



**UNILAB**

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO DE RECURSOS  
HÍDRICOS, AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS**

**FILIFE JOSÉ DE FARIAS E FREITAS**

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO  
DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUAS PLUVIAIS SEGUNDO A NBR  
15527/2007**

**REDENÇÃO**

**2018**

FILIPÉ JOSÉ DE FARIAS E FREITAS

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO  
DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUAS PLUVIAIS SEGUNDO A NBR  
15527/2007

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão de Recursos Hídrico, Ambientais e Energéticos da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho

REDENÇÃO  
2018

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Freitas, Filipe José de Farias e.

F936a

Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais segundo a NBR 15527/2007 / Filipe José de Farias e Freitas. - Redenção, 2018.  
29f: il.

Monografia - Curso de Gestão De Recursos Hídricos, Ambientais E Energéticos - 2017.1, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: Hermínio Miguel de Oliveira Filho.

1. Água - Aproveitamento. 2. Água - Dimensionamento de reservatório. 3. Água - Métodos de dimensionamento. I. Título

CE/UF/BSCL

CDD 628.162

---

## AGRADECIMENTOS

Diversas pessoas contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. No entanto, gostaria de particularizar alguns dos meus sinceros agradecimentos:

Primeiramente a Deus, por Ele ter me mostrado o melhor caminho da vida e por ter me dado discernimento, paciência e força para conseguir vencer as dificuldades encontradas durante toda essa caminhada.

À minha noiva Roberta Celedonio ofereço um agradecimento mais do que especial, por ter me dado todo o apoio que necessitei nos momentos difíceis, todo carinho, respeito e por ter tornado minha vida cada dia mais feliz.

À minha mãe, Socorro Farias, e ao meu pai, Wilson Freitas, que sempre confiaram em mim mesmo quando não acreditava que conseguiria, que sempre me incentivaram nos momentos de fragilidade e que me ergueram quando minhas forças faltaram.

Agradeço a UNILAB pela oportunidade de me fazer crescer como pessoa e aos meus colegas de classe, que mesmo nos momentos mais difíceis não me deixaram desistir. E um agradecimento especial ao meu orientador professor Hermínio Miguel de Oliveira Filho, pela atenção, incentivo e assistência para que esse trabalho pudesse ser realizado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de aproveitamento de água de chuva para fins domésticos.....	13
Figura 2 – Área de contribuição do tipo superfície inclinada. ....	19
Figura 3 – Resultados dos métodos de dimensionamento de reservatório de águas pluviais. ....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de Runoff. ....	20
Tabela 2 – Parâmetros de engenharia para uso interno. ....	20
Tabela 3 – Parâmetros de engenharia para uso externo. ....	20
Tabela 4 – Resultados da aplicação do Método de Rippl. ....	22
Tabela 5 – Resultados da aplicação do Método da simulação.....	23
Tabela 6 – Resultados da aplicação do Método Azevedo Neto. ....	23
Tabela 7 – Resultados da aplicação do Método Prático Alemão. ....	23
Tabela 8 – Resultados da aplicação do Método Prático Inglês. ....	24
Tabela 9 – Resultados da aplicação do Método Prático Australiano.....	24
Tabela 10 – Estimativa de economia anual com a implantação do sistema. ....	26

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Método de Rippl .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Método Da Simulação .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Método Azevedo Neto .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Método Prático Alemão .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5. Método Prático Inglês .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6. Método Prático Australiano.....</b>	<b>17</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>



# **ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUAS PLUVIAIS SEGUNDO A NBR 15527/2007**

**Filipe José de Farias e Freitas<sup>1</sup>**

**Hermínio Miguel de Oliveira Filho<sup>2</sup>**

## **RESUMO**

Em decorrência da escassez hídrica no mundo, o ser humano tem buscado cada vez mais reduzir a demanda de água potável bem como a buscar novas fontes para o abastecimento. Uma das soluções para aumentar a oferta de água para as edificações é o aproveitamento de águas pluviais, pois possibilita a preservação da água potável para sua utilização onde é realmente necessária e ainda contribui no combate às enchentes urbanas. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma análise comparativa dos seis métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva propostos pela norma brasileira NBR 15527/2007 em duas situações distintas: a primeira desconsiderando a variabilidade pluviométrica e a segunda considerando um período chuvoso e outro seco. O exemplo de aplicação é apresentado através de um estudo de caso, onde se procura dimensionar, nos dois casos sugeridos, um reservatório de armazenamento de águas pluviais para uma residência unifamiliar hipotética, localizada na cidade de Fortaleza. Os métodos de dimensionamento analisados foram: o Método de Rippl, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. Por fim, é apresentada a indicação do método mais adequado para a local onde o estudo foi desenvolvido, foi realizada uma estimativa simplificada de uma possível economia ocasionada pela a implantação do sistema e é apontada a necessidade de revisão da norma para sua melhor utilização nas cidades brasileiras.

