

ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PARA RESERVATÓRIOS UTILIZADOS EM APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Simar V.de Amorim (1); Daniel J.A. Pereira(2)

(1) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
simar@ufscar.br

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
danielcivil@gmail.com

RESUMO

Em função da justificada preocupação atual com a utilização racional da água potável, é cada vez maior a busca por alternativas eficientes para a redução do seu consumo. Entre essas soluções, o aproveitamento da água pluvial aparece como uma alternativa, pois além de reduzir o consumo da água potável funciona indiretamente como uma medida não estrutural para a drenagem urbana. Dentro deste sistema, a dimensão do reservatório é item fundamental para que o mesmo possua viabilidade econômico-financeira. Os objetivos específicos do trabalho foram: apresentar os métodos de dimensionamento do reservatório; aplicar os principais métodos em um estudo de caso e realizar um estudo comparativo entre eles. O edifício AT6, utilizado como estudo de caso, localiza-se no Campus São Carlos da Universidade Federal de São Carlos, foi finalizado recentemente e é utilizado para a realização de aulas teóricas destinadas aos cursos de Medicina e Enfermagem. Os métodos de dimensionamento analisados foram o Método de Rippl (analítico e gráfico); o Método de consideração do período dos dias consecutivos sem chuva (simplificado e com análise estatística); o Método de análise de simulação de um reservatório com capacidade suposta e os Métodos práticos (brasileiro, alemão, inglês e australiano).

Palavras-chave: sistemas prediais; água pluvial; aproveitamento de água pluvial; edificações sustentáveis; sustentabilidade.

ABSTRACT

Caused by a justified concern about the intelligent use of potable water, it has become higher the seeking for efficient alternatives to the consumption's reduction. Among the solutions, the rainwater harvesting highlights, since it reduces the volume of potable water used and it works as a non-structural drainage action. In a system with this purpose, the reservoir sizing is a main key to its economical feasibility. The objectives of this work was to show the existing sizing methods to rainwater reservoirs, apply the most used in study case and realize comparative study among them. The building AT6, used to this case is in the São Carlos Federal University campus, it's construction finished recently and it is used to theoretical classes of Medical and Nursery School. The sizing methods used were Rippl Method (analytical and graphical); the Method that considers the number of consecutive dry days (simplified and with a statistical analysis); a Simulation Method with a given volume and the Practical Methods (Brazilian, German, English and Australian).

Keywords: plumbing systems; rainwater; rainwater harvesting; sustainable construction; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A água é elemento primordial à preservação da vida sobre a Terra. No entanto, o homem a trata, inúmeras vezes, como um bem inesgotável, utilizando-a freqüentemente de maneira não racional.

Uma das soluções em estudo para aumentar a oferta de água para as edificações é o aproveitamento da água pluvial. Esta se apresenta como uma boa alternativa, visto que além de reduzir o consumo de água potável, ainda surge como uma ação no combate às enchentes, funcionando como uma medida não-estrutural no sistema de drenagem urbana.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial são formados basicamente pela área de captação (geralmente coberturas), os componentes de transporte (calhas e tubos de queda) e o reservatório. O tratamento necessário dependerá da utilização final que se dará a essa água. Ela poderá ser utilizada na indústria, no comércio e nas edificações residenciais em descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de automóveis, lavagem de pisos e piscinas, bem como em diversos processos industriais, e na construção civil (na composição de concreto, por exemplo).

O item reservatório é, na grande maioria dos casos, o mais caro do sistema como já demonstrado em várias pesquisas. Este alto valor de implantação é um dos maiores empecilhos para a disseminação do sistema.

2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é a comparação dos métodos, existentes em bibliografia, para dimensionamento do reservatório do sistema para aproveitamento de água pluvial, através da aplicação em um estudo de caso.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, a escolha de um projeto para aplicação dos métodos de dimensionamento e a discussão comparativa dos resultados.

4 OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E SUA APLICAÇÃO AO ESTUDO DE CASO

4.1 Dados para o estudo de caso

Edifício AT6 do Campus São Carlos da UFSCar. Dois pavimentos (térreo e superior). Áreas: construída: 1363,00 m²; captação (cobertura): 970,00 m²; salas de aula (piso térreo): 505,30 m²; salas de aula (superior): 548,50 m²; corredores/ banheiros (térreo): 228,00 m²; corredores/ banheiros (superior): 222,44 m²; jardins: 750 m²;

Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo, disponíveis no Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH). São Carlos, Posto Usina Santana, Bacia do Jacaré Guaçu, prefixo D5-076, altitude 580 metros, latitude 22° 04' e longitude 48° 04'. Dados dos últimos 10 anos (existente no banco), ou seja, do ano de 1997 ao ano de 2006.

