

IV-035 - AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Leonardo Fontanela⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

João Paulo Mendes

Engenheiro Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Alexandre Vargas

Engenheiro Civil pela Fundação Universitária de Blumenau (FURB), Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Álvaro José Back

Engenheiro Agrônomo, Dr, Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor do PPGCA da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço⁽¹⁾: Rua Angélica Collodel Bettiol, 293, CEP 88840-000 - Urussanga/SC - Tel:+55 (48) 3465-2156 e-mail: leonardofontanela@terra.com.br

RESUMO

A consciência ambiental vem sendo cada vez mais assimilada por todos nós. Projetos de redução do consumo e reuso dos recursos naturais são empregados a cada dia mais. A exemplo disto é o aproveitamento de águas pluviais em residências, onde um sistema é facilmente empregado trazendo muitas vantagens. Para um sistema como este, é imprescindível a instalação de um reservatório para armazenamento da água pluvial coletada. Este, sendo um dos itens de maior custo no projeto, deve passar por um dimensionamento do seu volume para obter a melhor relação custo/benefício. Desta forma, o presente trabalho visou pesquisar e estudar os métodos mais utilizados para este dimensionamento, realizando sua aplicação em uma série pluviométrica da região sul de Santa Catarina. Foram simuladas condições para esta aplicação, estudando quatro dimensões de residências para faixas de consumo de água e percentuais de atendimentos diferentes. Com os resultados para estas variações, obtém-se elementos para consulta futura (gráficos e tabelas), bem como uma planilha para simulação de volumes do reservatório através do Método da Simulação do Reservatório ou Balanço Hídrico Seriado.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento, águas pluviais, dimensionamento.

INTRODUÇÃO

Atualmente as questões ambientais estão sendo cada vez mais focadas pela sociedade, devido a grande preocupação das pessoas em tentar minimizar os impactos que as próprias causam no meio ambiente durante seu período de vida. Os conceitos de redução de impacto, reciclagem de materiais e reuso de recursos estão sendo muito valorizados e discutidos, pois com o advento da globalização do planeta surgiu também a consciência para o meio ecológico. A redução do consumo através da reutilização da água é uma das diversas maneiras de recuperar a degradação do meio ambiente.

O reservatório, como é comumente chamado, é o elemento que acumula a água coletada pelo sistema de captação e é o responsável pela distribuição da água reaproveitada para os pontos de consumo.

Para Oliveira (2004), os reservatórios apresentam sua denominação conforme disposição no terreno. Podem ser dos tipos: Apoiado, quando o fundo permanece em contato com o solo; Enterrado, quando encontra-se totalmente abaixo no nível do terreno (também denominado de cisterna); Semi-Enterrado, quando está parcialmente abaixo do nível do terreno; e o Elevado, quando tem sua posição elevada do solo de modo que permaneça com certa altura para que a água adquira pressão para alimentar o sistema.

Os reservatórios podem ser construídos como parte da edificação, ou podem ser construídos como uma unidade separada, localizada a uma distância da mesma. As considerações de design variam de acordo com o tipo de tanque e outros fatores (RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION, 2002 apud OLIVEIRA, 2004).

Podem ser enumeradas algumas vantagens e desvantagens na utilização dos reservatórios e cisternas, conforme Alt (2009): não permanecem visíveis na edificação, ocupam menor área útil no terreno e garantem bom equilíbrio da temperatura da água. As cisternas tem como desvantagem o fato de necessitar de um conjunto de moto-bomba para o consumo e limpeza.

Um dos métodos mais eficientes de reaproveitamento de água é através da captação da água da chuva que incide diretamente nos telhados das residências e edificações. Sendo reaproveitada para fins não potáveis, existe uma série de aplicações deste recurso, seja no consumo interno e externo das residências, na utilização industrial e também na agricultura. Existem diversos métodos para dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água de chuva, que podem levar a valores discrepantes entre si. Como o custo do reservatório é um dos itens mais altos sobre o custo total, o dimensionamento inadequado pode inviabilizar economicamente o projeto de captação de água da chuva.

Este trabalho teve como objetivo comparar as diferentes metodologias para o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água da chuva em estabelecimento residencial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para aplicação do estudo, foram consideradas neste trabalho faixas de demandas de quatro padrões de habitação definidas por residências com áreas de captação de água da chuva de: 50 m², 100 m², 200 m² e 400 m². A definição destes valores para os estudos de simulação teve como objetivo abranger um amplo leque de padrões residenciais para se obter o comportamento do modelo e sua aplicabilidade. Para cada situação de área, foi gerada uma demanda diferente e calculado o tamanho do reservatório pelos diferentes métodos.

As características de precipitação deste estudo têm como base a série de dados da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no município de Içara, SC. Esta estação pluviométrica, com código 02849022, está localizada nas coordenadas 28°43' S e 49°18' W, com dados diários do período de 1978 até 2009.

Foram aplicados os métodos indicados na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), que são: o método Azevedo Neto, o método Prático Alemão, o método Prático Inglês, o método Prático Australiano e o método de Rippl. Também foram testados outros métodos como o método da máxima seca anual (KOBAYAMA et al. 2002) e o método da Simulação do Balanço Hídrico.

Método da Simulação do Balanço Hídrico

É realizado um balanço de massa pela contabilização de entradas e saídas do reservatório. Sem levar a evaporação da água da chuva em conta, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito, em um determinado mês. Para a aplicação deste método, utiliza-se a equação 1, devendo o reservatório ser considerado cheio no início da contagem do tempo "t", sendo os dados históricos representativos para as condições futuras:

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

Em que: $Q_{(t)}$ = entrada de água dada por $C \times$ precipitação da chuva(t) \times área de captação;

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo 't';

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo 't - 1';

$D_{(t)}$ = demanda ou consumo no tempo 't';

C = Coeficiente de escoamento superficial.

Para a aplicação do método do Balanço Hídrico na série de precipitação utilizada neste estudo, foi necessário o desenvolvimento de uma planilha de cálculo no Microsoft Excel (Figura 1) para possibilitar as simulações conforme os conceitos do método. Estes são baseados no histórico de chuvas diárias para estimar o volume mais adequado para o futuro. Assim, o balanço é realizado diariamente, ou seja, para cada registro de precipitação é realizado a simulação da variação do volume da cisterna. Desta forma, a metodologia não trabalha com dados isolados como médias.

A partir destes conceitos, na metodologia é realizado um balanço entre a precipitação e a demanda, para se concluir o volume ideal do reservatório que atenda as condições determinadas pelo usuário, considerando a condição inicial do reservatório.

A lógica de cálculo da planilha possibilita a entrada dos seguintes dados variáveis definidos pelo usuário:

- Capacidade do reservatório (L), condição simulada. (Figura 1-Item A);
- Perda de altura pluviométrica (mm). (Figura 1-Item B);
- Porcentagem de ocupação inicial do reservatório (%). (Figura 1-Item C);
- Área de coleta (m²). (Figura 1-Item D);
- Demanda ou consumo mensal (L). (Figura 1-Item E).