**Palavras-chave:** Aproveitamento. Dimensionamento de reservatório. Métodos de dimensionamento.

## **ABSTRACT**

As a result the water shortage in the world, the human being has increasingly sought to reduce the demand for drinking water as well as to seek new sources for the supply. One of the solutions to increase the supply of water for the edifications is the use of rainwater, as it allows the preservation of drinking water for its use where it is really needed and also contributes to the combating against urban floods. The present work aims to present a comparative analysis of the six methods of sizing rainwater reservoirs proposed by the Brazilian standard NBR 15527/2007 in two distinct situations: the first disregarding the rainfall variability and the second considering a rainy and a dry period. The application example is presented through a case study, where it is sought to size, in the two suggested cases, a rainwater storage reservoir for a hypothetical single family dwelling, located in the city of Fortaleza. The sizing methods analyzed were: the Rippl Method, Azevedo Neto Method, German Practical Method, English Practical Method and Australian Practical Method. Finally, it is presented the most appropriate method for the place where the study was developed, a simplified estimation of a possible economy caused by the implantation of the system was made and it is pointed out the necessity of revision of the standard for its better use in the cities Brazilians.

**Keywords:** Utilization. Sizing of reservoir. Sizing methods.

---

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira e Universidade Aberta do Brasil, polo Redenção.

<sup>2</sup> Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará.

## 1. INTRODUÇÃO

A água representa inegavelmente um recurso indispensável à vida humana e tem sido essencial para os processos de desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade.

Porém, a ideia de que a água era considerada um recurso renovável e inesgotável foi desfeita diante do crescimento de sua demanda, da variabilidade geográfica e sazonal da oferta hídrica e da degradação ambiental massiva e inconsequente (LIBÂNIO, 2006).

O Brasil, embora possa ser considerado privilegiado em termos de recursos hídricos, já enfrenta problemas relacionados à escassez de água, devido a dois fatores principais: a distribuição espacial não uniforme e a degradação ambiental dos recursos hídricos (GOMES; WEBER; DELONG, 2010).

Diante desses fatos, aumenta-se a necessidade de encontrar meios e formas de preservar a água potável, passando necessariamente pela revisão do uso de água pela população, mas também pela busca de novas tecnologias que visem à preservação desse bem (ANNECCHINI, 2005).

Uma possibilidade importante é o uso de água pluviais captada em edificações com o propósito de suprir as demandas não potáveis de água em domicílios. A substituição de água tratada por água de chuva pode ser uma alternativa relevante quanto à gestão de oferta para atender às demandas não potáveis residenciais, especialmente em regiões metropolitanas (GOMES et al., 2014).

O aproveitamento da água da chuva caracteriza-se por ser uma prática milenar. Porém, não se sabe com precisão quando os primeiros sistemas de água de chuva surgiram. Segundo Krishna, Philips e Pope (2002), existem registros que evidenciam a existência de técnicas para armazenamento de água de chuva há mais de 3.000 anos a.C. em vários locais como Israel, Índia, Grécia, Itália, Egito, Turquia e México.

No Brasil, métodos de captação de água de chuva foram encontrados nas fortalezas construídas pelos portugueses na ilha de Santa Catarina, tanto para consumo das tropas como para outros usos (ALT, 2009).

Outro importante aspecto referente ao aproveitamento de água pluvial em meio urbano é a detenção dessas águas, acarretando, no aumento do tempo de

concentração, na redução do escoamento superficial e dos picos de inundações (DORNELLES, 2012).

No entanto, há ausência de estudos nessa área que mostrem as verdadeiras vantagens desse sistema de aproveitamento e as possíveis interferências que a implantação do mesmo poderá trazer ao processo construtivo de edificações.

Neste contexto, insere-se o presente trabalho, onde se propõe uma metodologia de avaliação comparativa dos métodos de dimensionamento de reservatório segundo a NBR 15527/2007, norma específica de aproveitamento de água da chuva em coberturas de áreas urbanas para fins não potáveis, visando sua implantação em residências unifamiliares.

Esta pesquisa será concentrada nos métodos de dimensionamento do reservatório, devido ser um dos itens mais críticos para a implantação do sistema de captação de água. O reservatório é, na grande maioria dos casos, o mais caro do sistema de aproveitamento de água e esse alto investimento de implantação é um dos maiores empecilhos para a disseminação do sistema.