O levantamento da demanda de água pluvial foi realizado considerando a utilização de água para lavagem dos pisos de salas de aula e de banheiros, tanto para o piso térreo quanto para o piso superior, além da utilização na irrigação de jardins. O cálculo foi realizado através de uma freqüência média de utilização mensal de água para tais atividades em função das devidas áreas de lavagem e irrigação (Tabela 1).

Tabela 1. Demanda Mensal de Água Pluvial para o Edifício AT6 da UFSCar.

MESES	Piso de Salas de Aula (m ³)	Piso de Corredores (m ³)	Jardins (m ³)	Demandas Total (m ³)
JANEIRO	2,11	27,00	6,00	35,11
FEVEREIRO	0,00	27,00	6,00	33,00
MARÇO	0,00	27,00	6,00	33,00

Tabela 1. Demanda Mensal de Água Pluvial para o Edifício AT6 da UFSCar (continuação).

MESES	Piso de Salas de Aula (m ³)	Piso de Corredores (m ³)	Jardins (m ³)	Demandas Total (m ³)
ABRIL	0,00	27,00	6,00	33,00
MAIO	0,00	27,00	12,00	39,00
JUNHO	0,00	27,00	12,00	39,00
JULHO	2,11	27,00	12,00	41,11
AGOSTO	0,00	27,00	12,00	39,00
SETEMBRO	0,00	27,00	6,00	33,00
OUTUBRO	0,00	27,00	6,00	33,00
NOVEMBRO	0,00	27,00	6,00	33,00
DEZEMBRO	0,00	27,00	6,00	33,00

4.2 Os métodos de dimensionamento

4.2.1 Método de Rippl

Este método, também chamado de Método do Diagrama de Massas, é muito citado em bibliografias que tratam deste assunto atualmente. Originalmente ele foi desenvolvido ao final do século XIX. Campos et al (2007) comenta que o método é o mais utilizado, principalmente por sua fácil aplicação. Entretanto, há uma série de críticas sobre sua utilização.

O método consiste na determinação do volume com base na área de captação e na precipitação registrada, considerando que nem toda a água precipitada seja armazenada, e correlacionando ao consumo mensal da edificação, que pode ser constante ou variável. Campos (2004) recomenda que quanto menor o intervalo nos dados pluviométricos, maior será a precisão no dimensionamento, devido ao conceito do Método de Rippl, sendo a utilização de valores diários suficiente. Muitas vezes devido à ausência de dados, utiliza-se valores mensais, que também apresentam resultados satisfatórios, além de tornar o procedimento de cálculo menos trabalhoso. Existem duas maneiras de se verificar o volume do reservatório através deste método (MAY, 2004): o método analítico e o método gráfico, sendo o analítico mais comum.

Método Analítico: Neste método (Tabela 2) os dados de entrada são: **precipitação média mensal ou diária (mm); demanda mensal ou diária (m³); área de coleta (m²); coeficiente de escoamento superficial (CES), e eficiência do sistema de captação(η).** A eficiência do sistema de captação refere-se à eficiência dos equipamentos colocados antes do reservatório, isto é, filtros, equipamentos para retirada do escoamento inicial, etc.

Tabela 2. Planilha de dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl

Meses	Precipitação Média Mensal (P)	Área de Coleta (A)	CES x Eficiência do Sistema de Captação (C x η)	Volume Aproveitável	Demandas Mensal	(Volume Aproveitável – Demanda)	Diferença acumulada	Volume do Reservatório de água pluvial
	mm	m ²		M ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Janeiro								
Fevereiro								
...								
Total								

Fonte: Modificado de May (2004) et al.