Para as perdas iniciais da chuva foi considerado o valor fixo de 1 mm (um milímetro) de altura pluviométrica a ser descontada da precipitação de chuva de cada dia. Desta forma não empregou-se o coeficiente de escoamento superficial ou considerado como valor unitário (1).

A obtenção do balanço diário do volume do reservatório indica se foi atendida ou não a demanda (Figura 3-Item H) solicitada pela população da residência. Com isto, é possível aferir o indicador de atendimento desta população (Figura 1-Item I), expresso em percentual. Este torna-se um referencial que pode se transformar em uma meta, onde pelo processo inverso é possível determinar o volume. Ou seja, a partir de uma referência de percentual de atendimento pode-se encontrar o volume mais adequado da cisterna.

Com esta ferramenta também é possível analisar o período de retorno (Figura 3-Item J) para a condição simulada. Para isto tem-se os dados da quantidade de anos da série em que não houve falhas e a quantidade de falhas.

DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO - SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SERIADO

A
B
C
D

I

J

Entrada de Dados		
Capc. Reservatório	850	L
Perda	1	mm
Vol. Inicial	100	%
Area de Coleta	200	m²
Coef Escoam.	1	
	0,9	
% Atendimento	66,5%	%
Nº Anos 100%	0	
Nº Anos c/ Deficit	32	
Total Anos da Base	32	
Periodo de Retorno	1	

Mês

Entrada do Consumo (L)

1	200
2	200
3	200
4	200
5	200
6	200
7	200
8	200
9	200
10	200
11	200
12	200

D

Data	Dia	Mês	Ano	Precipitação (mm)	Precip. Efet. (mm)	Balanço (L)	Demanda (L)	Vol Inicial (L)	Vol Exc (L)	Vol Def (L)	Atendeu? Não Atendeu?	Atend. Anual
1/1/1978	1	1	1978	0	0	850,00	200,00	850	-	-	Atendeu	H
2/1/1978	2	1	1978	0	0	650,00	200,00	650	-	-	Atendeu	
3/1/1978	3	1	1978	0	0	450,00	200,00	450	-	-	Atendeu	
4/1/1978	4	1	1978	0	0	250,00	200,00	250	-	-	Atendeu	
5/1/1978	5	1	1978	0	0	50,00	200,00	50	-	-	Atendeu	
6/1/1978	6	1	1978	0	0	(150,00)	200,00	0	-	150,00	Não Atendeu	
7/1/1978	7	1	1978	0	0	(200,00)	200,00	0	-	200,00	Não Atendeu	
8/1/1978	8	1	1978	0	0	(200,00)	200,00	0	-	200,00	Não Atendeu	
9/1/1978	9	1	1978	31,2	30,2	5.840,00	200,00	850	4.990,00	-	Atendeu	
10/1/1978	10	1	1978	0	0	650,00	200,00	650	-	-	Atendeu	
11/1/1978	11	1	1978	0	0	450,00	200,00	450	-	-	Atendeu	
12/1/1978	12	1	1978	0	0	250,00	200,00	250	-	-	Atendeu	
13/1/1978	13	1	1978	0	0	50,00	200,00	50	-	-	Atendeu	
14/1/1978	14	1	1978	0	0	(150,00)	200,00	0	-	150,00	Não Atendeu	

Figura 1: Planilha de cálculo para dimensionamento do volume do reservatório - Método do Balanço Hídrico Seriado.

Método Azevedo Neto

O método Azevedo Neto utiliza uma série de precipitação de forma anual relacionando com a quantidade de meses com pouca chuva ou seca. É definido como o volume ideal do reservatório 4,2% do produto entre o volume de chuva coletada pelo telhado e o número de meses com pouca chuva ou seca. Desta forma, o método indica o volume de água aproveitável sendo o volume de água do reservatório, conforme equação 2:

$$V = 0,042 P A T$$

(2)

equação

Em que : P = Precipitação média anual (mm);

T = Quantidade de meses de pouca chuva ou seca;

A = Área de coleta em projeção (m²)

V = Volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L).

Método Prático Alemão

O método em questão obtém o volume de armazenamento de água através de uma forma empírica e também muito simples. O mesmo pode ser aplicado em séries, porém de forma anualizada. Assim ele toma como volume do reservatório o menor valor entre 6 % do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável, conforme equação 3. Dentro da precipitação aproveitável, é considerado apenas a área de coleta do telhado. Este se assemelha em partes com a forma também empírica inglesa, porém compara o volume de chuva aproveitável com a demanda anual.

$$V_{\text{adot}} = \min(V; D) 0,06$$

(3)

equação

Em que : V = volume aproveitável de água da chuva anual, expresso em litros (L);

D = demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

V_{adot} = volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

Método Prático Inglês

Da mesma forma que o Método de Azevedo Neto e o Método Prático Alemão, o Método Prático Inglês de dimensionamento de reservatório pode ser empregado apenas séries anuais, trabalhando apenas com a precipitação média de chuva anual e com a área de captação da residência. Assim, a mesma despreza as variáveis como a demanda de água, sendo o volume obtido independente deste. Trata-se de uma metodologia muito simples que considera o volume ideal de armazenamento como sendo 5% do volume de água coletado no telhado. Desta forma, a equação do Método Prático Inglês utiliza a equação 4 para a obtenção do volume do reservatório.

$$V = 0,05 P A$$

(4)

equação

Em que: P = precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A = área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²)

V = volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

Método Prático Australiano

Neste método é necessário obter uma série histórica mensal de precipitação. Ao contrário dos métodos Inglês, Alemão e Azevedo Neto, este método se diferencia por produzir resultados mais criteriosos devido à realização de um pequeno balanço entre as variáveis utilizadas. Utiliza uma análise entre a chuva total do mês em conjunto com a demanda também mensal para equacionar o melhor volume do reservatório. Ocorre a correção do volume de água coletado pela área de captação, e o volume final a obter-se é definido através de tentativas. Para a análise crítica deste volume, o método recomenda a verificação de valores de confiança para as quantidades de meses em que houve o atendimento deste volume para a demanda exigida.

O volume de chuva utilizado na metodologia pode ser definido através da equação 05.

$$Q = A C (P - I)$$

(5)

equação

Em que: C = Coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P = Precipitação média mensal;

I = Intercepção de água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

A = Área de coleta

Q = Volume mensal produzido pela chuva

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas pela equação 6, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad \text{equação (6)}$$

Em que: $Q_{(t)}$ = Volume mensal produzido pela chuva no mês 't';

$V_{(t)}$ = Volume de água que está no tanque no fim do mês 't';

$V_{(t-1)}$ = Volume de água que está no tanque no início do mês 't';

$D_{(t)}$ = Demanda mensal

A Norma NBR 15527/2007 (ABNT, 2007) recomenda que os valores de confiança estejam entre 90% e 99% (10% a 1% de falhas). Os valores de probabilidade de falha e a confiança foram calculados pelas equações 7 e 8:

$$Pr = \frac{N_f}{N} \quad \text{equação (7)}$$

$$C = 1 - \frac{N_f}{N} \quad \text{equação (8)}$$

Em que: P_r = Probabilidade de falha;

N_f = Número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, quando $V_t = 0$;

N = Número de meses considerado, geralmente 12 meses;

C = Confiança

Método de Rippl

Para Garcez (1974, apud PROSAB, 2006), este é um método de cálculo de volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Baseado no sistema denominado diagrama de Rippl desenvolvido no final do século XIX, comumente é utilizado para o cálculo de reservatórios destinados ao abastecimento público, aproveitamento hidroelétrico, irrigação, controle de enchentes e regularização de cursos d'água. Usando-se as séries históricas mensais ou diárias, tem-se o volume do reservatório por este método.