Após este capítulo introdutório, tem-se, no capítulo 2, a revisão de literatura que trata sobre o aproveitamento da água pluvial e os métodos de dimensionamento da cisterna; no capítulo 3, é apresentada a metodologia de estudo utilizada neste trabalho para a obtenção dos objetivos propostos; no capítulo 4, são mostrados os resultados obtidos com a comparação dos métodos; e, no capítulo 7, encontram-se as conclusões e considerações finais, encerrando este trabalho.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A sociedade global vive um sério dilema, pois a falta de água começa a afligir a população. O aumento da demanda atrelado à poluição dos mananciais abastecedores faz com que se procure água a distâncias cada vez maiores. Conseqüentemente, a água está cada vez mais dispendiosa para a população (CAMPOS, 2004).

Em razão desta situação tem aumentado a necessidade de se encontrar formas para combater esse aumento da demanda de água potável, buscando novas tecnologias e reavaliando os modos de uso da água pela população. Uma alternativa que passou a ser adotada foi o aproveitamento de água de chuva, especialmente para fins não potáveis.

Contudo, com o desenvolvimento dos sistemas públicos de água, o aproveitamento de água pluvial foi deixado em segundo plano e era indicado apenas em casos de extrema necessidade. Séculos passaram-se e sérios problemas nos abastecimentos precisaram surgir para que se voltasse a dar maior importância a essa fonte de abastecimento (CAMPOS, 2004).

De acordo com May (2004), o aproveitamento de água de chuva para fins doméstico, industrial e agrícola está ganhando ênfase em várias regiões do mundo, devido ser considerado um meio simples e eficaz para se atenuar a crescente escassez de água para consumo.

De modo amplo, o sistema de aproveitamento de água pluvial consiste na captação da água de chuva por uma superfície, armazenamento e distribuição para os pontos de consumo. De acordo com Cohim et al. (2008), os componentes do sistema são: superfície de captação, calhas e tubulações, sistemas de tratamento, bombas, sistemas pressurizados e reservatórios. Na figura 1, são ilustrados os principais elementos de um sistema de aproveitamento para fins domésticos.

Dornelles (2012), recomenda o uso da água de chuva para fins não potáveis, já que, os custos seriam altíssimos para atingir os padrões de potabilidade. Porém, nos sistemas de aproveitamento para uso não potável é necessário que exista o abastecimento de água potável, tanto para atender ao consumo potável quanto para alimentar o sistema quando este não for capaz de atender a totalidade da demanda.

Figura 1 – Sistema de aproveitamento de água de chuva para fins domésticos.



Fonte: Alunos Online<sup>3</sup>

Atualmente, tem-se despertado na comunidade técnica-científica o interesse em estudos e pesquisas para a definição de critérios de dimensionamento de reservatórios para acumulação de água de chuva (GOMES; WEBER; DELONG, 2010).

De modo geral, o armazenamento de água de chuva requer volumes superiores aos necessários para o armazenamento de água potável fornecida pela rede convencional de abastecimento, devido à disponibilidade de chuva ser mal distribuída no tempo.

Além disso, o item reservatório é o mais oneroso do sistema e seu custo pode representar entre 50% e 85% do valor total do sistema. Assim, sua escolha influencia diretamente na viabilidade financeira do projeto e deve ser dimensionado de forma bastante criteriosa (BARROS E SILVA, 2017).

Existem nas literaturas diversos modelos e métodos para dimensionamento de reservatórios. Em geral, os modelos calculam o balanço entre a quantidade de chuva captada e a demanda, utilizando como parâmetros a precipitação local, a área de captação e o consumo.

No entanto, a NBR 15527 (ABNT, 2007), que apresenta os requisitos para aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, apresenta apenas seis métodos para dimensionamento de reservatório para água pluvial. São eles: Método Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês, Método Prático Australiano.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/biologia/aproveitamento-agua-chuva.html>> Acesso em ago. 2018.

A descrição detalhada de cada um desses métodos já foi feita por diversos autores. Porém, visto que as orientações da NBR 15527 (ABNT, 2007) sobre a aplicação dos métodos são bastante sucintas, os procedimentos adotados para realizar os dimensionamentos nesta pesquisa são detalhados a seguir.

## 2.1. Método de Rippl

De acordo com Tomaz (2011), o Método de Rippl é o mais comumente utilizado em aproveitamento de água de chuva devido a sua simplicidade e facilidade de aplicação. Em regiões como a do Nordeste, onde há grande variação nas precipitações médias mensais, a aplicação deste método resulta em valores extremos do volume de reservatório. Em contrapartida, em regiões que não há variação muito grande entre as precipitações médias mensais, o volume do método de Rippl torna-se zero.