Os dados de saída são: **volume aproveitável (m³):** volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês ou diariamente [V = P x A x C x η (eq.1) V = volume mensal ou diário de água pluvial (m³); P = precipitação média mensal ou diária (mm); A = área de coleta (m²); C = coeficiente de runoff; η = eficiência do sistema de captação]; (volume aproveitável – demanda)

(m³): diferença entre o volume de água pluvial aproveitável e o volume da demanda a ser atendida; **diferença acumulada** (m³): volume obtido pelo somatório das diferenças negativas do volume aproveitável menos a demanda; **volume do reservatório de água pluvial** (m³): volume adquirido no somatório da diferença negativa do volume de chuva e da demanda.

No estudo utilizou-se dados diários e mensais de pluviometria. Os volumes foram calculados: com a utilização de valores diários e mensais de cada ano da série histórica; com as médias mensais; com as médias diárias; com as medianas mensais; com a utilização de desvios padrões. O cálculo com a utilização de medianas foi realizado calculando-se a mediana de cada amostra mensal da série histórica e aplicando-se os valores mensais de mediana encontrados na tabela do método. Já o cálculo com a utilização de desvios padrões procedeu-se através do cálculo do desvio padrão para cada amostra mensal da série histórica. Na seqüência, somou-se e subtraiu-se o valor encontrado de desvio padrão para a amostra de cada mês, à média mensal encontrada para cada mês nos 10 anos da série, obtendo-se assim dois “Valores Limites”, um superior (encontrado através da soma) e outro inferior (encontrado através da subtração) à média mensal. Assim, pôde-se calcular uma nova média, excluindo os valores que estivessem fora do intervalo compreendido por estes dois valores limites. Esta nova média mensal foi aplicada à tabela, obtendo-se assim o valor final do volume.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos volumes obtidos com a respectiva eficiência do sistema. Tal eficiência foi calculada através da divisão do número de dias em que o reservatório não permanece ocioso (vazio) por 365 (número de dias referentes ao período de um ano), multiplicando o resultado obtido por 100 para chegar ao resultado em forma de porcentagem. O número de dias em que o reservatório não permanece ocioso foi obtido através de uma simulação da variação do volume no reservatório para o pior ano (ano 2000 - menores índices pluviométricos entre os 10 anos da série).

O volume calculado para o chamado Ano Típico refere-se ao cálculo da média dos volumes obtidos para os 10 anos da série. O Melhor e o Pior Ano referem-se aos anos de maiores e menores índices pluviométricos respectivamente.

Tabela 3. Volumes e Eficiências do reservatório - Método de Rippl modo analítico

Método de Cálculo	Volume do reservatório (m ³)	Eficiência (%)
Desvios Padrões	67,30	86,30
Médias Mensais	60,50	85,20
Médias Diárias	57,47	84,38
Pior Ano com Dados Mensais	124,53	100,00
Pior Ano com Dados Diários	123,07	99,73
Melhor Ano com Dados Mensais	53,85	83,56
Melhor Ano com Dados Diários	73,84	88,77
Ano Típico com Dados Mensais	82,16	90,68
Ano Típico com Dados Diários	100,15	93,70
Medianas Mensais	77,36	89,86

Método Gráfico: Para este método (TOMAZ, 2003) são utilizados os volumes de chuva acumulados e a demanda local acumulada no período de um ano (nos meses de Janeiro à Dezembro) os quais devem ser lançados em um gráfico, denominado Diagrama de Massas. Para obter-se o volume do reservatório, traçam-se paralelas pela curva acumulada do consumo tangenciando-a pelo ponto mais alto e pelo ponto mais baixo. A distância vertical entre as duas paralelas será o volume do reservatório obtido pelo modo gráfico do método de Rippl. Aplicando-se este método obtém-se um volume final do reservatório de 65,00 m³ com uma eficiência de 86,03% (ver figura 1).

4.4.2 Método de consideração dos períodos de dias consecutivos sem chuva

Para a utilização deste método (GROUP RAINDROPS, 2002), o ideal é a observação dos registros pluviométricos de anos (principalmente de décadas) anteriores para identificar os maiores períodos de dias consecutivos sem chuvas e sua taxa de repetição. A obtenção dos dados pluviométricos históricos muitas vezes é difícil ou eles até mesmo inexistem, dependendo da localidade.

