



## II-255 - DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA PARA O APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

**Eudes José Arantes** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Karina Querne de Carvalho** <sup>(2)</sup>

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Fernando Hermes Passig** <sup>(3)</sup>

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Cristiane Kreutz** <sup>(4)</sup>

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Endereço** <sup>(1,2,3,4)</sup>: UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão BR 369 - km 0,5 - CEP: 87301-006 - Caixa Postal: 271 - Fone/Fax: (44) 3523 4156 – email: fhpassig@utfpr.edu.br

### RESUMO

O aproveitamento de água de chuva é uma alternativa de armazenamento de água para fins não potáveis atendendo as diversas necessidades de usos domésticos como lavagem de calçadas e carros, irrigação de plantas, descargas de vasos sanitários entre outros usos domésticos não potáveis. Este trabalho teve com objetivo a quantificação das disponibilidades de água de chuva para abastecimentos domésticos não-potável, por meio do estudo prévio para o conhecimento da dimensão do reservatório através de dados históricos pluviométricos do local, com base na demanda em termos quantitativos de recursos hídricos das atividades realizadas. Um equacionamento com base nos dados pluviométrico da região e com a utilização do diagrama de Rippl foi proposto de forma a relacionar a variáveis pertinentes aos projetos de aproveitamento de água de chuva. Com este equacionamento é possível determinar as demandas supridas em projetos em função do volume escolhido para abastecimento e as áreas de telhado. Esta mesma equação pode ser utilizada de forma inversa para determinar o volume de reservatório necessário para suprir uma determinada demanda considerando a área de telhado disponível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aproveitamento de água de chuva, Dimensionamento de reservatório, Uso não-potável

### INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável é um fator preocupante que vem se agravando ao longo dos anos. Apesar da grande quantidade de água existente no mundo, apenas uma pequena parcela disponível é águas doces, sendo as regiões de maiores necessidades de água potável, distantes das regiões de maiores disponibilidades. Outro problema que agrava a disponibilidade é a falta de qualidade das águas próximos aos centros urbanos, devido aos despejos de águas residuárias urbanas e industriais.

Novos métodos estão sendo utilizados e desenvolvidos para preservar os recursos naturais dentre eles o aproveitamento de águas pluviais.



O aproveitamento de água de chuva é uma alternativa de armazenamento de água para fins não potáveis atendendo as diversas necessidades de usos domésticos como lavagem de calçadas e carros, irrigação de plantas, descargas de vasos sanitários entre outros usos domésticos não potáveis. Este é um método de aproveitamento que visa economia do recurso natural, ser um sistema ecológico viável às regiões de estiagens prolongadas onde muitas vezes a água armazenada não se destina exclusivamente para fins não potáveis e viabilidade às regiões com índices pluviométricos consideráveis.

Os objetivos deste trabalho é quantificar as disponibilidades de água de chuva para abastecimentos domésticos não-potável, por meio do estudo prévio para o conhecimento da dimensão do reservatório através de dados históricos pluviométricos do local e com base na demanda em termos quantitativos de recursos hídricos das atividades realizadas. Um equacionamento com base nos dados pluviométrico da região foi proposto de forma a relacionar a demanda suprida para abastecimento não potável com as áreas de telhado e volume de reservatório disponíveis.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### O APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Para uma eficiente implantação de aproveitamento de água de chuva é necessário um projeto de cálculo da demanda a ser utilizada para fins não-potáveis, a viabilidade econômica do tipo de sistema a ser implantado e o principal a característica de precipitação local e regional para que seja estimada a disponibilidade a ser armazenada para suprir a demanda em épocas de estiagem.

#### Dimensionamento de reservatórios

##### *Método de Rippl*

O diagrama de Rippl é um método que se aplica a partir de uma série de dados históricos pluviométricos, se tornando vazões que se acumulam no reservatório. De acordo com Tomaz (2003), com a utilização de microcomputadores, a aplicação do método de Rippl pode ser usada com segurança. A maneira utilizada neste trabalho é o método gráfico de Rippl para demanda constante e chuvas mensais. O método gráfico pode ser feito usando planilha eletrônica, para isto, é necessário volumes de chuva acumulada de janeiro a dezembro, através dos volumes tem-se uma curva e para a demanda constante usaremos uma reta.

##### *Método da simulação*

Neste método a evaporação da água não deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito:

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

$Q_{(t)}$  = C \* precipitação da chuva (t) \* área de captação (2)

Sendo que:  $0 \leq S_{(t)} \leq V$ ; onde:  $S_{(t)}$  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. No período de seca, ou seja, no período crítico de seca, aqueles cujos dados produzidos pela precipitação mensal são menores que a demanda de água, isto é, a demanda é maior que a oferta de água, isso sem considerarmos a reservação.