Para o cálculo do volume do reservatório devem ser determinados a demanda média de água pluvial, a área da superfície de captação, o coeficiente de *runoff* (quociente entre a água que escoar superficialmente e o total da água precipitada) e os dados de séries históricas mensais ou diárias de precipitação.

O cálculo do volume de água no reservatório no tempo  $t$ , do volume de chuva aproveitável no tempo  $t$  e a capacidade do reservatório são expressas pelas equações 1, 2 e 3, respectivamente.

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

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

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad (3)$$

Sendo que:  $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$

onde:

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva aproveitável no tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  é a demanda ou consumo no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

## 2.2. Método Da Simulação

De acordo com Novakosky et al. (2017), o Método da simulação sugere o volume do reservatório através de um balanço hídrico em função de um tamanho de reservatório previamente definido. Ele é arbitrado e depois verificado o *overflow*, termo utilizado para a água que sobra e é jogada fora, e a reposição de água, até se escolher uma capacidade adequada.

Este método possibilita determinar a eficiência do sistema, pois os períodos em que o reservatório está abastecido são relacionados com todo o período simulado. Quanto maior a série histórica de precipitação utilizada, maior será a confiabilidade da simulação.

O volume de água pluvial no reservatório no tempo  $t$  e o volume de chuva no tempo  $t$  são obtidos através das equações 4 e 5, respectivamente.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (4)$$

$$Q_{(t)} = C * \text{precipitação da chuva}_{(t)} * \text{área de captação} \quad (5)$$

Sendo que:  $0 \leq S_{(t)} \leq V$

onde:

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$S_{(t-1)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t-1$ ;

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva no tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  é o consumo ou demanda no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório fixado;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

## 2.3. Método Azevedo Neto

O Método Azevedo Neto ou Método Prático Brasileiro é o primeiro método empírico apresentado na NBR 15527. Neste método é desconsiderada a influência da demanda, considerando apenas o volume de chuva aproveitável e o período de estiagem (ABNT 2007).

A NBR 15527 não especifica como determinar o número de meses de pouca chuva. Dornelles, Tassi e Goldenfum (2010) recomendam a contagem dos

meses que apresentam precipitação média inferior a 100 mm e, para locais onde a precipitação é sempre superior a este valor, recomenda o mínimo de um mês.

O volume do reservatório de água pluvial é calculado por meio da equação 6.

$$V = 0,042 * P * A * T \quad (6)$$

onde:

$P$  é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

$T$  é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

$A$  é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m<sup>2</sup>);

$V$  é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

#### 2.4. Método Prático Alemão

No Método Prático Alemão, o volume de reserva será o menor valor entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva, como mostrado na equação 7.

$$V_{adotado} = \min(V; D) * 0,06 \quad (7)$$

onde:

$V$  é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);

$D$  é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

$V_{adotado}$  é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

#### 2.5. Método Prático Inglês

O volume do reservatório calculado pelo Método Prático Inglês é obtido pela aplicação de uma equação empírica (equação 8), que adota diretamente 5% do



volume anual de água pluvial captado. Neste método a demanda também não é considerada no cálculo.

$$V = 0,05 * P * A \quad (8)$$

onde:

$P$  é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

$A$  é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m<sup>2</sup>);

$V$  é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

## 2.6. Método Prático Australiano

O Método Prático Australiano é o último sugerido pela NBR 15527 (ABNT 2007) e primeiramente é calculado o volume de água pluvial através da equação 9.

$$Q = A * C * (P - I) \quad (9)$$

onde:

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

$P$  é a precipitação média mensal;

$I$  é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm,

$A$  é a área de coleta;

$Q$  é o volume mensal produzido pela chuva.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas através da equação 10, até que seja alcançado um intervalo de confiança entre 90% e 99%. Vale ressaltar que para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (10)$$

onde:

$Q_t$  é o volume mensal produzido pela chuva no mês  $m$ ;

$V_t$  é o volume de água que está no tanque no fim do mês  $t$ ;

$V_{t-1}$  é o volume de água que está no tanque no início do mês  $t$ ;

$D_t$  é a demanda mensal.

A confiança é calculada através das equações 11 e 12.

$$\text{Confiança} = (1 - P_r) \quad (11)$$

$$P_r = N_r/N \quad (12)$$

Onde:

$P_r$  é a falha;

$N_r$  é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando  $V_t = 0$ ;

$N$  é o número de meses considerado, geralmente 12 meses.

