

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

HELOISA ALVES HORN

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL EM  
TOLEDO - PR SEGUNDO A NBR 15527:2007**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO – PR  
2017

HELOISA ALVES HORN

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL EM  
TOLEDO - PR SEGUNDO A NBR 15527:2007**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Alessandro Pansera

TOLEDO – PR  
2017



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



---

### TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 91  
**Dimensionamento De Reservatórios De Água Pluvial em Toledo -  
PR segundo a NBR 15527:2007**

por

**Heloisa Alves Horn**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20 do dia **17 de Novembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof Dr. Elmagno Catarino Santos Silva  
(UTFPR – TD)

---

Prof.<sup>a</sup> Renathielly Fernanda da Silva  
(UTFPR – TD)

---

Prof Dr. Wagner Alessandro Pansera  
(UTFPR – TD)  
Orientador

---

Visto da Coordenação  
Prof Dr. Fúlvio Natércio Feiber  
Coordenador da COECI

À Deus, por ter me conduzido até aqui.

À memória de Aloísio Horn, meu querido pai.

À minha família, por ter me permitido seguir o meu sonho.

## AGRADECIMENTOS

“Daí graças ao Senhor, porque Ele é bom; porque a Sua benignidade dura para sempre” Salmos 136:1. Sobre todas as coisas, agradeço a Deus pela sua soberania em minha vida, por ser minha rocha, minha fortaleza, meu socorro bem presente nos momentos de angustia, por nunca me abandonar e por me inundar com Seu amor infinito e abundante em todos os momentos dessa longa caminhada. A ti, Senhor, toda honra, toda glória para todo o sempre, amém.

Aos meus pais, Aloisio (sempre nas memórias e no meu coração), Ivan (porque Deus me abençoou com um segundo com um pai) e Rosmeire (mãe e amiga insubstituível), que me fizeram chegar até aqui. Por todos os seus esforços, por todo o seu amor e compreensão, por serem aqueles que se orgulharam de mim. Aos meus irmãos pelo carinho e alegria sempre. À minha família por inteiro, principalmente os meus tios Rubens e Regina. À minha avó Neuza, por absolutamente tudo, eu te amo.

Ao meu namorado, Jeu, por estar comigo por todos esses longos anos de faculdade, me apoiando e dedicando amor, carinho e paciência, sem o qual eu não estaria aqui. Pela ajuda incondicional durante a confecção não só desse trabalho, mas de tantos outros, pela compreensão e dedicação. Por cada abraço de consolo depois de uma falha e por me incentivar sempre a prosseguir, muito obrigada.

Aos meus amigos, em especial à Emilia, Fernanda, Kellyn, Márcia, Mara, Mônica, Patrícia, Pedro e Rogério que tornaram os meus dias de graduação melhores e me aconselharam a auxiliaram nesse processo de aprendizagem contínua. Pela amizade despretensiosa, muito obrigada.

Ao meu orientador, pela dedicação e paciência, pelos conselhos, por me orientar e imputar conhecimentos tão preciosos. Por me levar a buscar cada vez mais conhecimentos e refinar o meu aprendizado. Pela disposição e tempo pelo qual me agraciou, muito obrigada.

Agradeço aos professores da banca examinadora, Elmagno e Renathiely, pelas contribuições a este trabalho. Por se preocuparem em saber de mim sobre o desenvolvimento do trabalho e pelos ensinamentos, muito obrigada.

## RESUMO

A água é um dos recursos naturais mais utilizados em todo o mundo, sendo um bem de domínio público e de uso múltiplo. Desta forma, é necessário fazer a gestão de recursos hídricos de forma a garantir os usos da água bem como a preservação ambiental. Além de buscar contrapartidas para suprir a provável escassez de água em função da crescente demanda mundial. Por conseguinte, os sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva voltam a se expandir e reinventar, tanto em regiões onde já são utilizados quanto em lugares onde essas técnicas não foram difundidas. Dentre os componentes do sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais um dos mais importantes é o reservatório e o seu dimensionamento devido ao seu alto custo unitário. Por isso, visando determinar um volume ótimo, este trabalho visa dimensionar reservatórios de águas pluviais pelos métodos indicados pela norma NBR 15527:2007 tendo como base as séries históricas de precipitação do município de Toledo – PR. A série histórica foi analisada por meio de estatística descritiva que demonstrou que o regime de chuvas na região apresenta pouca dispersão ao examinar os totais anuais, porém, há grande variação entre os totais mensais para o mesmo mês de um ano para o outro. Como estudo de caso para aplicação dos métodos utilizou-se conjuntos residenciais, sendo que os dados de consumo e área de captação foram retirados da tabela de consumos potenciais do manual de projeto hidrossanitário da Sanepar (2013). Cada faixa de área de captação foi submetida ao dimensionamento pelos métodos de Rippl, Azevedo Neto, prático alemão e inglês. Os métodos da simulação e prático australiano foram utilizados para medir a probabilidade de falha do sistema, os quais obtiveram resultados satisfatórios para todas as áreas e demandas estudadas. Durante o processo de dimensionamento e verificação dos volumes dos reservatórios dimensionados, notou-se que a NBR 15527:2007 não é específica quanto a de aplicação dos métodos, uso da série histórica, determinação de variáveis, o que influenciou os resultados obtidos nesse trabalho. Determinados os volumes para cada um dos 4 métodos de dimensionamento e verificado as falhas, estes foram compatibilizados com os reservatórios comerciais. Em sequência foram estipulados valores de volume indicados para as faixas de área com base na estatística descritiva dos resultados dos métodos de dimensionamento.

