Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial

Comparative analysis of sizing methods of reservoirs used to harvest rainwater

Simar Vieira de Amorim
Daniel José de Andrade Pereira

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 desse sistema, a dimensão do reservatório é item fundamental para a sua viabilidade econômico-financeira. Os objetivos específicos do trabalho foram: apresentar os métodos de dimensionamento de reservatórios; 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. Este foi finalizado recentemente e destina-se à realização de aulas teóricas para os 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.

Simar Vieira de Amorim
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil
Universidade Federal de São Carlos
Rod. Washington Luiz, Km 235,
São Carlos – SP - Brasil
CEP 13565-905
Tel.: (16) 3351-8262
Fax: (16) 3351-8259
E-mail: simar@ufscar.br

Daniel José de Andrade Pereira
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de São Carlos
E-mail: danielcivil@gmail.com

Recebido em 02/01/08
Aceito em 06/05/08

Abstract

Due to increasing concern with the rational use of potable water, efficient alternatives are sought to reduce consumption, such as the use of rain water. In addition of reducing potable water consumption, it can indirectly be used as a non-structural measure of urban drainage. In this system, the sizing of the reservoir is essential to assessing its financial and economic feasibility. The objectives of this article are to present reservoir sizing methods, as well as apply and compare some of the existing methods in a case study. The AT6 building, used as case study, is located in the campus of the University of São Carlos. It has recently built, being used for lectures of the Medicine and Nursing courses. The following sizing methods were analyzed: Rippl's method (analytical and graphic), method of consideration of the number of consecutive days with no rain (simplified and with statistical analysis), method of analysis of simulation of a reservoir with an assumed capacity, and practical methods (Brazilian, German, British, and Australian).

Keywords*: Plumbing systems. Rainwater. Rainwater harvesting. Sustainable construction.*

ISSN 1678-8621 © 2008, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Todos os direitos reservados.

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.

O crescimento populacional, a deterioração dos recursos hídricos e o uso não racional têm levado o ser humano a procurar reduzir a demanda de água bem como a buscar novas fontes para o abastecimento.

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 condutores verticais) e o reservatório. O tratamento necessário dependerá da utilização final que se dará a essa água.

Essa água 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).

Esta pesquisa foi concentrada nos métodos de dimensionamento do reservatório, devido ao fato de ser esse um dos itens mais críticos para a implantação do sistema. O item reservatório é, na grande maioria dos casos, o mais caro do sistema, como já demonstrado em várias pesquisas. Esse alto valor de implantação é um dos maiores empecilhos para a disseminação do sistema.

Na bibliografia pesquisada, o dimensionamento do reservatório geralmente é realizado por métodos iterativos, como o Método de Rippl, o método que considera os períodos de dias consecutivos sem chuva e o Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta, baseado na equação apresentada por McMahon. Existem também os métodos práticos, como o brasileiro e o inglês, entre outros.

Esta pesquisa aplicou e comparou esses métodos em um estudo de caso.

Os métodos de dimensionamento

Um reservatório para esse sistema não pode permanecer por um longo período ocioso, bem como não pode provocar o desperdício de água pluvial em detrimento ao atendimento da demanda necessária. O dimensionamento pode variar de região para região, em função dos objetivos finais de implantação do sistema e principalmente em função da variação dos dados pluviométricos.

De acordo com o volume obtido no dimensionamento, a tecnologia pode ser utilizada para atender à demanda local por alguns dias, alguns meses ou por todo o ano. Geralmente, o cálculo é realizado na tentativa de atender a toda a demanda pelo maior período possível e com o menor custo de implantação.

Para o dimensionamento do reservatório é fundamental o conhecimento da área de captação, da pluviometria local, do coeficiente de aproveitamento da água pluvial e do volume de água potável a ser substituída por água pluvial no edifício em que se executará o sistema.

A área de captação varia de edificação para edificação, e os dados referentes à pluviometria local podem ser obtidos por meio dos postos pluviométricos da região.

A demanda de água pluvial em uma edificação é uma estimativa que pode ser obtida mediante a determinação do consumo mensal de água nos aparelhos sanitários que passarão a utilizar água pluvial após a implantação do sistema. Tal estimativa pode ser obtida basicamente a partir das médias de freqüência e tempo de uso da água e das vazões em cada um. A multiplicação dessas médias pela vazão e pelo número de usuários do mesmo resulta no valor do consumo de água em cada aparelho sanitário.