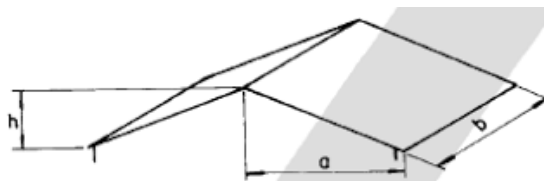
### 3. METODOLOGIA

Para a execução desta pesquisa foram aplicados, em uma residência unifamiliar hipotética localizada na cidade de Fortaleza/CE, os seis métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais da NBR 15527/2007 em duas situações distintas. Na primeira, foi considerada a precipitação média histórica dos últimos 20 anos sem considerar a sua variabilidade e, na segunda situação, foi considerada a precipitação média histórica de dois períodos distintos: um considerado chuvoso, compreendido entre os anos de 2002 a 2009, e o outro considerado seco, entre os anos de 2010 a 2017.

O padrão selecionado para o projeto foi o de residência normal da NBR 12721 (ABNT 2005), onde prescreve que a edificação possui 106,44 m<sup>2</sup> de área e é composta pelos seguintes cômodos: três dormitórios, sendo um suíte, banheiro social, sala, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda.

Para a aplicação dos métodos foi calculada a área de cobertura da residência de acordo com a NBR 10844 (ABNT 1989). A residência apresenta área de contribuição do tipo superfície inclinada (figura 2) e sua área foi calculada de acordo com a equação 12.

Figura 2 – Área de contribuição do tipo superfície inclinada.



Fonte: ABNT (1989)

$$A = \left( a + \frac{h}{2} \right) * b \quad (12)$$

A cobertura da edificação é dita feita com telhas cerâmicas. De acordo com a tabela 1, o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *Runoff* para telhados cerâmicos poderá ter seu valor entre 0,80 e 0,90. Nesta pesquisa, foi escolhido o valor de 0,80.

Para o cálculo da demanda de água não potável foi considerado apenas o consumo dos pontos em que a água da chuva será utilizada (bacias sanitárias e torneiras externas para lavagem de carros e rega de jardins) e foi contabilizado dois habitantes para cada dormitório da residência.

Tabela 1 – Coeficiente de Runoff.

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de <i>Runoff</i></b>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2009)

De acordo com Tomaz (2009), uma maneira de estimar o consumo de água não potável residencial em nosso país é se utilizando de parâmetros de engenharia usados nos Estados Unidos. Isto se deve ao fato da ausência de pesquisas sobre esses dados aqui no Brasil. Nas tabelas 2 e 3 são apresentados estes parâmetros para uso interno e externo, respectivamente.

Tabela 2 – Parâmetros de engenharia para uso interno.

<b>Uso interno</b>	<b>Unidade</b>	<b>Parâmetros</b>		
		<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Mais provável</b>
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume da descarga	Litros/descarga	6,8	18	9

Fonte: TOMAZ (2009)

Tabela 3 – Parâmetros de engenharia para uso externo.

<b>Uso externo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Parâmetro</b>
Gramado ou jardim	Litros/dia/m <sup>2</sup>	2
Lavagem de carro	Litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carro: frequência	Lavagem/mês	4

Fonte: TOMAZ (2009)

A precipitação mensal do período compreendido entre os anos de 1997 e 2017 foi obtida através do sistema de monitoramento Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizados os dados da estação de código 82397, localizada na cidade de Fortaleza/CE.

Foi feita, então, a média da precipitação de todos os meses do ano nesse período de tempo para que um resultado médio para cada mês fosse obtido. Esses resultados foram aplicados nos métodos de dimensionamento de reservatórios.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) prescreve que o dimensionamento da capacidade do reservatório de água pluvial pode ser feito com qualquer método, a critério do projetista, desde que a escolha seja devidamente justificada. Os métodos

de dimensionamento aplicados foram: Método de Rippl, Método da simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos seis métodos de cálculo para dimensionamento de reservatórios propostos pela NBR 15527, foi feito um dimensionamento do reservatório para atender as demandas não potáveis de uma residência unifamiliar com 106,44 m<sup>2</sup> de área nas duas situações propostas.

A demanda foi estimada considerando uma população residencial de seis habitantes, dois para cada dormitório, e utilizando os parâmetros de engenharia descritos na tabela 2. Já a área de coleta foi calculada de acordo com o que sugere a NBR 10844, através da equação 12. Os valores obtidos para a demanda mensal constante foram de 10,26 m<sup>3</sup> e para a área de contribuição da residência foi de 122,41 m<sup>2</sup>.

Na aplicação do método de Rippl os volumes dos reservatórios foram obtidos em função da diferença acumulada dos valores positivos resultantes da diferença entre o volume de chuva aproveitável e a demanda constante. Os valores encontrados para os reservatórios foram de 46,25 m<sup>3</sup>, 47,13 m<sup>3</sup> e 48,27 m<sup>3</sup> para os últimos 20 anos, para o período chuvoso e para o período seco, respectivamente. Os resultados encontrados são apresentados de forma resumida na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da aplicação do Método de Rippl.