**Palavras-chave:** Águas de chuva. Cisterna. Volume. Condomínios Residenciais.

## ABSTRACT

Water is one of the most widely used natural resources in the world, being of public domain and multiple use. In this way, it's necessary to manage the water resources in order to assure the uses of water as well as environmental preservation. In addition to seeking counterparts to supply the probable water shortage due to the growing world demand. Thus, rainwater harvesting and utilization systems are again expanding and reinventing, both in regions where they're already used as in places where these techniques haven't been disseminated. Between the components of the rainwater harvesting and utilization system, one of the most important is the reservoir and its dimensioning due to its high unit cost. Therefore, in order to determine an optimum volume, this work aims to measure rainwater reservoirs by the methods indicated by NBR 15527:2007 based on the historical precipitation series of the city of Toledo - PR. The historical series was analyzed through descriptive statistics that showed that the rainfall regime in the region shows little dispersion when examining the annual totals, however, there is large variation between the monthly totals for the same month from one year to the other. As a case study for application of the methods, residential condominiums were used, being that the consumption data and catchment area were taken from the table of potential consumption of Sanepar's hydrosanitary Project manual (2013). Each strip of catchment area was submitted to dimensioning by the methods of Rippl, Azevedo Neto, practical german and english. The methods of simulation and practical australian were used to measure the probability of failure of the system, which obtained satisfactory results for all the areas and demands studied. During the process of dimensioning and checking the volumes of the dimensioned reservoirs, it was noted that NBR 15527:2007 isn't specific as to the application of the methods, use of the historical series, determination of variables what influenced the results obtained in this work. Determined the volumes for each of the 4 dimensioning methods and verified the faults, these were compatibilized with the commercial reservoirs. In sequence, indicated volume values were stipulated for the area strips based on the descriptive statistics of the results of the dimensioning methods.

**Keywords:** Rainwater. Cistern. Volume. Residential condominiums.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de aproveitamento de água da chuva FONTE: Tomaz (2011 c. 1)	
.....	17
Figura 2 – Fluxograma de trabalho .....	29



## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Boxplot série histórica de dados pluviométricos de Toledo-PR. .... 34
- Gráfico 2 – Histograma da série histórica de dados pluviométricos de Toledo – PR.35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estação pluviométrica Nova Concórdia de Toledo-PR.....	22
Tabela 2 – Anos descartados da série histórica.....	23
Tabela 3 – Meses substituídos pela média.....	23
Tabela 4 – Consumos potenciais por tipo de edificação.....	30
Tabela 5 – Estatística descritiva dos totais mensais.....	33
Tabela 6 – Estatística descritiva dos totais anuais.....	35
Tabela 7 – Número de falhas, método de Rippl.....	36
Tabela 8 – Volumes encontrado, método de Rippl.....	36
Tabela 9 – Volume do reservatório, método Azevedo Neto.....	37
Tabela 10 – Volume do reservatório, método prático alemão.....	38
Tabela 11 – Volume do reservatório, prático inglês.....	38
Tabela 12 – Volumes do reservatório.....	39
Tabela 13 – Volumes do reservatório, Azevedo Neto para T=1.....	40
Tabela 14 – Porcentagem de acréscimos, método de Rippl.....	41
Tabela 15 – Volume do reservatório compatibilizado (m <sup>3</sup> ).....	42
Tabela 16 – Confiança para os reservatórios dimensionados, método da simulação. .....	43
Tabela 17 – Confiança para os reservatórios dimensionados, método prático australiano.....	43
Tabela 18 – Volumes indicados por tipo de edificação.....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVO GERAL	13
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1	APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA	15
2.2	FORMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS	16
2.3	INCENTIVO A CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS	17
2.4	APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL NAS EDIFICAÇÕES	19
2.5	MÉTODOS E MODELOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS	19
2.5.1	Métodos normatizados pela NBR 15527:2007	20
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
3.1	COLETA DE DADOS	22
3.1.1	Série Histórica	22
3.2	MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS	23
3.2.1	Método de Rippl	24
3.2.2	Método da simulação	24
3.2.3	Método Azevedo Neto	25
3.2.4	Método prático alemão	26
3.2.5	Método prático inglês	26
3.2.6	Método prático australiano	26
3.3	FLUXOGRAMA DE TRABALHO	28
3.4	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO ADOTADOS	30
3.4.1	Demandas e áreas de captação	30
3.4.2	Métodos de dimensionamento	31
3.4.2.1	Métodos práticos	32
3.4.3	Compatibilização com reservatórios comerciais	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>33</b>
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA	33
4.2	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	36
4.3	COMPATIBILIZAÇÃO COM RESERVATÓRIOS COMERCIAIS	42
4.4	VERIFICAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA	42
4.5	VOLUMES DE RESERVATÓRIO POR TIPO DE EDIFICAÇÃO/FAIXA DE CONSUMO	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>46</b>
	REFERÊNCIAS	48

## 1 INTRODUÇÃO

A Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997 estabelece que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, sendo um bem de domínio público. A saber, a água também é um recurso de uso múltiplo, os quais são garantidos na Lei acima citada, que também determina o enquadramento dos corpos hídricos em classes de acordo com os usos preponderantes da água. Fica estabelecido ainda que a gestão de recursos hídricos deve ser feita de forma a garantir a integração com a preservação ambiental e que, em situações de escassez, a prioridade para o uso da água é para o consumo humano e dessedentação animal.

O Relatório das Nações Unidas (ONU) sobre o Desenvolvimento de Água 2015: “Água para um mundo sustentável”, afirma que a demanda de água é crescente e depende do aumento populacional, urbanização, produção de alimentos, políticas de segurança energéticas, além da globalização do comércio e mudanças nos padrões de consumo. Assim, a ONU prevê que já em 2030 o mundo enfrentará um déficit de 40% escassez de água se o cenário de uso persistir, a não ser que haja um drástico melhoramento das políticas de gestão de água.