##### *Método Azevedo Neto*

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 * P * A * T \quad (3)$$

onde: P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm); T é o número de meses de pouca chuva ou seca; A é a área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m<sup>2</sup>); V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).



#### *Dados pluviométricos*

No ponto quantitativo, inicialmente realizou-se um levantamento de dados históricos pluviométricos foram obtidos de uma estação climatológica cadastrada no INMET com dados sem nenhuma falha para os anos de 1969 a 2007 para a cidade de Campo Mourão, no estado do Paraná (Figura 1).

**Figura 1: Localização do Município de Campo Mourão.**



A partir da média pluviométrica dos anos aplicou-se o método de Rippl, necessitando ainda da área do terreno e área de telhado para simulação de um dimensionamento de reservatório, onde previamente já estabelecida a demanda para o cálculo.

## **RESULTADOS**

### **Cálculo da estimativa de reservatório necessário para suprir a demanda estimada**

O método de captação e aproveitamento de águas pluviais pode ser um sistema que não necessariamente supra continuamente as demandas de água não potável. Porém para atender demanda contínua em épocas de estiagem, é preciso calcular a disponibilidade de água para determinada área, necessitando criteriosamente de um projeto.

Utilizando os dados de precipitação médios mensais para a cidade de Campo Mourão foi quantificado para a demanda suprida atendida considerando os volumes de reservatório de captação de águas de chuva de 4 a 14 m<sup>3</sup>, para áreas de telhado de variando de 100 a 300 m<sup>2</sup> com coeficiente de runoff igual a 0,8. Na tabela 1 é apresentado o cálculo da demanda suprida para um telhado com a área de 200 m<sup>2</sup> e um volume de reservatório de 10 m<sup>3</sup>, obtendo uma demanda suprida de 16,46 m<sup>3</sup>/mês. Neste cálculo utilizou-se a função atingir metas do Excel®, de forma a obter a demanda suprida para que o volume de reservatório seja o escolhido para o projeto.

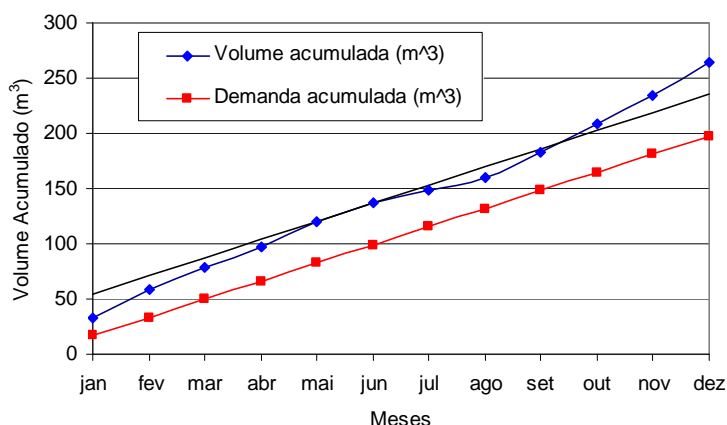


**Tabela 1: Cálculo para dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para a precipitação média mensal**

	Precipitação Média (mm)	Volume mensal de chuva C =0,80 (m³)	Volume mensal de Chuva Acum. (m³)	Volume de Demanda Acum. (m³)	Diferença entre Vol. de chuva de Demanda	Diferença Acum. Valores Positivos
Jan	201,5	32,25	32,25	16,46	15,78	
Fev	161,4	25,83	58,07	32,93	25,14	9,00
Mar	127,0	20,31	78,39	49,39	29,00	6,27
Abr	119,9	19,19	97,58	65,85	31,72	0,90
Mai	136,5	21,83	119,41	82,32	37,09	0,00
Jun	108,5	17,36	136,77	98,78	37,99	4,40
Jul	75,4	12,07	148,84	115,24	33,60	10,00
Ago	67,9	10,86	159,70	131,71	27,99	3,41
Set	144,1	23,05	182,75	148,17	34,58	
Out	164,3	26,28	209,03	164,63	44,40	
Nov	158,0	25,29	234,32	181,10	53,22	
Dez	185,1	29,62	263,93	197,56	66,37	

O método de Rippl utilizando a precipitação média mensal pode-se apresentar gráficos para facilitar a compreensão e a interpretação (Figura 2).