O volume útil do reservatório para uma determinada vazão regularizada é definida pela utilização do diagrama de massa, correspondendo ao volume de maior déficit existente na série histórica. No método de Rippl empregam-se as equações 9 e 10 abaixo:

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad \text{equação (9)}$$

$$V = \sum S_{(t)} \quad \text{equação (10)}$$

Em que: $S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo 't';

$D_{(t)}$ = demanda ou consumo no tempo 't';

$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{área de captação}$;

V = Volume do reservatório;

C = Coeficiente de escoamento superficial.

Método da Máxima Seca Anual

O método sugere que se encontre uma quantidade de dias consecutivos sem chuvas relacionada a um período de retorno a ser definido, podendo calcular o volume de armazenamento do reservatório para este período sem chuva. Este procedimento é desenvolvido aplicando uma análise de frequência através de um método estatístico.

A metodologia pode ser aplicada na série histórica de precipitação adotada neste trabalho. Para início, deve-se determinar a série de máximas anuais de dias consecutivos sem chuva. Para a determinação da quantidade de dias relacionada ao período de retorno é necessário utilizar uma distribuição probabilística para calcular a probabilidade de ocorrência desses eventos, podendo ser utilizada a lei de Gumbel.

Com base nos dados observados de uma série histórica de máximas anuais de dias consecutivos sem chuva pode-se estimar o valor de número máximo de dias consecutivos sem chuva com determinado período de retorno por meio das equações 11 e 12 (Back, 2002).

$$N = \bar{x} + (Y - Y_n) \frac{s}{s_n} \quad \text{equação (11)}$$

$$Y = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad \text{equação (12)}$$

Em que: N = número máximo de dias consecutivos sem chuva;

Y = variável 'Y';

\bar{x} = média da série de máximas anuais do numero de dias consecutivos sem chuva;

S = desvio padrão da série de máximas anuais do numero de dias consecutivos sem chuva;

Y_n = média da variável reduzida (Y);

S_n = desvio padrão da variável reduzida;

Y = variável 'Y';

T = período de retorno.

Para finalidades de aproveitamento de água da chuva tem sido recomendado período de retorno de três (3) anos (Guzzatti, 1999). O volume de chuva a ser utilizado é o volume médio anual. No dimensionamento por este método o volume do reservatório é o próprio consumo de água neste período de dias de seca, devendo verificar se a área de coleta disponível atende a esta demanda.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Método do Balanço Hídrico Seriado

Conforme prescreve o método, através de tentativas foram obtidos os volumes ideais para o reservatório com a realização do balanço, resultado de cada combinação entre consumo, área de coleta e percentual de atendimento. Os resultados foram plotados em gráficos, sendo volume do reservatório (L) *vs* consumo diário (L). Nas figuras 2 a 5 são apresentados os resultados para a área de captação de 50 m², 100m², 200m² e 400 m² respectivamente.

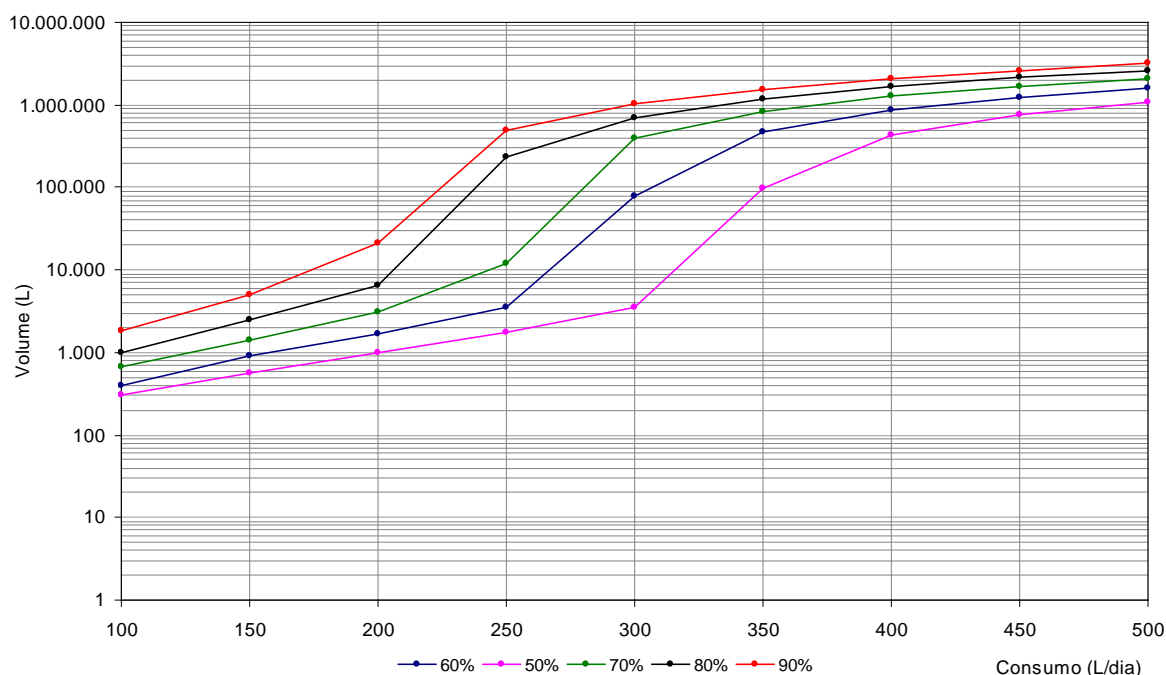


Figura 2: Resultados obtidos para área de coleta de 50 m².

Um ponto em comum encontrado nos gráficos das quatro áreas analisadas é um crescimento exponencial nas curvas do volume ideal para o reservatório. O fato se repetiu em cada percentual de atendimento analisado. Porém, uma análise mais criteriosa mostra que muitas combinações ficam impossibilitadas de serem adotadas na prática. Isto se deve ao fato de se ter encontrado volumes muito altos para reservatórios que atendam fins residenciais, e até mesmo comerciais e industriais. Esta impossibilidade se traduz em se ter disponível uma área muito grande para a instalação do reservatório e também o seu elevado custo.