Neste cenário, volta-se para a expansão e reinvenção dos sistemas de captação de água da chuva, tanto em regiões onde historicamente já foram utilizados, como no planalto de Loess no norte e noroeste da China, como em regiões onde essas técnicas não foram difundidas.

Os meios urbanos, a priori, têm usado das técnicas de captação de água da chuva a fim de amenizar o problema da drenagem urbana em grandes centros. A urbanização diminui a infiltração da água no solo por causa das impermeabilizações, o que aumenta a taxa de escoamento superficial. O aumento desse escoamento gera problemas para o sistema de drenagem urbana, que pode não ser capaz de suportar esse grande volume de água em cidades onde as taxas de precipitações sejam altas ou que a permeabilidade do solo seja muito reduzida por causa da urbanização.

Logo, medidas cabíveis devem ser tomadas para evitar que o escoamento superficial da água da chuva nos centros urbanos gere alagamentos, juntamente com as inundações causadas pela elevação do nível dos corpos hídricos da região, que pode vir a ocorrer por causa do maior volume escoado em sua direção, sendo que esse deveria ter infiltrado no solo, atingindo em última estância o lençol freático. Surge,

então, a captação de água da chuva para fins potáveis e não potáveis como uma das alternativas de contrapartida ao aumento do escoamento superficial e auxílio ao sistema de drenagem urbana.

Os sistemas de captação de água da chuva reduzem o consumo de água tratada, economizam energia, diminuem custos e possibilitam a recarga das águas subterrâneas através do ciclo hidrológico quando implementados nas edificações tanto empresariais como residenciais (GIACCHINI, 2006).

Dentre os componentes de um sistema de captação de água da chuva, um dos mais importantes é o reservatório e o seu dimensionamento, já que este apresenta um alto custo unitário, o que é determinante para a viabilidade econômica e consequentemente implantação do projeto.

Desta forma, este trabalho visa dimensionar reservatórios de águas pluviais pelos métodos indicados pela norma NBR 15527:2007 tendo como base as séries históricas de precipitação do município de Toledo – PR.

Os métodos propostos pela norma são os de Rippl, simulação, Azevedo Neto, prático alemão, prático inglês e prático australiano. Para o Método de Rippl, encontra-se na literatura vários trabalhos que analisam e enumeram as suas características, já para o restante, os textos não são muito explicativos, não apresentando variadas características e restrições, já que esses métodos citados na NBR 15527:2007 são, em sua maior parte, empíricos, baseados em experiências internacionais.

Os dados hidrológicos históricos a serem estudados nesse trabalho são da cidade de Toledo – PR, onde 60% do abastecimento de água municipal é por poços artesianos perfurados no aquífero Serra Geral e 40% da captação do Rio Toledo (SANEPAR, 2017). Em 2014, a cidade enfrentou uma crise no abastecimento de água com a perda de 3 poços artesianos devido à estiagem, os poços atingiram somente 20% da produção de água diária. Renato Bueno, superintendente regional Oeste e Sudoeste da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), responsável pelo abastecimento de água e saneamento de Toledo, à época afirmou que a recarga dos poços é difícil devido a geologia do município (TORRES, 2014).

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Toledo (2010), a partir deste ano será necessário perfurar e operacionalizar mais um poço com a vazão mínima de 100 m<sup>3</sup>/h que atenderá a demanda até 2021. Então, será necessário perfurar e operacionalizar mais um poço com a vazão mínima de 100 m<sup>3</sup>/h, para atender a demanda até o ano de 2025. Pode-se dizer, então, que a captação de água

da chuva para usos não nobres – como descarga de banheiros, lavagem de calçadas, limpeza de ambientes – pela população do município aliviaria o sistema de abastecimento, aumentando a vida útil dos poços de abastecimento.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a crescente demanda por água no mundo e considerando ainda que este é um recurso finito e limitado, deve-se buscar alternativas para o armazenamento e uso da água visando evitar a escassez deste bem tão vital à manutenção da vida. Nesse contexto, não se refere somente às águas superficiais e subterrâneas, como também às águas pluviais. Ou seja, o uso de águas pluviais se torna uma das alternativas no melhoramento da gestão de recursos hídricos, sendo incorporada a edificações para usos em seguimentos não tão nobres, como o emprego em banheiros e limpeza.

Assim, o estudo do dimensionamento dos reservatórios de água pluvial se faz necessário a fim de garantir de fato a economia de recursos hídricos e financeiros e a melhor forma de captação deste recurso determinando um volume ótimo para o reservatório.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Dimensionar reservatório para água pluvial na região da cidade de Toledo-PR segundo os métodos da NBR 15527:2007.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar os métodos da norma NBR 15527:2007;

- Analisar os resultados obtidos dos métodos e compatibilizar com reservatórios comerciais;
- Verificar a possibilidade de falha dos volumes de reservatório dimensionados pelos métodos da NBR 15527:2007.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado o conceito de aproveitamento da água da chuva, além das formas, incentivos e uso em edificações da água da chuva e os métodos de dimensionamentos de reservatórios segundo a norma NBR 15527:2007.

### 2.1 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

A captação e aproveitamento da água da chuva é uma ciência antiga, aplicada há milhares de anos por povos em todo o mundo para evitar da escassez da água, obtendo sustento para agricultura, animais e uso humano. Gnadlinger (2000) aponta que a captação de água da chuva ocorreu independentemente em vários lugares do mundo e em diversos continentes ao longo da história, o que nos remete que este tipo de captação de água foi desenvolvido pelos povos a fim de suprir suas necessidades básicas de água.