**Figura 2: Diagrama de Rippl**



Analisando-se os cálculos de dimensionamento de reservatório, verifica-se que o volume encontrado é elevado e pode ser ainda maior caso seja utilizado os valores dos meses subsequentes em todo o período da série histórica, ao invés das médias mensais.

Verificando-se a dificuldade no dimensionamento do reservatório, buscou-se relacionar a demanda que pode ser suprida em função da área do telhado e o volume do reservatório proposto. Na tabela 2 estão apresentadas as demandas calculadas para os volumes de reservatório iguais a 4, 6, 8, 10, 12 e 14 m³ e as áreas de telhado de 100, 150, 200, 250, 300 m². O cálculo da demanda suprida foi realizado utilizando a ferramenta Atingir Metas do Excel®, agora para todas as combinações dos dados.

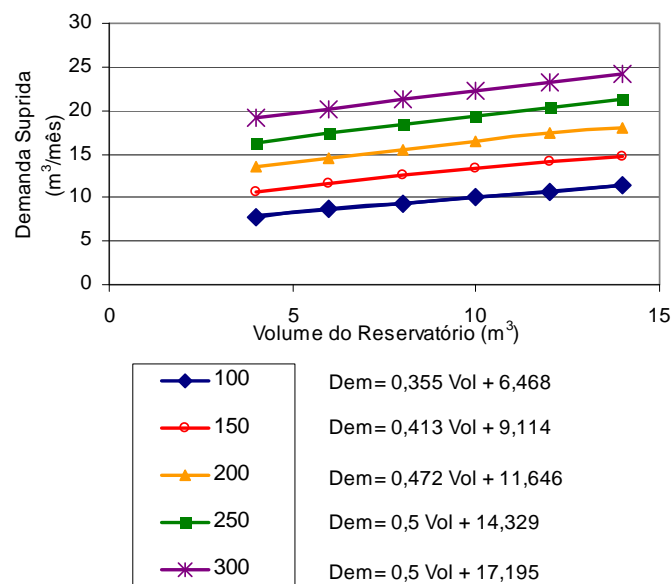


**Tabela 2: Volume de reservatórios de acordo com área e demanda suprida e os volumes de reservatórios (m³)**

Área (m²)	Volumes de reservários (m³)						Dem. Max. (m³/mês)
	4	6	8	10	12	14	
100	7,73	8,73	9,38	10,05	10,71	11,38	11,00
150	10,60	11,60	12,60	13,41	14,07	14,74	16,50
200	13,46	14,46	15,46	16,46	17,43	18,10	21,99
250	16,33	17,33	18,33	19,33	20,33	21,33	27,49
300	19,19	20,19	21,19	22,19	23,19	24,19	32,99

Para a determinação da equação da demanda suprida em função do volume do reservatório e da área do telhado encontraram-se as equações lineares, utilizando-se a função linha de tendência do Excel®, conforme figura 3. Essas equações representam o volume da demanda suprida em função do volume do reservatório para cada área de telhado proposta.

**Figura 3: Determinação da demanda suprida em função do volume do reservatório**



Após a determinação das equações para cada área de telhado, foi possível determinar uma relação das constantes encontradas na interpolação anterior com as suas respectivas áreas utilizadas, da seguinte forma:

$$\text{Dem} = \text{Const1} * \text{Vol} + \text{Const2} \quad (4)$$

Os valores das constantes e dos coeficientes de correlação ao quadrado encontrados para as cinco áreas de telhados calculadas são apresentados na tabela 3.

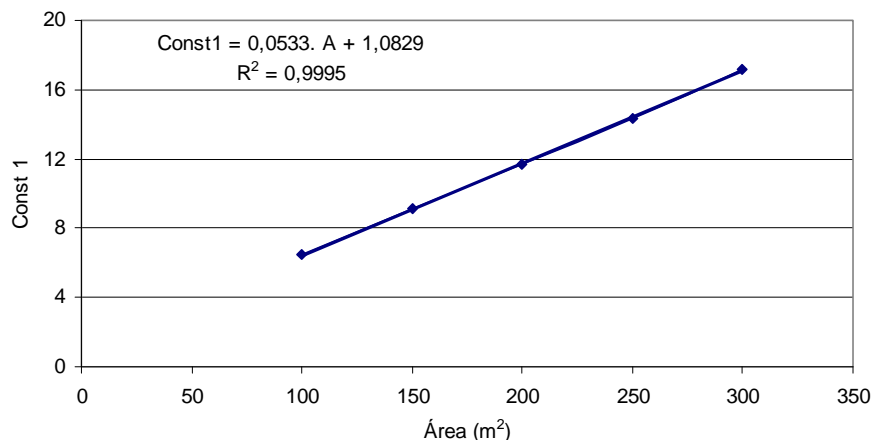
**Tabela 3: Valores das constantes de interpolação e os coeficientes de correlação ao quadrado em função das áreas dos telhados.**