De acordo com Soares *et al.*[1] (2000) *apud* May (2004), os métodos utilizados para o dimensionamento do reservatório podem ser divididos em quatro grupos principais, segundo a forma de uso dos dados e a apresentação dos resultados:

(a) métodos determinísticos: os dados referentes à precipitação pluviométrica e à demanda são analisados pela curva de massa;

[1] SOARES, D. A. F. et al. Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. In: CIB W62 Seminar. Rio de Janeiro. **Proceedings...** CIB W62 Seminar, . Rio de Janeiro, v. 1, p. D11-1D1-12, 2000

(b) métodos aproximados: baseados em relações empíricas conhecidas;

(c) métodos de modelação: são também conhecidos como métodos de transição probabilística da matriz; e

(d) métodos de análises de sistemas: sendo linear, não linear ou programação dinâmica.

Método de Rippl

Este método, também chamado de Método do Diagrama de Massas, é o que mais aparece nas bibliografias que tratam desse assunto atualmente. Originalmente ele foi desenvolvido ao final do século XIX. Campos *et al.* (2007) comentam que o método é o mais utilizado, especialmente por sua fácil aplicação. Entretanto, há uma série de críticas sobre sua utilização, baseadas principalmente no fato de esse método ter sido, a princípio, desenvolvido para grandes reservatórios, o que acarretaria uma superestimativa do volume a ser reservado.

O método consiste na determinação do volume com base na área de captação e na precipitação registrada, considerando-se que nem toda a água precipitada seja armazenada e correlacionando tal volume 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, utilizam-se valores mensais, que também apresentam resultados satisfatórios, além de tornar o procedimento de cálculo menos trabalhoso.

O período de coleta dos dados da pluviometria local também é de extrema importância para a precisão no dimensionamento, pois, quanto mais prolongado o período analisado, mais eficiente é o dimensionamento.

Existem duas maneiras de se verificar o volume do reservatório através desse método (MAY, 2004): o método analítico e o método gráfico. O primeiro é o mais comum.

Método Analítico

Neste método (Tabela 1) os dados de entrada são: precipitação média mensal ou diária (mm); demanda mensal ou diária (m^3); área de coleta (m^2); 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.

Os dados de saída são:

(a) Volume aproveitável (m^3): volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês ou diariamente (Equação 1).

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad (1)$$

V = volume mensal ou diário de água pluvial (m^3); P = precipitação média mensal ou diária (mm); A = área de coleta (m^2); C = coeficiente de Runoff; η = eficiência do sistema de captação.

(b) (Volume aproveitável – Demanda) (m^3): diferença entre o volume de água pluvial aproveitável e o volume da demanda a ser atendida;

(c) Diferença acumulada (m^3): volume obtido pelo somatório das diferenças negativas do volume aproveitável menos a demanda;

(d) Volume do reservatório de água pluvial (m^3): volume adquirido no somatório da diferença negativa do volume de chuva e da demanda.

Meses	Precipitação média mensal (P)	Área de coleta (A)	CES x Eficiência do sistema de captação (C x η)	Volume aproveitável	Demanda 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 *et al.* (2004).

Tabela 1 – **Planilha de dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl**

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 a 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.

Método de consideração dos períodos de dias consecutivos sem chuva

O método é apresentado pelo Group Raindrops (2002).

Para a utilização desse método, 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 para o reservatório, calculado por esse método, é obtido a partir do produto desses dois valores, ou seja:

$$V = Cd \times Dsc \quad (2)$$

onde:

V = volume do reservatório de água pluvial (m³);

Cd = consumo diário de água pluvial (m³);

Dsc = intervalo de dias consecutivos sem chuvas.

No trabalho desenvolvido por Simioni, Ghisi e Gómez (2004), é realizado um procedimento estatístico na tentativa de otimizar o dimensionamento. Para isso, é utilizado 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 equações 3 e 4:

$$P = \frac{m}{(n+1)} \quad (3)$$

$$T = \frac{1}{P} \quad (4)$$

onde:

P = probabilidade de ocorrência do evento; m = Freqüência; n = Freqüência acumulada;

T = 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:

$$X = -\ln[-\ln(1-P)] \quad (5)$$

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. Nesse gráfico observa-se um limite a partir do qual o aumento do período de recorrência não implica 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 encontrarem-se os dias consecutivos sem chuva (Dsc). Este valor é aplicado à equação 3 para a determinação do volume do reservatório.