Atualmente, o Japão, a Alemanha, a Austrália, o México, a Holanda, os Estados Unidos são os países que mais utilizam o sistema de captação de água de chuva (SILVA, 2014). Nos dois primeiros países citados, a captação da água da chuva surge como medida preventiva contra enchentes urbanas, porém, com o risco de escassez de água, passa-se a utilizar o aproveitamento de água da chuva como meio de permitir a recarga das águas subterrâneas, principal fonte de abastecimento nesses países (GIACCHINI e FILHO, 2005).

A China também tem se mostrado uma potência em aproveitamento da água da chuva para uso humano. Na província de Gansu, o governo ajudou as famílias a construir áreas de captação e tanques de armazenamento de água da chuva, solucionando o problema de escassez de água de 1,3 milhões de pessoas (GNADLINGER, 2000).

No Brasil utiliza-se a captação de água de chuva tanto para uso humano como para controle de cheias. Grandes cidades brasileiras como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre são repetidamente atingidas por enchentes, causando problemas sociais, ambientais e econômicos. Algumas dessas cidades,



como Curitiba, possuem leis municipais que tornam obrigatória a retenção da água da chuva na edificação, por determinado período, objetivando prevenir enchentes, como veremos mais à frente (SICKERMANN, 2003).

## 2.2 FORMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A NBR 10844:1989 diz que os sistemas de captação de águas pluviais são exclusivamente para recolhimento e captação dessas águas, não devendo haver ligações com outras instalações prediais.

Segundo Souza (2014, p. 187) os sistemas de captação de águas pluvial “são formados basicamente pela área de captação (geralmente coberturas), os componentes de transporte (calhas e condutores verticais) e o reservatório” (Figura 1).

Outros componentes podem ser o freio d'água para reduzir o turbilhonamento no reservatório e o filtro flutuante para garantir a qualidade da água coletada pela bomba. O reservatório pode ser subterrâneo, podendo a água ser recalçada por meio de uma bomba para um reservatório superior e então seguir para consumo por gravidade ou aéreo seguindo para consumo por gravidade (SILVA, 2014).

A captação de água de chuva pode ser feita também através de superfície impermeabilizada sobre o solo (TOMAZ, 2011 c. 1).

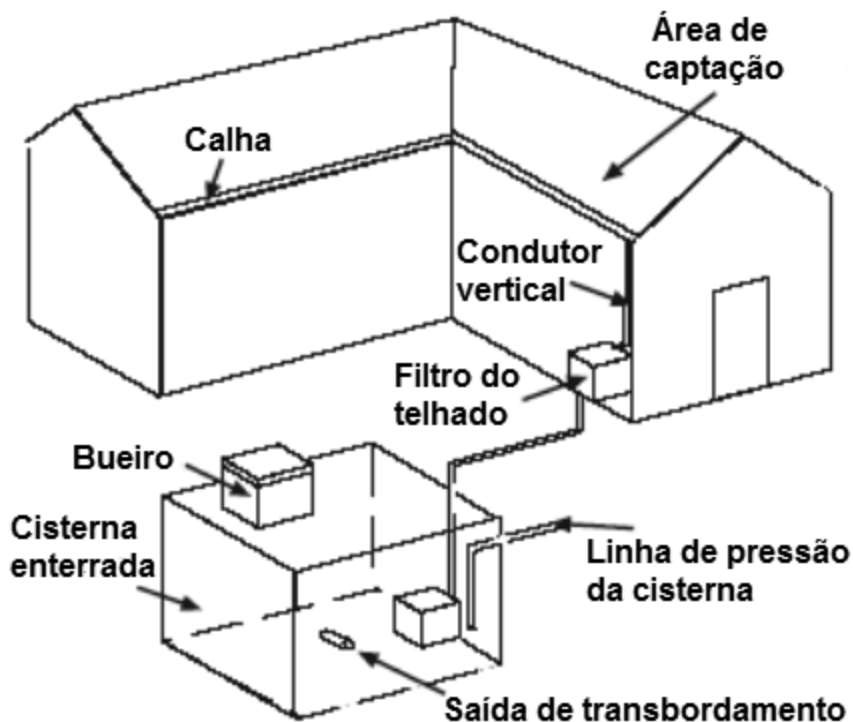


Figura 1 – Esquema de aproveitamento de água da chuva  
 FONTE: Modificado de Tomaz (2011a)

### 2.3 INCENTIVO A CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O primeiro registro conhecido de cisternas se dá pela Pedra Moabita ou Estrela de Mesa, onde o rei Mesa dos moabitas estabelece que cada um deve ter para si uma cisterna na sua casa (TOMAZ, 2011 c.1).

Em Tóquio, Japão, o governo metropolitano em 1984 estabeleceu um regulamento que obriga que todo prédio com área construída maior que 30.000m<sup>2</sup> que use mais de 100m<sup>3</sup>/dia de água não potável a fazer o aproveitamento da água de chuva e da água servida. Em 1993, foi introduzido um regulamento a fim de evitar enchentes em Tóquio que exige que terrenos com mais de 10.000m<sup>2</sup> ou edifícios com mais de 3.000m<sup>2</sup> construídos devem instalar reservatórios de detenção (piscinão) (TOMAZ, 2011 c.1).

Na Califórnia, EUA, há financiamentos para a construção de sistemas de captação de água de chuva, o mesmo acontecendo na Alemanha e no Japão. Em Hamburgo, na Alemanha, o subsídio concedido é de cerca de US\$ 1.500,00 a US\$

2.000,00 a quem aproveitar a água de chuva, objetivando conter picos de enchentes. (TOMAZ, 2011 c. 1).