De posse dos períodos de dias consecutivos sem chuva e do volume de água pluvial consumido diariamente na edificação, o volume mínimo a ser adotado é obtido a partir do produto destes dois valores, ou seja: $V = Cd \times Dsc$ (eq.2) (V = Volume do reservatório de água pluvial (m³); Cd =

Consumo diário de água pluvial (m^3); Dsc = Intervalo de dias consecutivos sem chuvas). Para o estudo de caso tem-se: $V = Cd \times Dsc1 = 1,16 \times 6 = 6,97 m^3$. À seguir, considerou-se a média dos maiores intervalos de dias consecutivos sem chuvas ocorridos mensalmente no período de 10 anos analisado ($Dsc2=12,9$ dias): $V = Cd \times Dsc2 = 1,16 \times 12,90 = 14,97 m^3$. A eficiência do sistema para o primeiro caso é de 69,04% e para o segundo 60,27% (calculadas através de uma simulação para o pior ano da série analisada).

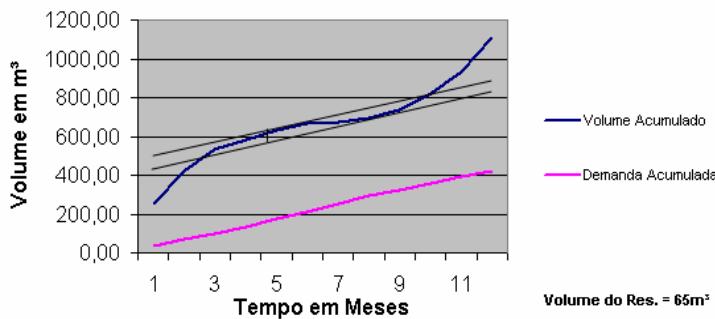


Figura 1. Método de Rippl – Modo Gráfico

Simioni et al (2004) utiliza o método de Weibull e a equação estatística de Gumbel para calcular a probabilidade de ocorrência do evento (P), o tempo de recorrência (T) e a variável reduzida (X). São utilizadas as seguintes equações:

$$P = \frac{m}{(n+1)} \quad (\text{eq.3}) \quad T = \frac{1}{P} \quad (\text{eq.4}) \quad P = \text{Probabilidade de ocorrência do evento; } m = \text{Freqüência; } n = \text{Freqüência acumulada; } T = \text{Tempo de recorrência.}$$

Depois de calculado o tempo de recorrência (T) para cada evento através do método de Weibull, encontra-se a variável reduzida (X) através da equação estatística de Gumbel:

$$X = -\ln[-\ln(1-P)] \quad (\text{eq.5})$$

Em seguida, determina-se a equação da reta da relação entre a variável reduzida (X) e os dias consecutivos sem chuva.

Para o dimensionamento do reservatório é então realizada a montagem e observação de um gráfico de períodos de recorrência (meses) em função do número de dias consecutivos sem chuvas. Neste gráfico observa-se um limite a partir do qual o aumento do período de recorrência não implica em aumento muito significativo no número de dias consecutivos sem chuva. O valor do tempo de recorrência encontrado (T) é então aplicado à equação 4 para encontrar-se a probabilidade (P). O valor de P é aplicado à equação 5 para encontrar-se a variável reduzida X e finalmente retorna-se ao gráfico para encontrar-se os dias consecutivos sem chuva (Dsc). Este valor é aplicado à equação 2 para a determinação do volume do reservatório. A Tabela 4 e as Figuras 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para o estudo de caso. Na Figura 3 o limite foi determinado quando, a partir de um certo período de recorrência, o aumento no número de dias sem chuva foi inferior a 2% em relação ao valor anterior de período de recorrência. Para o nosso caso, obteve-se 37 meses de período de recorrência, ou seja, 20 dias sem chuvas. Assim: $V = Cd \times Dsc3 = 1,16 \times 20,00 = 23,20 m^3$. A eficiência para o volume obtido por este método é de 73,15%.

Tabela 4. Análise estatística para São Carlos

Dias sem Chuva	m	n	P	T	X
3	3	3	0,7500	1,3333	-0,3266
4	9	12	0,6923	1,4444	-0,1644
5	4	16	0,2353	4,2500	1,3158
6	11	27	0,3929	2,5455	0,6952
7	6	33	0,1765	5,6667	1,6391
...