Existe também a possibilidade de se fazer o dimensionamento com a consideração dos períodos de dias consecutivos com chuvas, com a finalidade de captar o maior volume de água pluvial possível. Esse procedimento é mais apropriado em regiões onde os períodos de seca são mais extensos que os períodos chuvosos, como, por exemplo na região Nordeste do Brasil. A intenção é captar o maior volume de água pluvial possível nas estações chuvosas, para que este possa suprir a demanda nos períodos de estiagem.

Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta

Este método consiste basicamente na fixação de um volume para o reservatório e na verificação do percentual de consumo que será atendido.

A simulação, segundo Tomaz (2003) apud Werneck (2006)[2], pode ser feita para apenas um ano, porém a análise para um período prolongado fornece maiores chances de se observar o que

[2] 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. 283 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ocorre em casos anormais, como, por exemplo, estiagens prolongadas. No caso de a água pluvial armazenada ser a única fonte de água na edificação, o recomendado é observar um período de décadas de registro, se possível.

O primeiro passo para a aplicação desse método é adotar alguns valores possíveis para o volume do reservatório, com base na estimativa do consumo mensal de água não potável.

Werneck (2006) sugere a utilização de uma tabela em que os dados de entrada são a precipitação mensal e a demanda mensal. Para a utilização da tabela e o correto dimensionamento, recomenda-se seguir os seguintes passos, que resumem a aplicação do método: a) 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 1 m³, 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 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 de a eficiência encontrada ainda ser muito baixa, adotar outro volume para o reservatório e refazer esse procedimento, até que se chegue a um resultado satisfatório segundo o objetivo do projetista (melhor custo/benefício por exemplo).

Conforme sugerido no trabalho desenvolvido por Carvalho, Oliveira e Moruzzi (2007), o Método de Análise de Simulação pode ser utilizado em combinação com outros métodos de dimensionamento, pois os volumes de reservação determinados nesses outros métodos podem ser investigados através dessa simulação, quanto ao seu comportamento, permitindo assim maior precisão na definição do volume do reservatório em função da eficiência alcançada.

Método prático brasileiro

Trata-se de método empírico apresentado na NBR 15527 (ABNT, 2007):

$V = 0{,}042 \times P \times A \times T$ (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.

Método prático alemão

É um método empírico apresentado na NBR 15527 (ABNT, 2007), segundo o qual se toma o menor entre os seguintes valores para o volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$V_{adotado}$ = mínimo entre (V e D) x 0,06 (6%) (7)

onde:

V = volume anual de precipitação aproveitável (L);

D = demanda anual de água não potável (L).

Método prático inglês

Método empírico apresentado na NBR 15527 (ABNT, 2007).

$V = 0{,}05 \times P \times A$ (8)

onde:

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).

Método prático australiano

É um método empírico citado na NBR 15527 (ABNT, 2007).

$Q = (A \times C \times (P - I))/1000$ (9)

onde:

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.

$Vt = Vt\text{-}1 + Qt - Dt$ (10)

onde:

Qt = volume mensal produzido pela chuva no mês t (m³);

Vt = volume de água que está no tanque no fim do mês t (m³);

Vt-1 = volume de água que está no tanque no início do mês t (m³);

Dt = demanda mensal (m³).

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

Quando (Vt-1 + Qt – D) < 0, então o Vt = 0. O volume do tanque escolhido será T, em metros cúbicos.

Para o cálculo da confiança utiliza-se as seguintes equações:

$$Pr = Nr/ N \quad (11)$$

onde:

Pr = falha;

Nr = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando Vt = 0;

N = número de meses considerado, geralmente 12 meses.

Confiança = (1 - Pr)

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.

Programa Netuno

Embora não seja um método de dimensionamento propriamente dito, vale a pena citar este programa computacional devido à sua intensa utilização na região de Florianópolis (SC) e também devido à sua simplicidade de aplicação. O software Netuno foi desenvolvido no ano de 2004, no Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Por meio desse programa é possível determinar o percentual de economia de água tratada, relativo ao consumo de água estimado para o aproveitamento de água pluvial (no setor residencial) para um dado volume do reservatório, em usos onde a água não necessita de tratamento. Assim, é possível testar a economia oferecida para diversos volumes de reservatório até se obter aquele que apresenta o maior percentual de economia com menor custo (OLIVEIRA, 2005).