No Brasil, o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais – Programa Cisternas, financiado pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário, MDSA, desde 2003, tem como objetivo a promover o acesso à água para o consumo humano e para a produção de alimentos por meio da implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo. Para combater a escassez de chuva no semiárido brasileiro, o programa está utilizando principalmente a tecnologia de cisternas de placas, reservatórios que armazenam água de chuva para utilização nos oito meses de período mais crítico de estiagem na região (MDSA).

O Programa Cisternas já beneficiou quase 1,3 milhão de famílias com as cisternas de 16 mil litros em 1.222 municípios de 14 estados. O secretário nacional de Segurança Alimentar e Nutricional do MDSA, Caio Rocha, afirma que as tecnologias sociais de acesso à água garantem a produção dos agricultores familiares, o que gera renda para as famílias, com a comercialização do excedente (PORTAL BRASIL, 2016)

Na cidade de Curitiba – PR, a Lei n. 10.785 de 18 de setembro de 2003 cria o PURAE, Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações, que segundo essa Lei (2003, p. 1) “tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água”. Em seu art.6 esta Lei especifica que as águas pluviais são uma das fontes alternativas de captação, sendo essas utilizadas para fins não potáveis.

Em Toledo – PR, a Lei n. 1.869 de 20 de novembro de 2003, que estabelece o Código de Obras e Edificações do Município, diz que edificações, tanto comerciais quanto residenciais localizadas na Zona Central, na Zona de Transição e nos Corredores, com taxa de ocupação acima de 60% da permitida para o local, deverá possuir reservatório para captação de água pluvial, tendo volume mínimo de 6,00m<sup>3</sup> ou volume correspondente à área de projeção multiplicada por 0,02, se este for maior, limitado à 40m<sup>3</sup>, devendo ser esvaziada em até 48 horas após o término das chuvas. A presente lei também estabelece que postos de combustíveis deverão ter reservatórios para captação de água pluvial com capacidade mínima de 15m<sup>3</sup> independentemente da área construída.

## 2.4 APROVEIRAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL NAS EDIFICAÇÕES

A captação de água pluvial vem sendo utilizada em indústrias, escolas, postos de gasolina, em atividades que consomem um volume elevado de água para fins não potáveis, a fim de economizar o consumo de água tratada objetivando reduzir as despesas (GIACCHINI, 2006).

Em São Paulo, por exemplo, onde há 6 meses com enchentes e 6 meses sem água, a lavanderia industrial “Lavanderia da Paz”, há 30 anos capta, filtra e utiliza a água de chuva nos seus processos de lavagem (SICKERMANN, 2003). Já em Guarulhos, uma indústria de tingimento de tecido aproveita água de chuva através de um telhado com 1.500m<sup>2</sup> e de um reservatório subterrâneo de 370m<sup>2</sup> (TOMAZ, 2011 c. 1).

É importante citar que todos esses usos são não potáveis. Isso se deve a contaminação da água pluvial tanto pelo grau de poluição do ar quanto pela condição de limpeza da área de captação, nas edificações, os telhados. Exemplos de agentes contaminantes são: fezes de passarinhos, pombas, ratos e outros animais, bem como poeiras, folhas de árvores, revestimento do telhado, fibrocimento, tintas, etc. Por isso, recomenda-se que a água de lavagem dos telhados, isto é, a primeira água – *first flush*, seja desprezada e jogada fora. Contudo, mesmo para usos não potáveis deve-se ter uma peneira com tela de 6mm a 13mm para remover materiais em suspensão (TOMAZ, 2009 c. 2).

Segundo Tomaz (2003), há pesquisas que indicam uma variação entre 0,4 L/m<sup>2</sup> de telhado a 8 L/m<sup>2</sup> de telhado de *first flush* conforme o local. “Na falta de dados locais sugere-se o uso do *first flush* no valor de 2 L/m<sup>2</sup> de área de telhado” (TOMAZ, 2003, p. 3).

## 2.5 MÉTODOS E MODELOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS

Este tópico apresenta os métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial a serem aplicados na cidade de Toledo – PR.

O dimensionamento de reservatórios de água pluvial consiste em determinar o volume do mesmo de modo que este dimensionamento ocorra “com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais” (ABNT, 2007, p. 3).

### 2.5.1 Métodos normatizados pela NBR 15527:2007

Os métodos apresentados neste item estão listados no Anexo A da NBR 15527:2007 como sugestões para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial: método de Rippl, simulação, Azevedo Neto (prático brasileiro), prático alemão, prático inglês e prático australiano.

A norma admite outros métodos/modelos desde que devidamente justificado a sua utilização.

Os métodos apresentados pela norma nem sempre apresentam resultados esperados, que seria o volume dimensionado do reservatório de água pluvial, a depender da demanda e da área de captação. Verifica-se que em determinadas situações, onde se varia a área de captação e a demanda, pode-se dimensionar o reservatório somente por alguns dos métodos da norma. Para Azevedo Neto e prático inglês os resultados são exagerados em relação aos demais e variam em função da área de captação apenas. Já o prático alemão varia em função da demanda de água pluvial, mas não da área de captação (RUPP et al. 2011)

A NBR 15527:2007 aponta que o método de Rippl pode usar séries históricas mensais ou diárias. Geralmente são usadas as mais longas séries históricas mensais possíveis, pois não são todas as cidades brasileiras que dispõe de dados de precipitações diárias com mais de 20 anos. É também admitido a utilização séries sintéticas – estabelecidas com base nas históricas – para facilitar os cálculos (TOMAZ, 2011, c. 9).