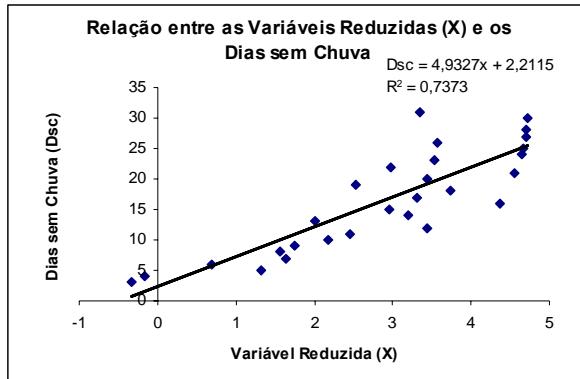


Figura 2. Relação entre a variável reduzida (X) e os dias sem chuva para São Carlos-SP

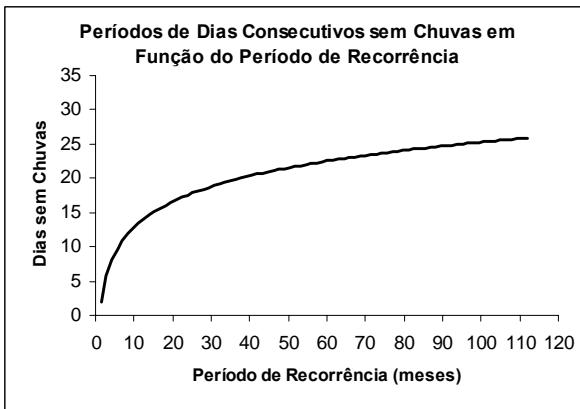


Figura 3. Dias consecutivos sem chuvas em função do período de recorrência para São Carlos-SP.

4.4.3 Método de análise de simulação de um reservatório com capacidade suposta

Fixa-se um volume para o reservatório e verifica-se o percentual de consumo que será atendido. A simulação, segundo Tomaz (2003) apud Werneck (2006), pode ser feita para apenas um ano, porém a análise para um período prolongado fornece maiores chances de se observar o que ocorre em casos anormais, como por exemplo, estiagens prolongadas. O primeiro passo para a aplicação deste método é adotar alguns valores possíveis para o volume do reservatório, baseando-se na estimativa do consumo mensal de água não potável. Werneck (2006) sugere uma tabela e os seguintes passos: adotar os volumes do reservatório a serem analisados; b. para cada mês, adicionar ao valor inicial do volume do reservatório (o final do mês anterior) a quantidade de água captada (segundo o autor pode-se adotar para volume inicial mínimo do reservatório o valor de 1m³, como se fosse remanescente do ano anterior); c. para cada mês, subtrair o volume consumido; d. desenvolver um gráfico para cada reservatório, da variação dos volumes em função dos meses (opcional); e. analisar cada gráfico e calcular a eficiência de cada reservatório conforme apresentado por Tomaz (2003). A eficiência é obtida da relação entre os meses (ou dias) em que o reservatório não se apresenta ocioso (não necessitando de outra fonte de abastecimento) e todos os meses (ou dias) do período estudado. O volume do reservatório a ser escolhido é aquele que apresentar a maior eficiência entre os volumes adotados inicialmente. Pode-se, no caso da eficiência encontrada ainda ser muito baixa, adotar outro volume para o reservatório e refazer este procedimento, até que se chegue a um resultado satisfatório. Para o estudo de caso, os volumes de reservatórios simulados, foram escolhidos em função dos volumes obtidos através do Método de Rippl e do Método de consideração dos dias consecutivos sem chuva. Foram selecionados seis volumes: 10 m³, 25 m³, 50 m³, 75 m³, 100 m³ e 125 m³. Esta simulação foi feita para os anos de 1997 a 2006. A Tabela 5 apresenta a aplicação do método para o ano de 1997 e o resultado final para os 10 anos. A eficiência foi calculada através da divisão do número de meses em que o reservatório consegue suprir a demanda (meses de auto-suficiência) pelo número total de meses analisado (120 – referente à série de 10 anos). Em seguida, multiplicou-se o valor encontrado por 100 para se obter o valor final em porcentagem.