Apresentam-se também, como resultado da simulação, os percentuais de números de dias do ano em que a água pluvial coletada: a) atende completamente às necessidades diárias de água pluvial; b) atende parcialmente a essas necessidades; e c) não atende às necessidades diárias, ou seja, quando o reservatório de água pluvial encontra-se completamente vazio. Para efeitos comparativos, apresenta-se também o volume de água pluvial extravasado (não aproveitado) ao longo do ano (NETUNO, 2004).

O programa utiliza índices pluviométricos dos anos 2001, 2002 e 2003 da região de Florianópolis fornecidos por órgão estadual (SC) competente. Em futuras versões, prevê-se a disponibilidade de dados para mais regiões.

O estudo de caso

Objeto de estudo

O edifício é denominado AT6 e localiza-se na área norte do Campus São Carlos da UFSCar. É utilizado para aulas teóricas dos cursos de Medicina e Enfermagem. É composto de dois pavimentos (térreo e pavimento superior), possuindo as seguintes áreas: construída: 1.363,00 m^2; captação (cobertura): 970,00 m^2; salas de aula (piso térreo): 505,30 m^2; salas de aula (piso superior): 548,50 m^2; corredores/banheiros (piso térreo): 228,00 m^2; corredores/banheiros (piso superior): 222,44 m^2; e jardins: 750 m^2.

Dados pluviométricos

Os dados utilizados foram obtidos no Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo e estão disponíveis no Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH). Utilizaram-se, entre os postos da cidade de São Carlos, os dados do Posto Usina Santana, localizado na Bacia do Jacaré Guaçu, com prefixo D5-076, altitude de 580 metros, latitude 22º 04' e longitude 48º 04'. Foram utilizados valores de pluviometria referentes aos últimos 10 anos, ou seja, do ano de 1997 ao ano de 2006.

Demanda

O levantamento da demanda de água pluvial foi realizado considerando-se 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 segundo uma freqüência média de utilização mensal de água para tais atividades em função das devidas áreas de lavagem e irrigação. A Tabela 3 apresenta esses resultados.

Resultados

Método de Rippl: modo analítico

A aplicação do método de Rippl neste estudo de caso deu-se com a utilização de dados diários e mensais de pluviometria. Foram calculados os seguintes volumes de reservatórios: 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 padrão.

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 padrão" foi realizado calculando-se o 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-Limite", 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 esses dois valores-limite. Essa nova média mensal foi aplicada à Tabela 1, obtendo-se assim o valor final do volume.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos volumes obtidos com a respectiva eficiência do sistema de captação. Tal eficiência foi calculada por meio 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-se 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 por meio 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.

Meses	Volume necessário para a lavagem das salas de aula (m^3)	Volume necessário para a lavagem dos corredores (m^3)	Volume necessário para a rega de jardins (m^3)	Demanda 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
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

Tabela 3 – **Demanda mensal de água pluvial para o edifício AT6 da UFSCar**

Método de Cálculo	Volume do reservatório (m^3)	Eficiência (%)
Desvios Padrão	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

Tabela 4 – Volumes e eficiências do reservatório – Método de Rippl – Modo Analítico

Método de Rippl: modo gráfico

Aplicando-se esse método obtém-se um volume final do reservatório de 65,00 m³, com uma eficiência de 86,03% (Figura 1).

Método de consideração dos períodos de dias consecutivos sem chuva: modo simplificado

Primeiramente, aplicou-se um modo simplificado, considerando-se o intervalo de dias consecutivos sem chuva que apresentasse maior taxa de repetição no período dos 10 anos analisados (Dsc1=6 dias).

V = Cd x Dsc1 = 1,16 x 6 = 6,97 m³

A 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).

onde:

V = Cd x Dsc2 = 1,16 x 12,90 = 14,97 m³

V = volume do reservatório (m³);

Cd = demanda diária de água pluvial (m³).

A eficiência do sistema para o primeiro caso é de 69,04% e para o segundo, de 60,27% (calculada através de uma simulação para o pior ano da série analisada), e foi obtida por meio de uma simulação para o pior ano da série de 10 anos analisada, ou seja, o ano em que se obtiveram os menores índices pluviométricos no período, assim como realizado para o Método de Rippl.