<b>Período</b>	<b>Chuva média anual (mm)</b>	<b>Demanda constante (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de captação (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume de chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>
1997 a 2017	1.505,39	10,26	122,41	147,42	46,25
2002 a 2009	1.759,68	10,26	122,41	172,32	47,13
2010 a 2017	1.335,81	10,26	122,41	130,81	48,27

Fonte: O autor

No Método da simulação, foram estimados volumes para os reservatórios até que os dimensionamentos estivessem aferidos. De acordo com o método, o volume do reservatório que atendeu a totalidade da demanda foi de 46,25 m<sup>3</sup>, para os últimos 20 anos; 47,25 m<sup>3</sup>, para o período chuvoso; e 48,50 m<sup>3</sup>, para o período seco. A tabela 5 nos fornece os resultados obtidos pelo método.

Tabela 5 – Resultados da aplicação do Método da simulação.

<b>Período</b>	<b>Chuva média anual (mm)</b>	<b>Demanda constante (m³)</b>	<b>Área de captação (m²)</b>	<b>Volume de chuva (m³)</b>	<b>Volume do reservatório (m³)</b>
1997 a 2017	1.505,39	10,26	122,41	147,42	46,25
2002 a 2009	1.759,68	10,26	122,41	172,32	47,25
2010 a 2017	1.335,81	10,26	122,41	130,81	48,50

Fonte: O autor

Para o cálculo do Método Azevedo Neto foram utilizadas as precipitações médias anuais dos períodos analisados e, observando as chuvas médias mensais nestes períodos, foi verificado que seis meses apresentaram precipitações médias abaixo de 100 mm para os últimos 20 anos e para o período chuvoso e sete meses para o período seco. Assim, os valores dos reservatórios obtidos foram de 46,36 m³, 54,28 m³ e 48,07 m³. Os resultados obtidos após a aplicação deste método são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da aplicação do Método Azevedo Neto.

<b>Período</b>	<b>Chuva média anual (mm)</b>	<b>Meses de seca (T)</b>	<b>Área de captação (m²)</b>	<b>Volume do reservatório (m³)</b>
1997 a 2017	1.505,39	6	122,41	46,36
2002 a 2009	1.759,68	6	122,41	54,28
2010 a 2017	1.335,81	7	122,41	48,07

Fonte: O autor

No Método Prático Alemão, o volume é determinado por 6% do menor valor entre a demanda anual e a disponibilidade de água de chuva. Para os três cenários analisados, o valor utilizado foi o da demanda anual constante e, portando, o volume do reservatório obtido nas três situações foi de 7,39 m³. Os resultados encontrados são apresentados de forma resumida na tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da aplicação do Método Prático Alemão.

<b>Período</b>	<b>Demanda anual (L)</b>	<b>Volume aproveitável (L)</b>	<b>Volume do reservatório (m³)</b>
1997 a 2017	123.120,00	147.419,83	7,39
2002 a 2009	123.120,00	172.321,45	7,39
2010 a 2017	123.120,00	130.813,45	7,39

Fonte: O autor

O Método Prático Inglês é um dos mais simples de serem aplicados, visto que envolve apenas a precipitação anual e a área de captação. Assim, o volume calculado segundo a equação 8 foi de 9,20 m<sup>3</sup>, 10,77 m<sup>3</sup> e 8,18 m<sup>3</sup> para os últimos 20 anos, para o período chuvoso e para o período seco, respectivamente. Os dados envolvidos na aplicação deste método bem como os resultados obtidos são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da aplicação do Método Prático Inglês.

<b>Período</b>	<b>Chuva média anual (mm)</b>	<b>Área de captação (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>
1997 a 2017	1.505,39	122,41	9,20
2002 a 2009	1.759,68	122,41	10,77
2010 a 2017	1.335,81	122,41	8,18

Fonte: O autor

Para a aplicação do Método Prático Australiano foram atribuídos quatro volumes de reservação, iniciando com um reservatório de 35 m<sup>3</sup> e variando em 5 m<sup>3</sup>, nas três situações propostas. Observa-se que, para a confiança do sistema permanecer entre 90% e 99%, o volume do reservatório deve ser de 45 m<sup>3</sup> em todos os cenários (confiança de 91,67%). A tabela 9 apresenta os resultados da aplicação deste método com seus respectivos valores de confiança obtidos.

Tabela 9 – Resultados da aplicação do Método Prático Australiano.