Tabela 5. Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta

MESES	P	V	D	Variação do Reservatório					
	mm	m ³	m ³	10 m ³	25 m ³	50 m ³	75 m ³	100 m ³	125 m ³
jan/1997	380,00	294,88	35,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
fev/1997	134,70	104,53	33,00	10,00	25,00	50,00	75,00	72,53	72,53
mar/1997	92,70	71,94	33,00	10,00	25,00	50,00	75,00	100,00	111,46
abr/1997	42,70	33,14	33,00	10,00	25,00	50,00	75,00	100,00	111,60
mai/1997	78,60	60,99	39,00	10,00	25,00	50,00	75,00	100,00	125,00
jun/1997	193,40	150,08	39,00	10,00	25,00	50,00	75,00	100,00	125,00
jul/1997	30,20	23,44	41,11	0,00	7,33	32,33	57,33	82,33	107,33
ago/1997	0,00	0,00	39,00	0,00	0,00	0,00	18,33	43,33	68,33
...
Meses de Auto-Suficiência				88	91	101	110	117	120
Eficiência do Sistema (%)				73,33	75,83	84,17	91,67	97,50	100,00

4.4.4 Método Prático Brasileiro (empírico, citado em ABNT, 2007)

$V = 0,042 \times P \times A \times T$ (eq.6) (V = Volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L); P = Precipitação média anual (mm); A = Área de coleta em projeção (m²); T = Número de meses de pouca chuva ou seca). Assim: $V = 0,042 \times P \times A \times T = 0,042 \times 1.563,78 \times 970 \times 2 = 12.7416,79$ L = 127,42 m³

4.4.5 Método Prático Alemão (empírico, citado em ABNT, 2007)

Volume é o menor dentre: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável. Vadotado = mínimo entre (V e D) x 0,06 (6%) (eq.7) (V = Volume anual de precipitação aproveitável (L); D = Demanda anual de água não potável (L)). $V1 = 0,06 \times 424.220 = 25.453,20$ L ou $V1 = 25,45$ m³; $V2 = 0,06 \times 1.092.140 = 65.528,40$ L ou $V2 = 65,53$ m³; Vadotado = 25,45 m³.

4.4.6 Método Prático Inglês (empírico, citado em ABNT, 2007)

$V = 0,05 \times P \times A$ (eq.8) (P = Precipitação média anual (mm); A = Área de coleta em projeção (m²); V = Volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (L)). $V = 0,05 \times V \times A = 0,05 \times 1.563,78 \times 970 = 75.843,33$ L = 75,84 m³.

4.4.7 Método Prático Australiano (empírico, citado em ABNT, 2007)

$Q = (A \times C \times (P - I)) / 1000$ (eq.9) (C = coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,8; P = precipitação média mensal (mm); I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm; A = área de coleta (m²); Q = volume mensal produzido pela chuva (m³)). O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório. $V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$ (eq.10) (Q_t = Volume mensal produzido pela chuva no mês t (m³); V_t = Volume de água que está no tanque no fim do mês t (m³); V_{t-1} = Volume de água que está no tanque no início do mês t (m³); D_t = Demanda mensal (m³)). Nota: 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 , em metros cúbicos. $Pr = Nr / N$ (eq.11) (Pr = Falha; Nr = Número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda, isto é, quando $V_t = 0$; N = Número de meses considerado, geralmente 12 meses). Confiança = $(1 - Pr)$. Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90 e 99%.

A Tabela 6 apresenta a aplicação do método para um volume de reservatório de 40m³ e a Tabela 7 mostra um resumo dos valores de reservatório analisados com seus respectivos valores de confiança obtidos. Observa-se que, para a confiança do sistema de captação permanecer entre 90 e 99%, o volume do reservatório deve estar entre 30 e 45m³ (confiança de 91,67% e 100% respectivamente).

Tabela 6. Método Prático Australiano para $V = 40m^3$ e Confiança = 91,67%

MESES ($V=40m^3$)	P mm	A m^2	Q(t) m^3	D(t) m^3	V(t-1) M^3	V(t) m^3
JANEIRO	283,46	970,00	218,41	35,11	0,00	183,30
FEVEREIRO	249,52	970,00	192,08	33,00	40,00	199,08
MARÇO	161,75	970,00	123,97	33,00	40,00	130,97
ABRIL	79,54	970,00	60,17	33,00	40,00	67,17
MAIO	63,05	970,00	47,37	39,00	40,00	48,37
JUNHO	45,26	970,00	33,57	39,00	40,00	34,57
JULHO	28,07	970,00	20,23	41,11	34,57	13,69
AGOSTO	28,89	970,00	20,87	39,00	13,69	-4,44
SETEMBRO	66,66	970,00	50,18	33,00	0,00	17,18
OUTUBRO	129,87	970,00	99,23	33,00	17,18	83,40
NOVEMBRO	171,13	970,00	131,24	33,00	40,00	138,24
DEZEMBRO	256,58	970,00	197,55	33,00	40,00	204,55