Método de consideração dos períodos de dias consecutivos sem chuva: modo da análise estatística

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos através das equações apresentadas no item Método de consideração dos períodos de dias consecutivos sem chuva. A Figura 2 mostra a reta obtida com os dados encontrados.

A Figura 3 mostra o comportamento dos períodos sem chuva em função desses tempos de recorrência.

Percebe-se que existe um limite a partir do qual o aumento do período de recorrência não implica aumento muito significativo no número de dias consecutivos sem chuva. Tal limite foi determinado quando, a partir de um 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, obtiveram-se 37 meses de período de recorrência.

Através do procedimento já apresentado, obteve-se o período de dias consecutivos sem chuva correspondente ao período de recorrência de 37 meses, ou seja, 20 dias sem chuvas.

onde:

V =Cd x Dsc3=1,16 x 20,00=23,20 m³

V = volume do reservatório (m³);

Cd = demanda diária de água pluvial (m³).

A eficiência para o volume obtido por esse método é de 73,15% e foi calculada de maneira similar item Método de consideração dos períodos de dias consecutivos sem chuva: modo Simplificado.

Método de análise de simulação de um reservatório com capacidade suposta

Os volumes de reservatórios a serem simulados foram escolhidos em função dos volumes obtidos através do Método de Rippl e do método de consideração dos dias consecutivos sem chuva. Assim sendo, foram selecionados seis volumes diferentes para a aplicação do Método de Simulação: 10 m³, 25 m³, 50 m³, 75 m³, 100 m³ e 125 m³. Essa simulação foi feita para os anos de 1997 a 2006.

A Tabela 6 apresenta a aplicação do método para o ano de 1997 e o resultado final para os 10 anos. A eficiência foi calculada por meio 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.

Método prático brasileiro

V = 0,042 x P x A x T = 0,042 x 1.563,78 x 970 x 2 = 12.7416,79 L = 127,42 m³.

Método prático alemão

Vadotado = mínimo entre (V e D) x 0,06 (6%)

V1 = 0,06 x 424.220

V1 = 25.453,20 L ou V1 = 25,45 m³

V2 = 0,06 x 1.092.140

V2 = 65.528,40 L ou V2 = 65,53 m³

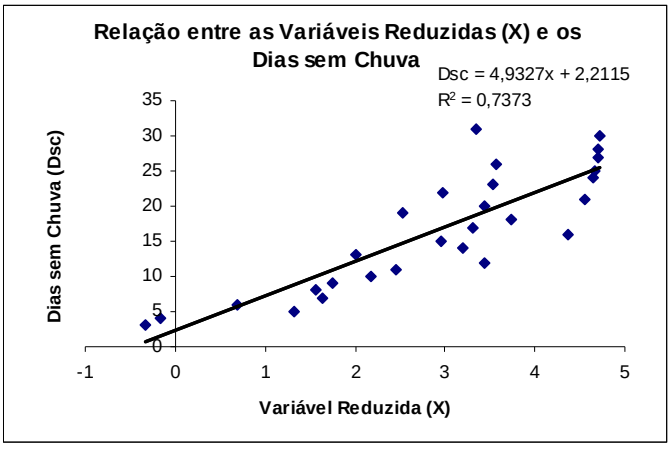
Vadotado = 25,45 m³

Método prático inglês

V = 0,05 x V x A = 0,05 x 1.563,78 x 970 = 75.843,33 L = 75,84 m³

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
8	8	41	0,1905	5,2500	1,5544
9	8	49	0,1600	6,2500	1,7467
10	6	55	0,1071	9,3333	2,1775
11	5	60	0,0820	12,2000	2,4590
12	2	62	0,0317	31,5000	3,4339
13	9	71	0,1250	8,0000	2,0134
14	3	74	0,0400	25,0000	3,1985
15	4	78	0,0506	19,7500	2,9573
16	1	79	0,0125	80,0000	4,3757
17	3	82	0,0361	27,6667	3,3019
18	2	84	0,0235	42,5000	3,7376
19	7	91	0,0761	13,1429	2,5366
20	3	94	0,0316	31,6667	3,4393
21	1	95	0,0104	96,0000	4,5591
22	5	100	0,0495	20,2000	2,9804
23	3	103	0,0288	34,6667	3,5312
24	1	104	0,0095	105,0000	4,6492
25	1	105	0,0094	106,0000	4,6587
26	3	108	0,0275	36,3333	3,5788
27	1	109	0,0091	110,0000	4,6959
28	1	110	0,0090	111,0000	4,7050
30	1	111	0,0089	112,0000	4,7140
31	4	115	0,0345	29,0000	3,3498

Tabela 5 – **Análise estatística para São Carlos**



ISSN 1678-8621 © 2008, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Todos os direitos reservados.