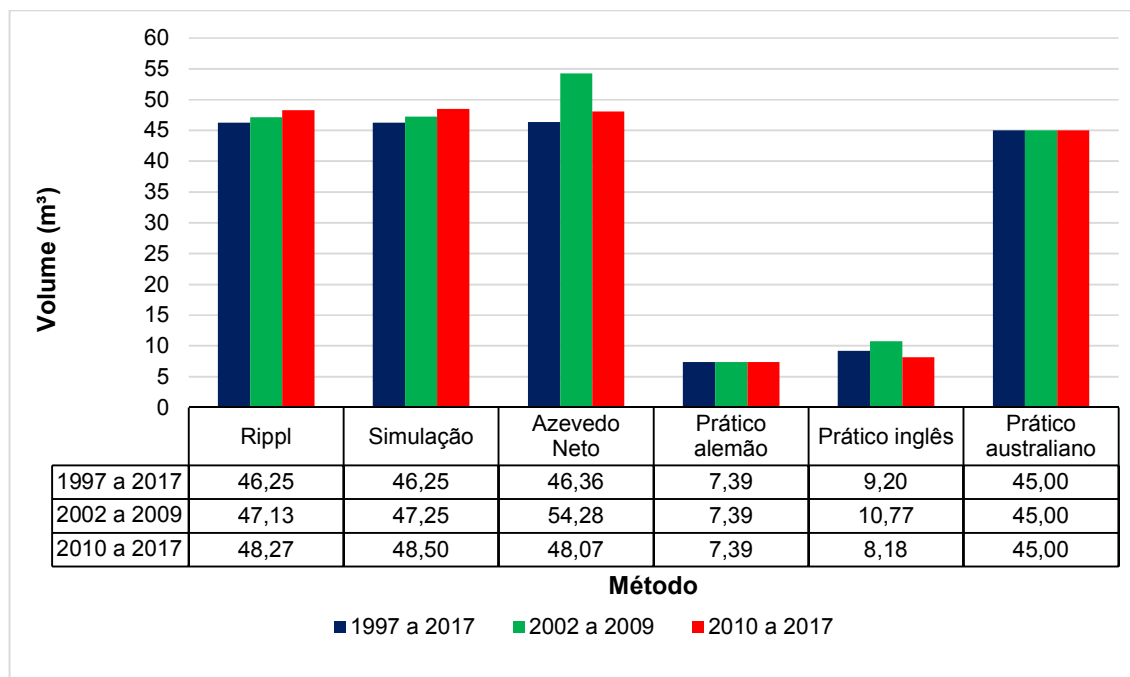
<b>Período</b>	<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Confiança (%)</b>
1997 a 2017	45,00	91,67
2002 a 2009	45,00	91,67
2010 a 2017	45,00	91,67

Fonte: O autor

A amplitude dos resultados obtidos foi muito elevada, com reservatórios variando de 7,39 m<sup>3</sup> até 54,28 m<sup>3</sup>, o que dificulta o projetista na escolha do mais adequado para as suas necessidades. Eles podem ser visualizados, de forma gráfica e resumida, na figura 3.



Figura 3 – Resultados dos métodos de dimensionamento de reservatório de águas pluviais.



Fonte: O autor

Foi constatado que os valores dos reservatórios sofreram pouca ou nenhuma variação nas três situações sugeridas, porém obtiveram nas mesmas valores significativos, evidenciando que os métodos apresentados na NBR 15527/2007 são aplicáveis em qualquer situação.

Os volumes dos reservatórios se mantiveram constantes no Método Prático Alemão e Método Prático Australiano nas três situações sugeridas, enquanto que nos demais métodos a variação dos índices pluviométricos anuais não refletiu em um padrão de variação nos volumes encontrados.

O Método de Rippl, o Método da simulação e o Método Prático Australiano levam em consideração a distribuição pluviométrica média mensal, a demanda de utilização de água e a área de captação, enquanto que o Método Prático Inglês, por exemplo, considera apenas a média anual de precipitação e a área de captação, desconsiderando a demanda.

Os Métodos Práticos Inglês e Alemão não levam em consideração a variação pluviométrica ao longo dos meses. Portanto, estes métodos não são indicados para regiões que apresentam grandes variações pluviométricas, como é o caso da região onde está inserida a cidade de Fortaleza. Além disso, os reservatórios obtidos por estes métodos têm valores inferiores à demanda média de água, sendo

necessária uma fonte externa de suprimento de água para garantir o abastecimento durante boa parte dos meses do ano, tornando o sistema ineficiente.