Segundo Tomaz (2013), este método geralmente superdimensiona o reservatório, porém, pode-se utilizá-lo para verificar o limite superior do volume do reservatório de acumulação de águas pluviais. Pode-se ainda dizer que este método pode ser aplicado para demanda constante e variável.

Diferentemente do método anterior, o método da simulação define um volume para o reservatório e verifica o que acontece com a água que sobra – overflow – e a

água que falta – suprimento do serviço público ou caminhão tanque, sendo o melhor método para avaliar um reservatório (TOMAZ, 2011 c. 11).

O método Azevedo Neto também é conhecido como método prático brasileiro e é o primeiro método empírico apresentado pela norma (Rupp et al. 2011). Ao contrário do método de Rippl, Azevedo Neto permite verificar o limite inferior do volume do reservatório de acumulação de águas pluviais (TOMAZ, 2011 c. 22).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo indica-se as estações pluviométricas de onde foram obtidas as séries históricas e todos os equacionamentos para a aplicação dos métodos já apresentados no capítulo anterior. Além disso, será apresentado o fluxograma de trabalho, onde as variáveis necessárias para os vários métodos utilizados serão apresentadas a fim de melhor entendimento do processo.

#### 3.1 COLETA DE DADOS

Os dados hidrológicos de séries históricas da cidade de Toledo-PR a serem utilizados nesse trabalho foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), especificamente do HidroWeb, Sistema Visualizador de Informações Hidrológicas. Dentre as estações meteorológicas listadas e disponíveis no HidroWeb escolheu-se aquela que possuía a maior série histórica de dados hidrológicos sendo esta a estação Nova Concórdia, cujas referências estão listadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Estação pluviométrica Nova Concórdia de Toledo-PR**

Código	Nome da Estação	Entidade Responsável	Bacia Hidrográfica	Em Operação	Estação apta a	Latitude	Longitude
2453017	Nova concórdia	AGUASPARANÁ	Rio Paraná	Sim	Dados de Chuva Diária	-24,72	-53,85

Fonte: Adaptado de HidroWeb (ANA, 2017).

##### 3.1.1 Série Histórica

A série histórica de dados hidrológicos começa no ano de 1964 e vai até 2015, possuindo um total de 52 anos. Os dados foram medidos com pluviômetro diariamente e então acumulados em totais mensais, que são os valores que foram utilizados para formar a série histórica estudada neste trabalho.

Em um primeiro momento, organizou-se os dados em forma cronológica para uma melhor visualização do comportamento das chuvas na região na hora de analisar os dados. Em seguida verificou-se se havia falhas na série, sendo possível encontrar os meses para os quais não haviam dados. Desta forma, os anos em que 3 ou mais meses não haviam dados hidrológicos foram descartados (Tabela 2) e os que possuíam 1 ou 2 meses faltantes foram substituídos pela média mensal (Tabela 3) resultando em uma série histórica de dados hidrológicos com um total final de 47 anos.

**Tabela 2 – Anos descartados da série histórica.**

<b>Anos descartados</b>
1964
1992
1994
1995
2013

**Tabela 3 – Meses substituídos pela média.**

<b>Ano</b>	<b>Mês faltante</b>
<b>1976</b>	Setembro
<b>1977</b>	Agosto, outubro
<b>1980</b>	Agosto
<b>1991</b>	Julho, agosto
<b>1993</b>	Junho, julho
<b>1997</b>	Outubro, novembro
<b>2012</b>	Janeiro

### 3.2 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS

Nesse tópico são apresentados os métodos de dimensionamento de reservatórios previstos na NBR 15527 (ABNT, 2007). Desses, os métodos da simulação e o prático australiano foram utilizados para verificar a eficiência do sistema de captação de água pluvial ao utilizar os volumes de reservatórios dimensionados pelos métodos de Rippl, Azevedo Neto, prático alemão e prático inglês. Utilizou-se simulação e prático australiano para a verificação da probabilidade de falha do sistema visto que esses métodos necessitam de um volume pré-estabelecido e verificam o desempenho do sistema quanto a esse volume de reservatório.



### 3.2.1 Método de Rippl

O dimensionamento do reservatório foi feito seguindo as equações abaixo, que relacionam o volume de água no reservatório no tempo com a demanda e o volume de chuva no tempo. O volume do reservatório é o somatório dos volumes de água no reservatório no tempo.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (1)$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad (2)$$

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

Em que:  $\sum D(t) < \sum Q(t)$

Onde:

- $S(t)$  – Volume de água no reservatório no tempo  $t$ , (L);
- $D(t)$  – Demanda ou consumo no tempo  $t$ , (L);
- $Q(t)$  – Volume de chuva aproveitável no tempo  $t$ , (L);
- $C$  – Coeficiente de escoamento superficial (adotado como 0,80, segundo recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007));
- $P$  – Precipitação da chuva no tempo (mm);
- $A$  – Área de captação (m<sup>2</sup>);
- $V$  – Volume do reservatório, (L).

### 3.2.2 Método da simulação

Para o método da simulação foram seguidas as especificações da NBR 15527:2007, desconsiderou-se a evaporação da água e aplicou-se a equação da continuidade a um reservatório finito. Foram feitas duas hipóteses: o reservatório está cheio no início da contagem do tempo  $t$  e os dados históricos são representativos para as condições futuras.