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

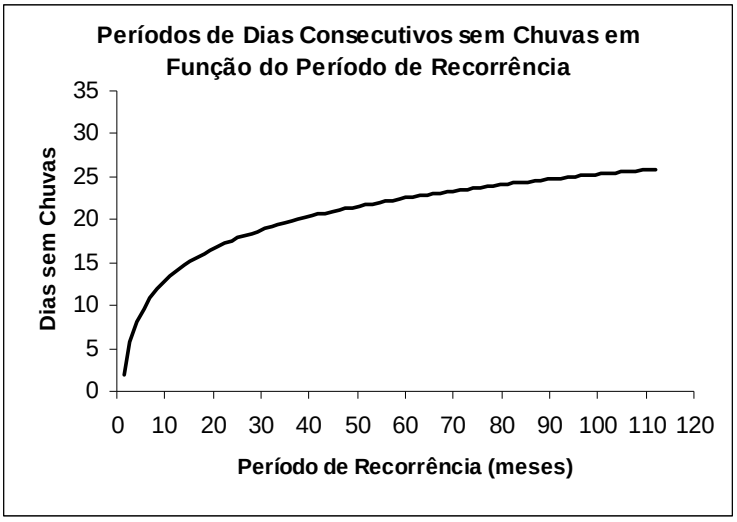


Figura 3 – **Dias consecutivos sem chuvas em função do período de recorrência para São Carlos-SP**

MESES	P	V	D	Variação do Reservatório					
	mm	m³	m³	10 m³	25 m³	50 m³	75 m³	100 m³	125 m³
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
set/1997	59,10	45,86	33,00	10,00	0,00	12,86	31,19	56,19	81,19
out/1997	90,10	69,92	33,00	10,00	25,00	49,78	68,10	93,10	118,10
nov/1997	331,20	257,01	33,00	10,00	25,00	50,00	75,00	100,00	125,00
dez/1997	154,70	120,05	33,00	10,00	25,00	50,00	75,00	100,00	125,00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
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**

Tabela 6 – **Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta**

Método prático australiano

A Tabela 7 apresenta a aplicação do método para um volume de reservatório de 40 m³, e a Tabela 8 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 m³ e 45 m³ (confiança de 91,67% e 100% respectivamente).

Programa Netuno

Este programa não será aplicado no presente trabalho porque ainda utiliza somente índices pluviométricos da região de Florianópolis. Portanto, sua aplicação acaba se tornando inviável em outras regiões, até o presente momento. Conforme comentado na revisão bibliográfica, em futuras versões do programa prevê-se a disponibilidade de dados para mais regiões.

Meses	P	A	Q(t)	D(t)	V(t-1)	V(t)
(V=40 m³)	mm	m²	m³	m³	M³	m³
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 – **Método Prático Australiano para V = 40 m³ e Confiança = 91,67%**

Volume do Reservatório (m³)	Confiança (%)
25	83,33
30	91,67
35	91,67
40	91,67
45	100,00

Tabela 8 – **Resumo dos valores de confiança em função dos volumes de reservatório analisados pelo Método Prático Australiano**

Discussão e conclusões

A Tabela 9 mostra uma síntese dos volumes calculados pelos diferentes métodos.

Na aplicação do Método de Rippl – modo analítico (Tabela 9), 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 utilizam 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, o que conseqüentemente apresenta a maior eficiência para o sistema (100%), refere-se ao volume calculado no 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 no 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 pelo Modo Gráfico do Método de Rippl mostra que esse 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 Padrão, com uma eficiência de aproximadamente 86%. Assim sendo, este modo pode ser bastante interessante em

ISSN 1678-8621 © 2008, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Todos os direitos reservados.

dimensionamentos para residências familiares, onde geralmente existe outra fonte alternativa de água.