Através da aplicação do Método da simulação podem ser analisados vários volumes de reservatórios, com suas respectivas eficiências e com relativa simplicidade. Assim, pode-se realizar a simulação dos volumes evitando a construção de reservatórios pequenos, que não apresente atendimento satisfatório, ou a construção de reservatórios grandes e onerosos, sem necessidade.

Por fim, foi realizada uma estimativa simples, que desconsidera os custos de implantação do sistema, de uma possível economia considerando o atendimento total da demanda anual não potável. Utilizando a estrutura tarifária da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para a residência em estudo, foi constatado que o sistema de aproveitamento de água pluvial resultaria numa economia anual de até R\$ 3.817,95, como nos mostra a tabela 11.

Tabela 10 – Estimativa de economia anual com a implantação do sistema.

<b>Categoria</b>	<b>Faixa de consumo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tarifa água (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tarifa esgoto (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Demanda anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Economia anual</b>
Residencial normal	> 50	14,77	16,24	123,12	R\$ 3.817,95

Fonte: O autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, constatou-se que os métodos sugeridos na NBR 15527/2007 apresentam grande dispersão nos resultados e tal fato pode ser justificado pela diferença conceitual dos métodos.

Pode-se concluir que a escolha do método de dimensionamento mais adequado deve ocorrer de acordo com os interesses do proprietário, em função da destinação final que se dará à água armazenada e também em função da região de implantação.

No entanto, dentre os métodos analisados, chegou-se à conclusão que o Método da simulação é o que fornece mais informações para o dimensionamento do reservatório e o que fornece resultados mais confiáveis para a instalação do sistema de aproveitamento de águas pluviais em edificações residenciais.

Vale ressaltar que a NBR 15527/2007 é inegavelmente importante para o fornecimento de informações para o aproveitamento de água pluvial. No entanto, os métodos de dimensionamento sugeridos na mesma se apresentam de forma resumida e insuficientes, faltando informações importantes para a compreensão e aplicabilidade dos mesmos, e nenhum dos métodos fornece o potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório.

Além disso, alguns dos métodos recomendados pela norma foram concebidos em outros países, que apresentam características climáticas e populacionais distintas da brasileira, dificultando a sua utilização no Brasil.

Assim, faz-se necessário revisar a NBR 15527/2007 e desenvolver estudos de novas metodologias de dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva que sejam apropriados para as particularidades de cada região brasileira.

Da mesma forma, e não menos importante, é recomendável o desenvolvimento de novas pesquisas que busquem obter os custos atualizados do material e da mão de obra que irão compor o orçamento da implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais, para que assim possamos calcular com precisão qual será o tempo de retorno do investimento e, conseqüentemente, a real economia alcançada.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro, 1989.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – 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.

ALT, R. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis** - estudo baseado no curso ABNT de 11-02-2009 SP/SP do Eng.º Plínio Tomaz.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES).** Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 150 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, 2005.

BARROS, D.; SILVA, C. **Métodos de dimensionamento para reservatórios de águas pluviais.** SBRH: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, v. 22, 2017, nov./dez. 2017.

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

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. **Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios.** In Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, p. 1-16, nov. 2008.

DORNELLES, F; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação das técnicas de dimensionamento reservatórios para aproveitamento de água de chuva.** RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n. 2, abr./jun. 2010.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. 138 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, IPH. Porto Alegre, 2012.

GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M. **Dimensionamento de reservatórios de armazenamento de águas pluviais, usando um critério financeiro.** RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n. 1, p. 89-100, jan./mar. 2010.

GOMES, U. A. F., DOMENECH, L. PENA, J. L., HELLER, L., PALMIER, L. R. **A captação de água de chuva no Brasil: novos aportes a partir de um olhar**

internacional. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 7-16, jan. 2014.

KRISHNA, H. J.; PHILIPS, A.; POPE, T. **Rainwater Harvesting and Stormwater Recycling**. ASLA (American Society Landscape Architects) Annual Meeting, 2002.

LIBÂNIO, P. A. C. **Avaliação qualitativa do modelo de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos**: interfaces com o Sistema Ambiental e com o Setor de Saneamento. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. 318 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

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

NOVAKOSKI, C. K.; MARQUES, M. G.; CONTERATO, E; TEIXEIRA, E. D.; FERLA, R. **Comparação dos métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais**. SBRH: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, v. 22, 2017, nov./dez. 2017.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água não potável. In:\_\_\_\_\_. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2009. cap. 3, p. 67-68.

TOMAZ, P. Coeficiente de runoff. In:\_\_\_\_\_. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2009. cap. 5, p. 103.

TOMAZ, P. Método de Rippl In:\_\_\_\_\_. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2011. cap. 9, p. 160-170.