Os volumes que podem ser empregados na prática são os que atendem aos menores consumos nos menores percentuais de atendimentos analisados. Porém, observa-se que com aumento da área de coleta aumenta juntamente a quantidade de combinações que podem ser utilizadas. Assim, na área de coleta de 400 m² tem-se uma menor variação entre os volumes, comparada à área de coleta de 50 m².

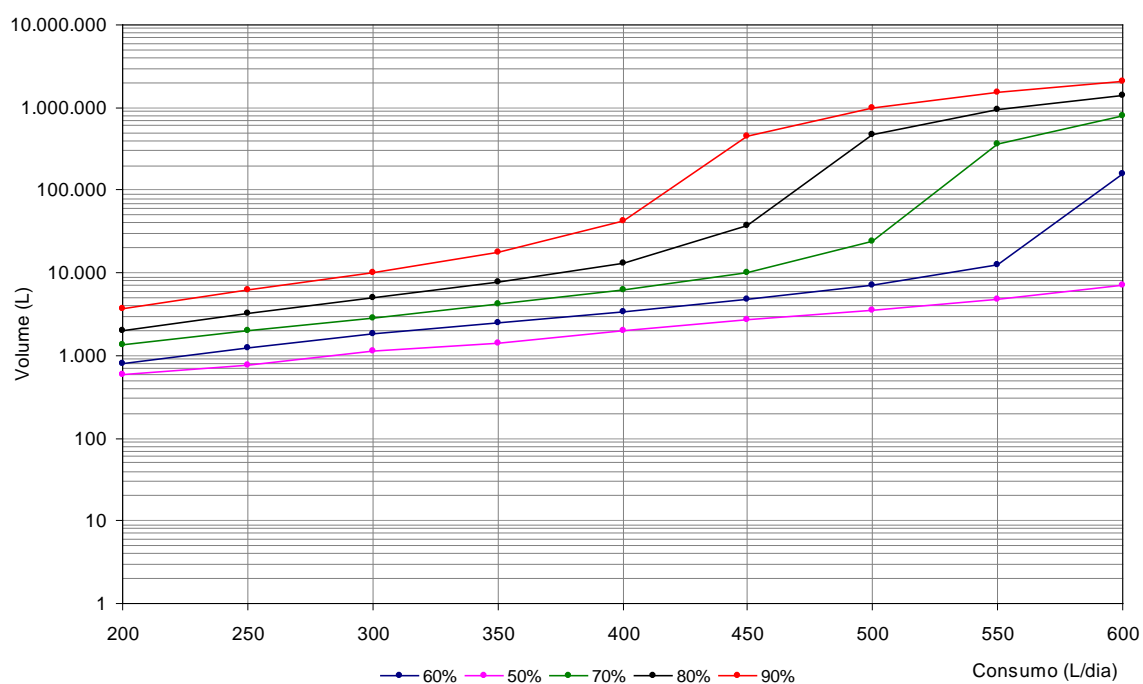


Figura 3: Resultados obtidos para área de coleta de 100 m².

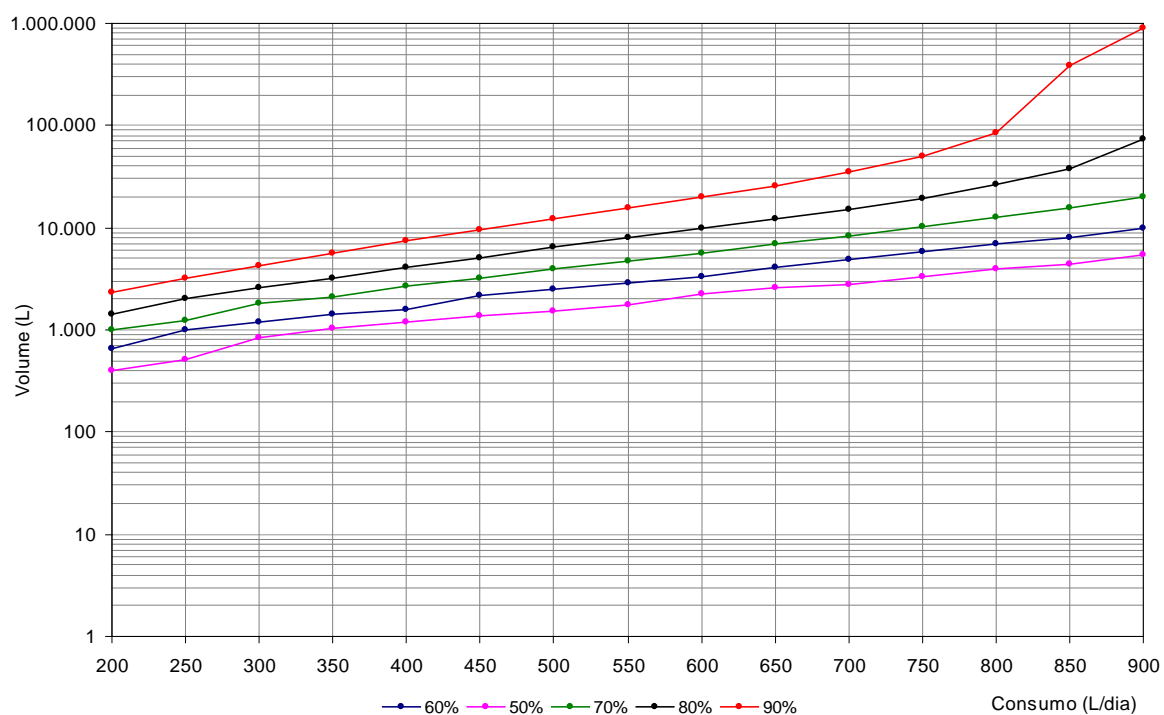


Figura 4: Resultados obtidos para área de coleta de 200 m².