Método	Subdivisão	Tipo	Volume obtido (m^3)	Eficiência (%)
Rippl	Analítico	Desvio Padrão	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
	Modo gráfico		65,00	86,03
Dias consecutivos sem chuva	Simplificado	6 Dias	6,97	69,04
		12,9 Dias	14,97	60,27
	Análise estatística	20 Dias	23,20	73,15
Capacidade suposta			10	73,33
			25	75,83
			50	84,17
			75	91,67
			100	97,50
			125	100,00
Brasileiro			127,42	
Alemão			25,45	
Australiano			entre 30 e 45	

Tabela 9 – **Tabela síntese dos volumes calculados por diferentes métodos para o estudo de caso em edifício da UFSCar**

Em resumo, 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 do Modo Gráfico, que levam a valores menores, porém ainda apresentam uma eficiência considerável. Já nos casos em que 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 diários, os quais levam a um maior volume de reservatório e a 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. Isso ocorre porque, com o aumento da área de captação, aumenta-se, conseqüentemente, o volume de água captado, o qual suprirá por um maior período a demanda.

No Método de Consideração dos Dias Consecutivos sem Chuva obtêm-se valores inferiores de volumes e eficiências do sistema, principalmente quando o cálculo é realizado pelo Modo Simplificado, em que os volumes obtidos estão muito abaixo dos que foram obtidos por meio 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%. A aplicação deste método é interessante para os casos em que se deseja diminuir o custo total do reservatório e em que 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 em que 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.

Com relação aos métodos práticos apresentados, enquanto o Método Prático Brasileiro e o Método Prático Inglês fornecem valores de volumes relativamente elevados (127,42 m^3 e 75,84 m^3 respectivamente) os Métodos Práticos Alemão e Australiano fornecem valores bastante conservadores (25,45 m^3 e 45,00 m^3 respectivamente). Logo, pode-se concluir que os dois primeiros podem ser aplicados para casos em que se deseja suprir a demanda de água pluvial por todo o ano 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). Já os dois últimos são mais indicados quando se deseja diminuir o volume do reservatório, diminuindo assim os gastos com a implantação do sistema. Nesse 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 em pequenos estabelecimentos, enquanto os métodos mais complexos, como o Método de Rippl, o Método de Análise de Simulação e o Método de Consideração dos Dias sem Chuva, são mais indicados para projetos maiores, como indústrias, por exemplo. Porém, não existe nenhuma restrição na aplicação de qualquer método a diferentes tipologias de edificações.

Nota-se, portanto, que há tanto métodos mais conservadores quanto métodos que superdimensionam o reservatório. O Quadro 1 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 esse método poder ser tanto conservador quanto de superdimensionamento do reservatório, variando em função dos interesses que se têm com a implantação do sistema.

Métodos Conservadores	**Métodos que Superdimensionaram o Reservatório**
Rippl - Desvios Padrão	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

Quadro 1 – **Classificação dos métodos analisados**

Pode-se concluir afirmando 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 com altos índices pluviométricos, deve-se escolher métodos mais conservadores, que levam a volumes inferiores para o reservatório, enquanto em regiões com baixos índices o ideal é utilizar métodos que superdimensionem o reservatório, para que a água coletada nos períodos de chuva possa suprir a demanda nos períodos secos.

Para o estudo de caso não se conseguiu analisar economicamente a questão, porque a UFSCar capta toda a água que consome de poços subterrâneos. Se o sistema for analisado pelo aspecto educacional de respeito ambiental, poderia se construir um reservatório de 125 m³ atendendo a 100% da demanda.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. São Paulo, 2007.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos**. São Carlos. 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

CAMPOS, M. A. S. *et al*. Sistema de aproveitamento de água pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2007. 1 CD-ROM.

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. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2007. 1 CD-ROM.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Tradução de Masato Kobiyama et al. Curitiba: Organic Trading, 2002. 196 p.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

NETUNO. **Programa para Cálculo do Potencial de Economia de Água Tratada Utilizando Água de Chuva**. Laboratório de Eficiência Energética (LabEEE). UFSC, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/software/netuno.html>. Acesso em: 16 mar. 2007.

OLIVEIRA, S. M. **Aproveitamento da água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares**: estudo de caso em Palhoça/SC. 2005. 149 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SIMIONI, W. I.; GHISI E.; GÓMEZ L. A. Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos combustíveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004. 1 CD-ROM.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** 2. ed. São Paulo: Navegar, c2003.

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.