Área (m²)	Const1	Const2	R²
100	6,468	0,355	0,994
150	9,114	0,413	0,991
200	11,646	0,472	0,997
250	14,329	0,500	1,000
300	17,195	0,500	1,000



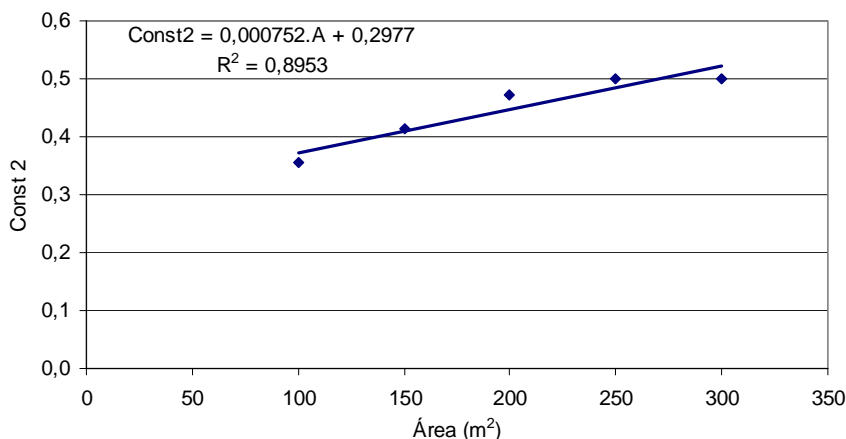
No gráfico da figura 4 apresenta-se uma equação que representa a variação da const1 em função da área. Essa equação também de forma linear pode ser representada pela seguinte função:

**Figura 4: Relação entre a área do telhado e a Constante 1.**



A const2 também foi apresentada graficamente em função da área do telhado de forma a obter os valores dos parâmetros de interpolação para determinação da equação proposta neste trabalho (figura 5).

**Figura 5: Relação entre a área do telhado e a Constante 2**



Utilizando-se as duas interpolações foi possível determinar uma única equação que determine a demanda suprida em função do volume do reservatório e da área do telhado (equação 5). Pode-se representar, com essa mesma equação, o volume do reservatório em função da demanda suprida e da área do telhado (equação 6).

$$\text{Dem} = (7,525 \cdot 10^{-4} \cdot A + 2,977 \cdot 10^{-1}) \cdot \text{Vol} + 5,334 \cdot 10^{-2} \cdot A + 1,083 \quad (5)$$

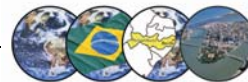
$$\text{Vol} = (\text{Dem} - 5,334 \cdot 10^{-2} \cdot A - 1,083) / (7,525 \cdot 10^{-4} \cdot A + 2,977 \cdot 10^{-1}) \quad (6)$$

onde : Dem é a demanda suprida, Vol, o volume do reservatório e A, área do telhado.

Através destas análises utilizando-se os dados de precipitação e as condições de projeto, foi possível determinar as equações 5 e 6, que podem ser utilizadas como base de cálculo para dimensionamento de reservatório para captação de água de chuva.

## CONCLUSÕES

A captação e aproveitamento de água de chuva podem ser implantados e utilizados em todas as residências, através de um critério de projeto, da qual dependem da demanda, área e precipitação local e é possível atender a uma demanda necessária em períodos de estiagem.



Através de cálculos verificou-se a dificuldade em dimensionar o reservatório por ter-se uma demanda elevada e conseqüentemente a determinação de dimensões de reservatórios com necessidade de alto volume.

Através deste trabalho pode-se concluir que é viável ter um sistema de captação de águas pluviais, por motivos de lembra-se sempre que a cada litro de água de chuva utilizado será um litro de água potável a menos a ser tratado e a vir a faltar num futuro próximo, pois o desperdício de água potável com usos não nobres é prejuízo para nações e para o meio ambiente, onde conseqüentemente poupara aquíferos e corpos d'água ainda existentes.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ANA. Agência Nacional de Águas. Conservação e reúso da água em edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.
2. CUNHA, A. P. S. R. Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
3. MAY, Simone. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, 2004.
4. TOMAZ, Plínio. Aproveitamento de água de chuva. 2 edição. São Paulo: Navegar Editora, 2003.