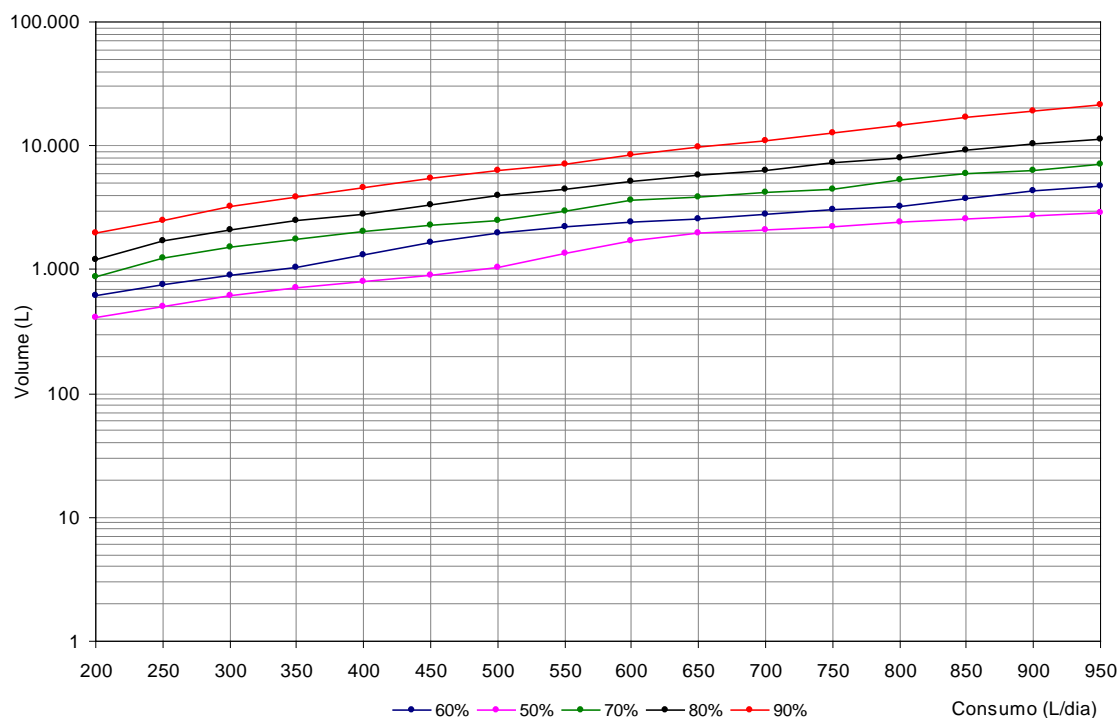


Figura 5: Resultados obtidos para área de coleta de 400 m².

Método Azevedo Neto

A metodologia aplicada por Azevedo Neto relaciona a capacidade de armazenamento do reservatório com uma variável não utilizada pelos demais métodos indicados na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007): a quantidade de meses com seca ou pouca chuva.

A determinação deste parâmetro varia para cada região geográfica, visto que a distribuição de chuva é bastante irregular. Pelo conceito de período de seca, é de fácil identificação o quantitativo destes meses que não houve chuva, mas pelo conceito de pouca chuva não existem normativas especificando dados sobre isto. Na região de estudo deste trabalho, se levado em consideração os meses com seca, não teríamos volume de reservatório, pois não há nenhum registro na série histórica estudada com precipitação de 0 mm mensais. Assim, para o conceito de pouca chuva foi adotado a quantidade média anual de meses da série em que a precipitação foi menor ou igual a 30 mm de chuva. Este indicador foi obtido considerando que para um mês com 30 dias ocorreram chuvas com precipitação menor ou igual a 1 mm. Desta forma, considera-se que 1 mm é chuva perdida para lavagem da área de captação, não aproveitada.

O método também utiliza a média da precipitação anual relacionada com a área de coleta disponível.

O método foi aplicado para as quatro áreas de coletas simuladas, com a quantidade de meses de seca ou pouca chuva de 1 mês. Os resultados obtidos estão dispostos na Figura 6, sendo 3.109 L para 50 m², 6.219 L para 100 m², 12.437 L para 200 m² e 24.875 L para 400 m².

O emprego do Método Azevedo Neto traz uma linearidade nas curvas do volume do reservatório *vs* consumo diário. Esta linearidade constante em cada área de coleta é devida a não utilização da demanda de água não potável neste dimensionamento, fato este que não proporciona uma análise mais coerente da variação da capacidade de armazenamento.

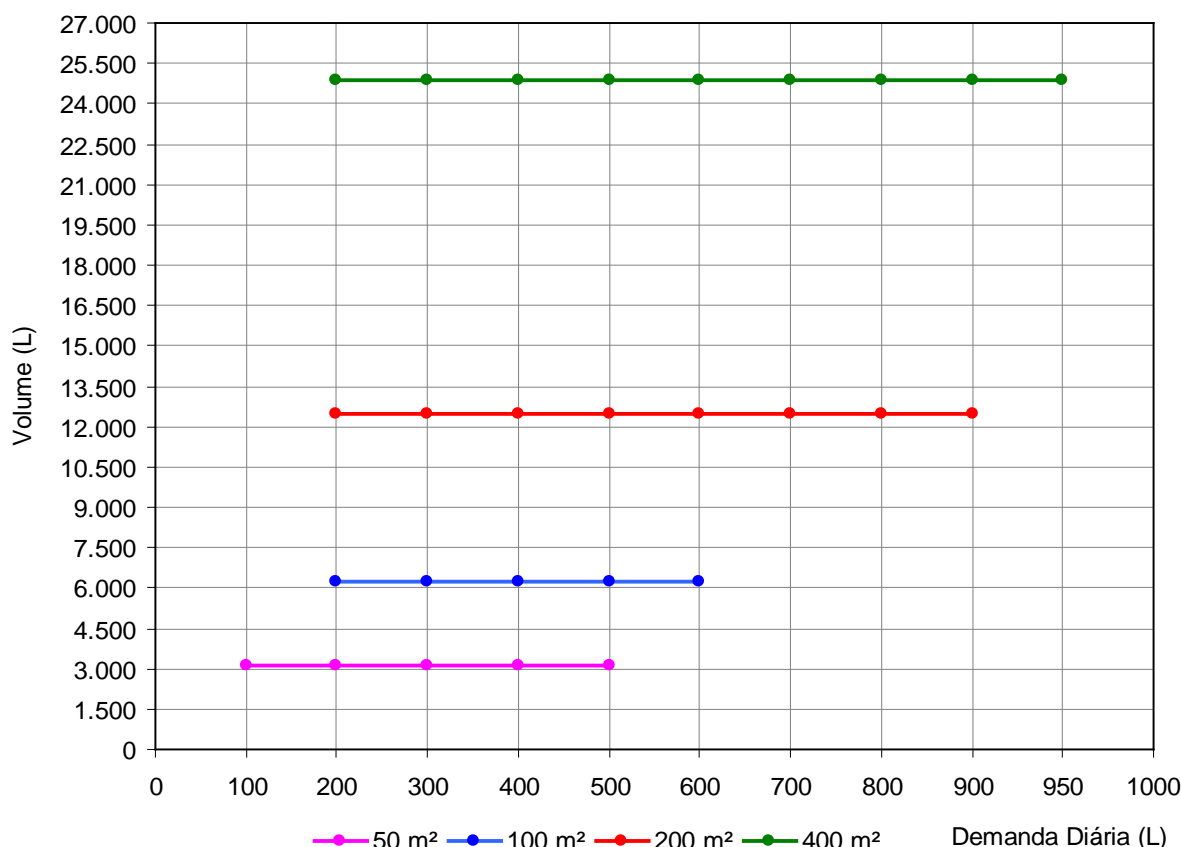


Figura 6: Volume do reservatório obtido pelo Método Azevedo Neto.

Método Prático Alemão

Para aplicação desta metodologia foram determinadas as duas únicas variáveis consideradas, consumo médio anual e precipitação média anual (considerando 365 dias anuais). Com isto, foi aplicada a metodologia nas quatro áreas das residências e em cada valor de demanda, inicial e final, das faixas de consumo estabelecidas para este trabalho. Os resultados estão dispostos na Figura 7.