O equacionamento deste método dispõe-se a seguir.

$$S(t) = Q(t) + S(t - 1) - D(t) \quad (4)$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad (5)$$

Em que:  $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:

- $S(t)$  – Volume de água no reservatório no tempo  $t$ , (L);
- $S(t - 1)$  – Volume de água no reservatório no tempo  $t - 1$ , (L);
- $Q(t)$  – Volume de chuva no tempo  $t$ , (L);
- $D(t)$  – Consumo ou demanda no tempo  $t$ , (L);
- $V$  – Volume do reservatório fixado, (L);
- $C$  – Coeficiente de escoamento superficial (adotado como 0,80, segundo recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007)).

### 3.2.3 Método Azevedo Neto

Para o Método Azevedo Neto o volume do reservatório é dado pela equação

6.

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

Onde:

- $V$  – Volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, (L);
- $P$  – Precipitação média anual, (mm);
- $A$  – Área de coleta, (m<sup>2</sup>);
- $T$  – Número de meses de pouca chuva ou seca.

### 3.2.4 Método prático alemão

Trata-se de um método empírico. Tomou-se o menor valor do volume do reservatório; 6 % do volume anual de consumo ou 6 % do volume anual de precipitação aproveitável (NBR 15527:2007).

$$V_{adotado} \leq \begin{cases} V \times 0,06 \\ D \times 0,06 \end{cases} \quad (7)$$

Onde:

- $V$  – Volume aproveitável de água de chuva anual, (L);
- $D$  – Demanda anual da água não potável, (L);
- $V_{adotado}$  – Volume de água do reservatório, (L)

### 3.2.5 Método prático inglês

Segundo a NBR 15527:2007, para o método prático inglês o volume de chuva foi obtido pela seguinte equação:

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

Onde:

- $V$  – Volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, (L);
- $P$  – Precipitação média anual, (mm);
- $A$  – Área de coleta em projeção, (m<sup>2</sup>).

### 3.2.6 Método prático australiano

O volume de chuva foi obtido pela seguinte equação:

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

Onde:

- $Q$  – Volume mensal produzido pela chuva, (L);
- $A$  – Área de coleta, (m<sup>2</sup>);
- $C$  – Coeficiente de escoamento superficial (adotado como 0,80, segundo recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007));
- $P$  – Precipitação média mensal, (mm);
- $I$  – Interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação (segundo recomendação da NBR 15527 (ABNT, 2007), consideraram-se 2 mm)

O volume do reservatório foi determinado por tentativas pela equação abaixo, onde para o primeiro mês considera-se o reservatório vazio, até que se atinja valores que estejam dentro de um intervalo de confiança entre 90% e 99%.

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

Onde:

- $V_t$  – Volume de água que está no tanque no fim do mês  $t$ , (L);
- $V_{t-1}$  – Volume de água que está no tanque no início do mês  $t$ , (L);
- $Q_t$  – Volume mensal produzido pela chuva no mês  $t$ , (L);
- $D_t$  – Demanda mensal, (L).

Quando  $(V_{t-1} + Q_t - D_t) < 0$ , então  $V_t = 0$ .

A Confiança é dada pela equação a seguir:

$$Cf = (1 - Pr) \quad (11)$$

Sendo

$$Pr = \frac{Nr}{N} \quad (12)$$

Onde:

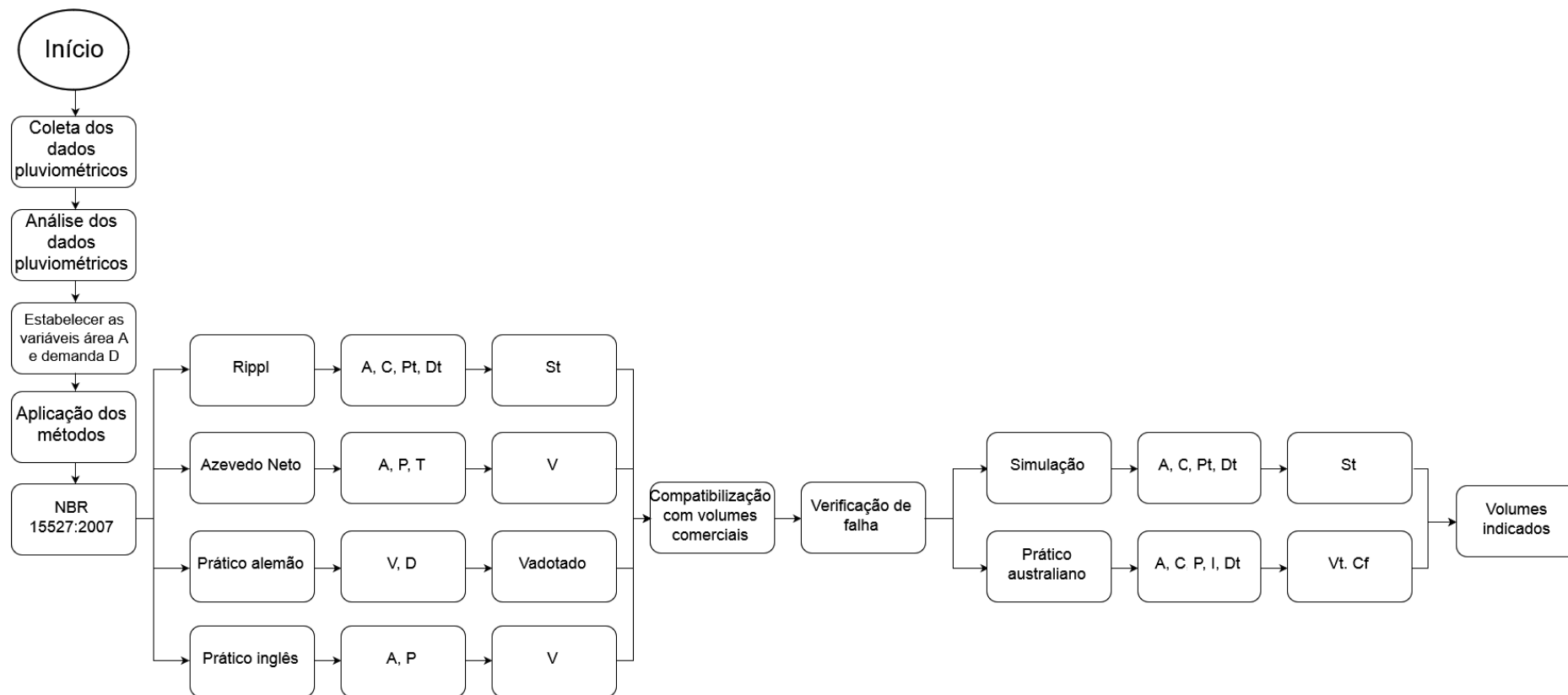
- $Cf$  – Confiança;
- $Pr$  – Falha;