Tabela 7. Resumo dos valores de confiança em função dos volumes de reservatório analisados pelo Método Prático Australiano

Volume do Reservatório (m^3)	25	30	35	40	45
Confiança (%)	83,33	91,67	91,67	91,67	100,00

5 DISCUSSÃO

Na aplicação do Método de Rippl – modo analítico (Tabela 3), nota-se que o volume do reservatório varia bastante, em função principalmente do modo de utilização dos índices pluviométricos. Também é possível observar que os volumes calculados com dados diários geralmente apresentam valores próximos ou maiores em relação aos volumes calculados com dados mensais. Isso ocorre devido ao fato de que quando se utiliza dados diários tem-se uma melhor representação dos períodos de estiagem que ocorrem durante o mês, os quais acabam provocando um aumento no valor final do volume do reservatório. Observa-se que o maior volume obtido e o que consequentemente apresenta a maior eficiência para o sistema (100%) refere-se ao volume calculado para o Pior Ano com Dados Mensais, que se apresenta bastante próximo ao volume calculado para o Pior Ano com Dados Diários. Já o menor volume refere-se ao calculado para o Melhor Ano com Dados Mensais, o qual apresenta uma eficiência de 83,56%, mostrando que o cálculo realizado deste modo pode ser interessante do ponto de vista econômico, visto que uma redução de aproximadamente 71,00 m^3 no volume do reservatório (de 124,53 m^3 para 53,85 m^3) apresenta uma variação na eficiência de apenas 16,44%. O volume calculado através do Modo Gráfico do Método de Rippl mostra que este modo, além de apresentar certa simplicidade em relação ao Modo Analítico, chega a um valor bem próximo ao calculado através das Médias Mensais ou com o cálculo através dos Desvios Padrões, chegando a uma eficiência de aproximadamente 86%. Assim sendo, este modo pode ser bastante interessante em dimensionamentos para residências familiares, onde geralmente existe outra fonte alternativa de água. No Método de Consideração dos Dias Consecutivos sem Chuva obtém-se valores inferiores de volumes e eficiências do sistema, principalmente quando o cálculo é realizado pelo Modo Simplificado, onde os volumes obtidos estão muito abaixo dos que foram obtidos através de outros métodos. O Modo da Análise Estatística, embora apresente um valor superior de volume de armazenamento, também reduz a eficiência do sistema para 73,15%. Com relação aos Métodos Práticos apresentados, enquanto o Método Prático Brasileiro e o Método Prático Inglês fornecem valores de volumes relativamente elevados (127,42 e 75,84 m^3 respectivamente) o Método Prático Alemão e Australiano fornecem valores bastante conservadores (25,45 e 45,00 m^3 respectivamente).

6 CONCLUSÕES

Quando levado em conta o fator econômico, o dimensionamento através do método de Rippl pode ser realizado através das médias mensais ou diárias do modo analítico, e pelo modo gráfico, que levam a

valores menores, porém ainda apresentam uma eficiência considerável. Já nos casos onde é dada maior importância para o suprimento da demanda ao longo do maior período possível, principalmente em regiões de baixos índices pluviométricos, pode-se realizar o dimensionamento com a utilização dos dados referentes ao Pior Ano da série, com dados mensais ou diárias, os quais levam a um maior volume de reservatório e uma eficiência bastante elevada. Na aplicação do Método de Rippl 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. Isto ocorre porque com o aumento da área de captação aumenta-se consequentemente o volume de água captado, o qual suprirá por um maior período de tempo a demanda.

A aplicação do Método de Consideração dos Dias Consecutivos sem Chuva é interessante para os casos onde se deseja diminuir o custo total do reservatório e onde existem outras fontes de água para o suprimento da demanda.

O Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta é bastante interessante nos casos onde se deseja analisar detalhadamente a variação do volume do reservatório ao longo dos anos. Através de sua aplicação podem ser analisados vários volumes de reservatórios simultaneamente, com suas respectivas eficiências e com relativa simplicidade em relação a outros métodos. Assim, pode-se realizar a simulação dos volumes de reservatórios até que se chegue à eficiência desejada para o sistema, de acordo com os interesses do proprietário. A eficiência geralmente é adotada em função da destinação final que se dará à água armazenada e também de acordo com interesses econômicos. O Método Prático Brasileiro e o Método Prático Inglês podem ser aplicados para casos onde se deseja suprir a demanda de água pluvial por todo ou para a maior parte do ano possível, principalmente em regiões onde ocorre escassez de água em determinados períodos do ano (como na região Nordeste do Brasil, por exemplo). O Método Prático Alemão e o Método Prático Australiano são mais indicados quando se deseja diminuir o volume do reservatório, diminuindo assim os gastos com a implantação do sistema. Neste caso, devem existir outras fontes de abastecimento de água para os períodos em que o reservatório não supre a demanda. Os métodos práticos, por serem menos complexos e de fácil aplicação, são mais indicados em residências unifamiliares ou pequenos estabelecimentos, enquanto os métodos mais complexos, como o Método de Rippl, Método de Análise de Simulação e Método de Consideração dos Dias sem Chuva são mais indicados para projetos maiores, como indústrias, por exemplo.

Nota-se, portanto, que se tem tanto métodos mais conservadores, quanto métodos que superdimensionam o reservatório. A Tabela 8 apresenta um resumo dos métodos analisados no trabalho, mostrando quais forneceram valores relativamente conservadores e os que levaram a um superdimensionamento. O Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta não aparece na tabela devido ao fato de o volume final calculado por este método poder ser tanto conservador quanto de superdimensionamento do reservatório, variando em função dos interesses que se tem com a implantação do sistema.

Tabela 8. Classificação dos Métodos Analisados

Métodos Conservadores	Métodos que Superdimensionaram o Reservatório
Rippl - Desvios Padrões	Rippl - Pior Ano com Dados Mensais
Rippl - Médias Mensais Rippl -Médias Diárias	Rippl -Pior Ano com Dados Diários
Rippl - Melhor Ano com Dados Mensais	Rippl -Ano Típico com Dados Mensais
Rippl - Melhor Ano com Dados Diários	Rippl -Ano Típico com Dados Diários
Rippl - Modo Gráfico	Rippl - Medianas Mensais
Consideração dos Dias Consecutivos sem Chuva	Prático Brasileiro
Prático Alemão	
Prático Australiano	Prático Inglês

Pode-se concluir dizendo que, embora existam grandes dispersões entre os valores obtidos para o reservatório de armazenamento de água pluvial para os métodos analisados neste trabalho, a escolha do mais adequado deve ocorrer de acordo com os interesses finais de implantação de um Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial e também em função da região de implantação. Por exemplo, em regiões chuvosas, deve-se escolher métodos mais conservadores, que levam a volumes inferiores para o reservatório, enquanto que em regiões secas, o ideal é utilizar métodos que superdimensionam o reservatório, para que a água coletada nos períodos de chuva possa suprir a demanda nos períodos secos.

7 REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Norma NBR15527, publicada em 24 de Setembro de 2007 – Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.** Elaborado pela Comissão de Estudo Especial Temporária de Aproveitamento de Água de Chuva. Setembro de 2007. 8p.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos.** 2004. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

CAMPOS, M. A. S.; ILHA, M. S. O.; NOUR, E. A. A.; FRANÇA, V. H.; ALVIM C. R. **Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos.** CD ROM dos Anais do X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 30 e 31 de agosto de 2007, São Carlos-SP.

CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. **Cálculo do Volume do Reservatório de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva: Comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar.** CD ROM dos Anais do X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 30 e 31 de agosto de 2007, São Carlos-SP.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva.** Curitiba: Organic Trading , 2002. 196p. Traduzido por Masato Kobiyama e outros.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** 2004. 159p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2004.

SIMIONI, W. I.; GHISI E.; GÓMEZ L.A. **Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos combustíveis.** 2004. 11p. Estudo de caso em dois postos combustíveis localizados em Florianópolis e Concórdia (SC). Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade (SC). Entac, 2004.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva para Áreas Urbanas e Fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora, 2003.

WERNECK, G. A. M. **Sistemas de Utilização de água de chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí. 2006.** 283f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão de bolsa para o desenvolvimento da pesquisa.