O método em questão não possibilita a variação do percentual de atendimento, visto que o definidor da capacidade de armazenamento do reservatório é basicamente o menor valor entre a precipitação e o consumo. Assim, por se tratar de uma metodologia empírica, o mesmo não se preocupa com a eficiência do sistema, em termos de análise de aproveitamento da chuva e o consumo, sendo o volume obtido aumentado linearmente conforme a área que se tem disponível para a coleta da chuva.

Diante das altas dimensões encontradas para os volumes obtidos, tem-se alguns fatores delimitadores deste método, como o custo do reservatório e a área disponível para a instalação. Conforme os dados obtidos, chega-se a valores bastante elevados do volume de armazenamento, sendo inviabilizados a instalação de um reservatório com tais volumes nas residências. A exemplo, para o menor consumo na menor área de coleta, torna-se difícil encontrar residências deste porte que possuam espaço para a instalação deste reservatório. Já no caso mais extremo, maior área de coleta e com maior consumo, o volume obtido é tão alto que passa a ser descartada totalmente a implantação do sistema.

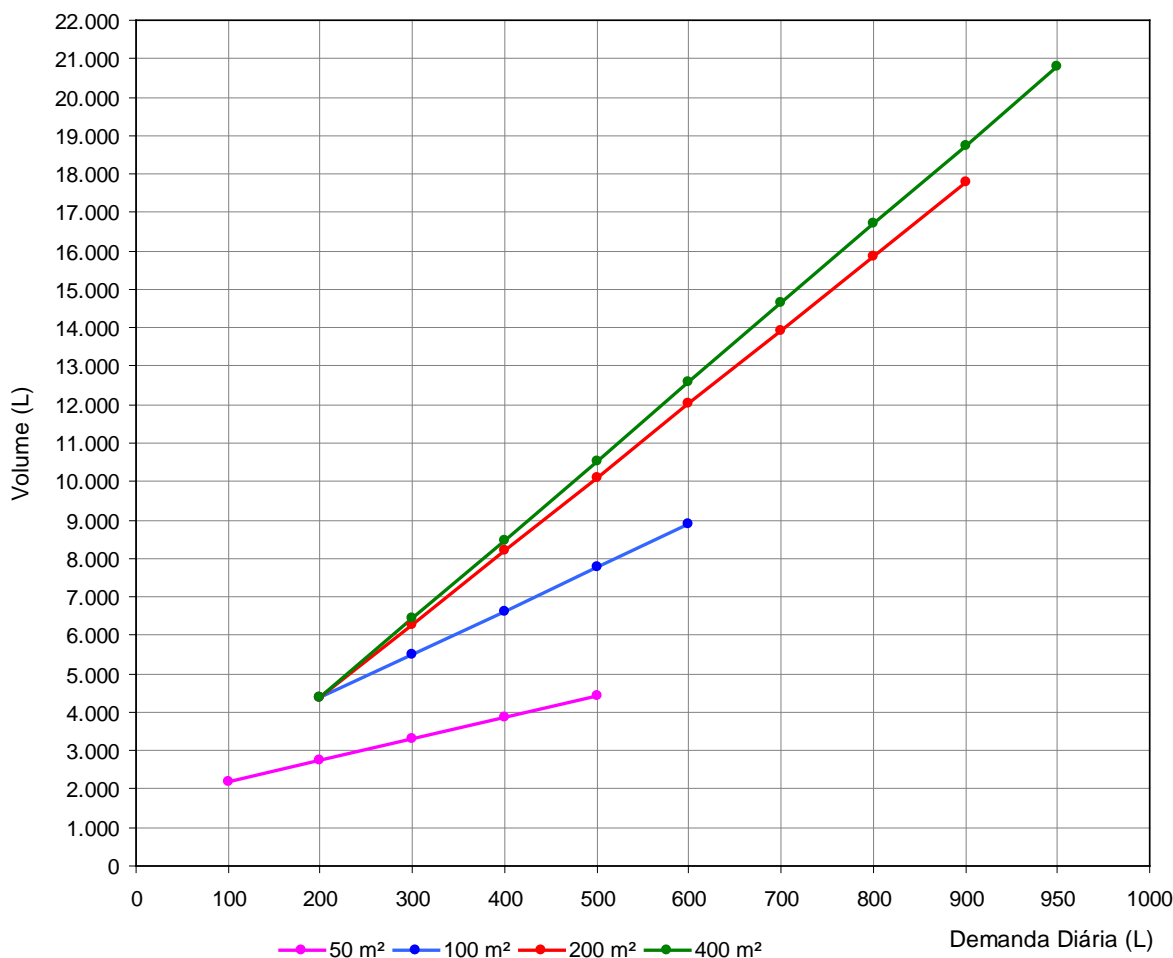


Figura 7: Volume do reservatório obtido pelo Método Prático Alemão.

Método Prático Inglês

O Método Prático Inglês é um dos mais simples de serem aplicados, visto que envolve apenas a precipitação anual. Seu conceito baseia-se que o volume ideal para o reservatório seja de 5% da precipitação aproveitada pela área de captação disponível. Desta forma, neste método haverá variação apenas entre as áreas das residências, sendo os valores do consumo desprezados por este método.

Mesmo assim, é possível aplicar esta metodologia à série histórica disponível, onde é extraído o valor da precipitação média anual da mesma. Os resultados obtidos conforme o Método Prático Inglês estão expressos na tabela 1 e Figura 8.

Tabela 1: Resultados da aplicação do Método Prático Inglês.

Área (m²)	Consumo diário (L)	Volume do reservatório (L)
50	100	3.701,62
	500	3.701,62
100	200	7.403,23
	600	7.403,23
200	200	14.806,47
	900	14.806,47
400	200	29.612,94
	950	29.612,94

Conforme previsão do método, a capacidade do reservatório torna-se constante frente aos diversos consumos simulados, variando apenas a área de coleta das residências. Desta forma, visualiza-se que em uma residência pode ter tanto uma ocupação mínima quanto máxima, que o volume do reservatório para abastecimento de água será sempre o mesmo. Assim, não há um estudo do consumo frente a demanda, podendo se tornar economicamente inviável a utilização do sistema.

