com “T” igual a dois, da simulação modificado aplicado com valores diários de precipitação e o do maior período de estiagem apresentaram atendimento a demanda superior a 90%. O Método prático brasileiro aplicado com “T” igual a um e os Métodos práticos inglês e alemão apresentaram volumes de reservatório correspondentes a uma atendimento a demanda entre 80 e 90%.

Para a residência de padrão baixo, os Métodos de Rippl, prático brasileiro aplicado com T igual a dois e do maior período de estiagem apresentaram volumes de reservatório com atendimento à demanda superior a 80%. O Método prático brasileiro com “T” igual a um e os Métodos práticos inglês e alemão apresentaram atendimentos à demanda entre 70 e 80%. Nota-se que houve uma redução no atendimento à demanda para a residência de padrão baixo. Essa redução ocorre porque a relação entre área de captação e o consumo de água não potável desta é inferior se comparada a das outras duas residências.

Deve-se observar que, nem sempre, os métodos que apresentam maiores atendimentos à demanda são mais eficientes. Quando o atendimento à demanda é baixo, um pequeno aumento no volume do reservatório gera uma grande elevação no valor do atendimento à demanda. Quando o atendimento à demanda é maior, necessita-se de um grande aumento no volume do reservatório para um pequeno acréscimo no atendimento à demanda. Assim, se o método aplicado fornece um grande volume de reservatório com um atendimento à demanda alto, é recomendado verificar o quanto uma redução do volume influencia no atendimento, se a influência for pequena, pode-se reduzir significativamente o custo da instalação do sistema. Pode-se verificar, por exemplo, que o Método de Rippl mensal resulta em valores muito altos e desnecessários.

## CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o método que fornece mais informações para o dimensionamento do reservatório é o Método da simulação modificado aplicado com valores diários. O método fornece resultados mais confiáveis para instalação do sistema de aproveitamento de águas pluviais em residências unifamiliares, evitando a construção de um reservatório pequeno, que não apresente um atendimento satisfatório, ou a construção de um reservatório grande e oneroso sem necessidade.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu o apoio financeiro parcial da CAPES - Brasil, CNPq, Finep, Eletrobras, Fapergs, IPH/UFRGS.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (2014). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844 (1989): instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721 (2005): Avaliação de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527 (2005): Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. (2008). Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. In *Anais do IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, Salvador, Nov. 2008, 1, pp. 1-16.

DORNELLES, F. (2012). Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

JABUR, A. S.; BENETTI, H. P.; SILIPRANDI, E. M. (2011). Aproveitamento as água pluvial para fins não potáveis. In *Anais do VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, Rio de Janeiro, Mai. 2011, 1, pp. 1-13.

NOVAKOSKI, C. K.; MARQUES, M. G.; CONTERATO, E. C. (2015). Análise do método da simulação para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais em residências unifamiliares. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, Nov. 2015, 1, pp. 1-8.

TOMAZ, P. (2005) Água de chuva: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. Navegar, São Paulo – SP, 530 p.