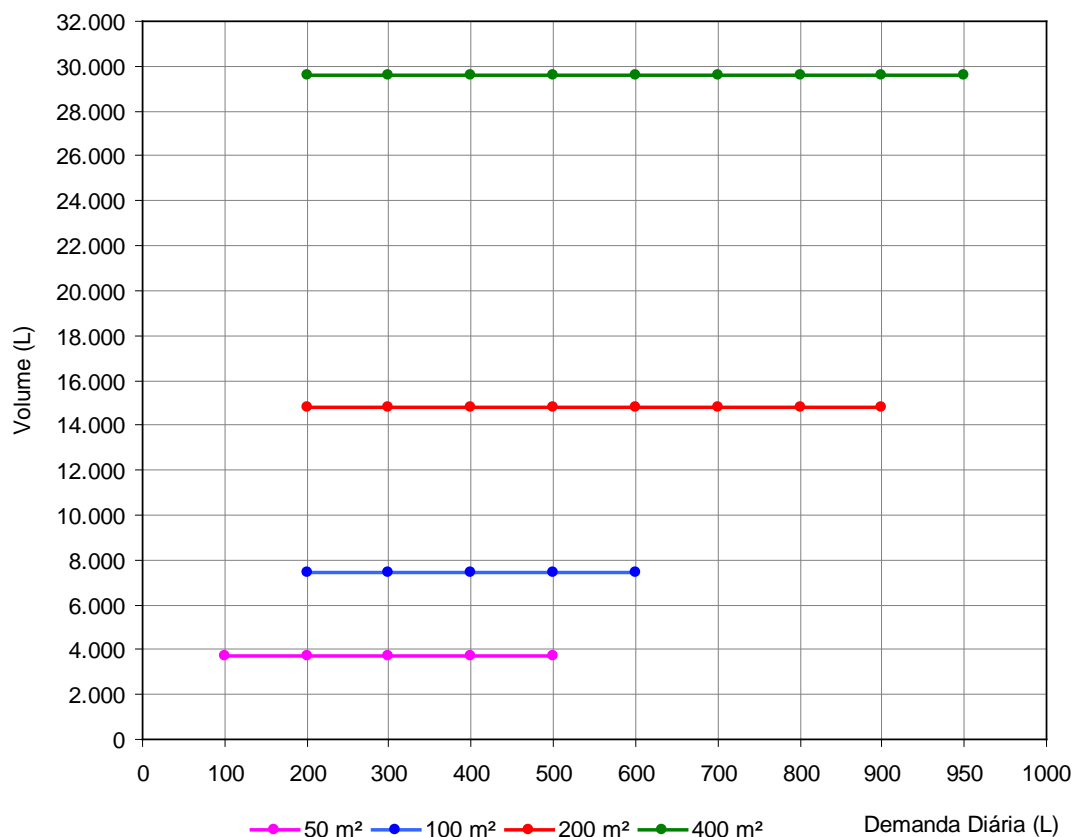


Figura 8: Volume do reservatório, Método Prático Inglês.

Método Prático Australiano

Este método pode ser aplicado à série histórica disponível sendo sua distribuição mensal de chuva, ao invés de diária como o método do Balanço Hídrico Seriado. Sua forma de cálculo é a mesma, porém o consumo utilizado deve ser mensal.

Desta forma, realizou-se o balanço para as quatro áreas de coletas estudadas bem como para as respectivas faixas de consumo, acumulando o consumo a quantidade de dias dos meses, adotando 1 mm como chuva perdida para limpeza de telhado. Através de tentativas se obtém o volume ideal para as situações analisadas, visto que devem atender de 90% a 99% dos meses da série, conforme NBR 15527/2007 (ABNT, 2007). Assim, para este intervalo de confiança o volume adotado foi o primeiro maior ou igual a 90% de confiança (que pode ser referenciado ao percentual de atendimento de 90%, utilizado no Balanço Hídrico Seriado)

Os volumes obtidos estão expressos na Figura 9.

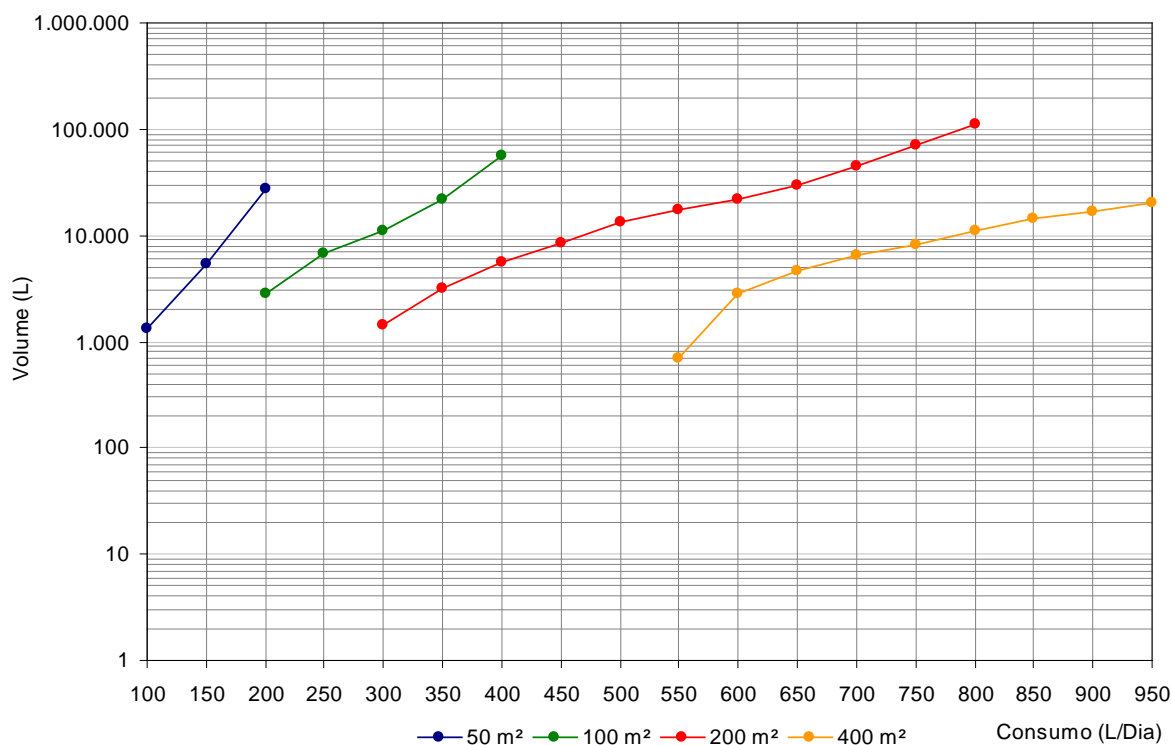


Figura 9: Resultados da aplicação do Método Prático Australiano.

Método de Rippl

Para a aplicação desta metodologia no trabalho em estudo foi utilizado a série de precipitação de forma diária, considerando que para a chuva aproveitada foi descontado da precipitação a altura de 1 mm para lavagem da área de coleta. Para o coeficiente de escoamento foi usado o valor numérico de 1. Em tese, o método considera as seguintes variáveis: precipitação, demanda e área de coleta.

Da precipitação, foram obtidos os volumes de chuva calculados para as quatro áreas de coleta em estudo, obtendo-se um registro diário para cada área. Porém, conforme o método, estes volumes foram acumulados de um dia para outro.

Com a demanda, ocorreu o mesmo princípio, de acumular o volume de um dia para outro, para ter-se o mesmo parâmetro de comparação. Assim, o consumo foi calculado para todos os volumes das faixas de consumo. Desta forma, obteve-se os consumos diários e acumulado desde a menor demanda (100 L/dia) até a maior demanda (950 L/dia).

Com os registros das diferenças destes volumes, a capacidade do reservatório é definida como o valor do maior déficit da série estudada. Desta forma, os resultados do volume do reservatório estão expressos na Tabela 2.

Através dos resultados obtidos na tabela 2, é visto que o intervalo de valores dos volumes obtidos para cada área é bastante elevado, sendo que para fins residenciais apenas o primeiro volume de cada área seria possível de utilização.

Um dos motivos que podem ter levado a valores bastante expressivos de volume é o destino de aplicação deste método. Conforme NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), ele é comumente utilizado para cálculo de reservatórios destinados a abastecimento público, aproveitamento hidroelétrico, irrigação, controle de enchentes e regularização de cursos de água.

Tabela 2: Resultados da aplicação do Método de Rippl.

Consumo Diário (L)	Área de Coleta			
	50 m²	100 m²	200 m²	400 m²
100	800			
200	179.650	1.600	1.600	1.600
300	1.324.970	29.250	29.250	29.250
400	2.493.670	359.300	359.300	359.300
500	3.662.370	1.484.050	1.484.050	1.484.050
600		2.649.940	2.649.940	2.649.940
700			3.818.640	3.818.640
800			4.987.340	4.987.340
900			6.156.040	6.156.040
950				6.740.390

Método A - Seca Máxima Anual

O método sugere que se encontre uma quantidade de dias consecutivos sem chuvas relacionada a um período de retorno a ser definido, podendo calcular o volume de armazenamento do reservatório para este período sem chuva. Na tabela 3 consta a série de máximas anuais de dias consecutivos sem chuva.

Tabela 3: Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano, em ordem decrescente.

Ano	Dias consecutivos sem chuva	Ano	Dias consecutivos sem chuva
1979	36	1992	18
1978	33	1984	17
1988	33	1986	17
1980	31	1991	17
1985	31	1993	17
1981	28	1994	17
2003	28	1996	17
2008	23	2006	16
1997	21	2004	15
2007	21	1998	14
1995	20	2000	14
2001	20	2002	14
1999	19	2005	14
1982	18	1983	13
1989	18	1987	13
1990	18	2009	12

Na tabela 4 constam os valores de número máximo de dias consecutivos sem chuva com diferentes períodos de retorno.

Adotando o período de retorno de 3 anos tem-se a duração da seca máxima anual de 22 dias consecutivos sem chuva. No dimensionamento por este método o volume do reservatório é o próprio consumo de água neste período de dias de seca, devendo verificar se a área de coleta disponível atende a esta demanda.

Tabela 4: Determinação do número de dias e período de retorno.

T	Y	Dias	Dias (arred.)
2	0,3665	19,1	19
3	0,9027	22,3	22
5	1,4999	25,9	26
10	2,2504	30,3	30
20	2,9702	34,7	35
25	3,1985	36,0	36
50	3,9019	40,2	40
100	4,6001	44,4	44

O método foi aplicado nas quatro áreas das residências em estudo para as faixas de consumo estabelecidas, ajustando-o para os 22 dias de seca. O volume de chuva captado por cada área de coleta está expresso na Tabela 5.

Tabela 5: Volume de chuva captável em 22 dias.

Área de captação (m ²)	Volume da cisterna (L)
50	4.462
100	8.924
200	17.849
400	35.698

O volume do reservatório passa a ser então o próprio consumo de água em 22 dias de seca, sendo que para cada consumo da faixa a área de coleta deveria ser suficiente para atender aos consumos, tendo um aproveitamento de 100%. Mas nem todas as situações a área de coleta foi suficiente, onde conforme a tabela 6 tem-se o percentual de atendimento do volume do reservatório de cada consumo em cada área simulada.

Tabela 6: Percentual de atendimento do reservatório.

Consumo (L/dia)	Consumo (L/22 dias)	Área de captação			
		50 m ²	100 m ²	200 m ²	400 m ²
100	2.200	203%	-	-	-
200	4.400	101%	203%	406%	811%
300	6.600	68%	135%	270%	541%
400	8.800	51%	101%	203%	406%
500	11.000	41%	81%	162%	325%
600	13.200	-	68%	135%	270%
700	15.400	-	-	116%	232%
800	17.600	-	-	101%	203%
900	19.800	-	-	90%	180%
950	20.900	-	-	-	171%

Diante dos resultados obtidos, encontraram-se inúmeros volumes mais adequados para cada situação conforme os métodos pesquisados. Desta forma, a Tabela 7 reúne resultados para situações mais relevantes como forma comparativa entre as metodologias.

Tabela 7: Comparativo de volumes do reservatório entre os métodos.

dados	Parâmetros				
Área (m ²)	100	100	200	200	400
Consumo (L/dia)	200	200	500	500	700
Atendimento (%)	50	90	50	90	60
Método	Volume (L)				
Balanco Hídrico	600	3.695	1.520	12.300	2.810
Azevedo Neto	6.219	6.219	12.437	12.437	24.875
Prático Alemão	4.380	4.380	10.950	10.950	15.330
Prático Inglês	7.403	7.403	14.806	14.806	29.613
Prático Australiano	-	2.790	-	13.450	-
Rippl	1.600	1.600	1.484.050	1.484.050	3.818.640
Seca Máxima Anual	4.400	4.400	11.000	11.000	15.400

CONCLUSÕES

Com a finalização do estudo realizado concluiu-se que:

O dimensionamento deve englobar três variáveis determinantes que interferem diretamente no volume do reservatório: área de contribuição, consumo e precipitação pluviométrica.

Não são todas as metodologias que utilizam as três variáveis. Cada método tem sua linha de raciocínio, porém para um resultado mais eficaz é importante que sejam considerados estes itens no dimensionamento.

É importante que se conheça o percentual de atendimento daquele volume obtido para saber a eficiência do sistema, porém não são todos os métodos que disponibilizam esta informação.

Constatou-se que a utilização do Método do Balanço Hídrico Seriado traz resultados mais ponderados à realidade, pois o mesmo realiza uma simulação do volume do reservatório dia a dia da série. As variáveis citadas são a base desta metodologia, permitindo ainda a introdução do percentual de atendimento desejado para o reservatório. Para atendimentos mais elevados deve-se ter volumes muito altos, impossibilitando de serem aplicados devido ao superdimensionamento do sistema, e com uma relação custo/benefício muito desfavorável. Desta forma, recomenda-se utilizar geralmente a faixa de 50% de atendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALT, R. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis – estudo baseado no curso ABNT de 11/02/2009 SP do eng. Plínio Tomaz. 2009. 59 p.
2. ANA, Agência Nacional de Águas. Conservação e reuso da água em edificações. São Paulo/SP, Prol Editora Gráfica, 2005. 151 p.: il
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
4. BACK, Á. J. Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p. (Epagri. Boletim Técnico 123)
5. GUZZATTI, T. G. Aproveitamento de água da chuva em Criciúma. 1999. 35 p. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
6. KOBAYAMA, M.; USHIWATA, C. T. AFONSO, M. Aproveitamento da água da chuva. Grupo Raindrops. Curitiba. 2002.
7. OLIVEIRA, Y. V. Uso do balanço hídrico seriado para o dimensionamento de estrutura de armazenamento de água das chuvas - estudos de casos. 2004. 146 p. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
8. PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro. ABES, 2006. 325 p