- $Nr$  – Número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda ( $V_t = 0$ );
- $N$  – Número de meses considerado, geralmente 12 meses.

### 3.3 FLUXOGRAMA DE TRABALHO

A Figura 2, é apresentado um fluxograma com as etapas a serem seguidas neste trabalho.

O objetivo do fluxograma é apresentar de forma clara e mais compreensível os passos a serem seguidos para executar a metodologia proposta.



**Figura 2 – Fluxograma de trabalho**

### 3.4 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO ADOTADOS

Neste tópico serão apresentados os pormenores dos critérios e as condições de contorno utilizados para o dimensionamento do reservatório para cada método proposto nesse trabalho.

#### 3.4.1 Demandas e áreas de captação

As demandas estudadas nesse trabalho foram retiradas da tabela de consumos potenciais do manual de projeto hidrossanitário da Sanepar de 2013. Dentre os 35 tipos de edificações listadas na tabela, decidiu-se estudar os consumos referentes aos conjuntos/condomínios residências. Os consumos apresentados são referentes ao consumo de água total para cada uma das edificações listadas, porém, quando se fala em consumo de água pluvial esse valor é exagerado. Por isso, seguindo as recomendações da AgSolve (2010), que diz que 33% da água consumida em domicílios no Brasil diariamente é para descarga em banheiros e 3% em outras atividades, como lavagem de carro, admitiu-se que somente 35% do consumo estimado pelo manual da Sanepar pode ser feito com água pluvial, conforme Tabela 4.

**Tabela 4 – Consumos potenciais por tipo de edificação.**

<b>Tipo de edificação</b>	<b>Consumo Provável (m<sup>3</sup>/ec. mês)</b>	<b>35% consumo (m<sup>3</sup>/ec. mês)</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	8,5	3,0
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	10,3	3,6
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	12,5	4,4
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	15,3	5,4
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	17,5	6,1
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	21,0	7,4
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	23,5	8,2
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	35,0	12,3

Fonte: Adaptado de Manual de Projeto Hidrossanitário da Sanepar, tabela de consumos potenciais (Sanepar, 2013).

Para os métodos de Rippl, simulação e prático australiano a demanda foi fixada ao valor de 35% do consumo provável. No método prático alemão utilizou-se uma demanda anual, multiplicando as demandas de cada edificação por 12 meses. Os métodos Azevedo Neto e prático inglês não utilizam a demanda em seus cálculos.

As áreas de captação foram admitidas como sendo iguais os máximos de cada uma das faixas de área dos tipos de edificações listados na Tabela 4, sendo que para as edificações com área acima de 350 m<sup>2</sup> considerou-se área igual a 500 m<sup>2</sup>.

### 3.4.2 Métodos de dimensionamento

Para o método de Rippl utilizou-se todos os dados mensais da série história pluviométrica da cidade de Toledo-PR a fim de determinar o volume do reservatório considerando a sazonalidade da região. Optou-se por utilizar os dados dos totais mensais dos 47 anos, já que a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) não especifica se deve ser utilizada toda a série ou as médias mensais ou diárias. Para esse método, avaliou-se o critério  $\sum D(t) < \sum Q(t)$  ano a ano ao longo da série. O volume do reservatório para o método de Rippl é o somatório de todos os volumes encontrados ao longo da série. Neste trabalho o volume do reservatório foi calculado anualmente e depois escolheu-se o maior valor entre eles para o volume admitido. Isso para cada uma das demandas de cada um dos tipos de edificação.

Seguindo o que foi determinado para o método de Rippl, para o método da simulação utilizou-se os totais mensais de toda a série histórica. Com o objetivo de verificar o desempenho do sistema de captação de água, utilizou-se a mesma metodologia de confiança aplicada pelo método prático australiano, porém, considerando  $N$ , número de meses considerado, igual a total de meses da série histórica, logo  $N = 564$ .

Para ambos os métodos a NBR 15527:2007 (ANBT, 2007) não deixa claro se as equações devem ser aplicadas para cada mês separadamente ou se o estudo deve ser feito ao longo do ano, dessa forma, optou-se por deixar os meses em ordem cronológica para os métodos de Rippl e da simulação.



### 3.4.2.1 Métodos práticos

Para os métodos prático alemão e inglês o valor da precipitação utilizado foi a média dos totais anuais da série histórica. Para o prático alemão, a NBR 15527:2007 não menciona como se obter o volume de água pluvial anual, desta forma, seguindo a sugestão de Rupp et al., ele foi determinado por meio da Eq. 2.

Para o método prático Azevedo Neto encontrou-se uma dificuldade quanto a estabelecer o valor do numérico do número de pouca chuva ou seca  $T$ . A norma NBR 15527 (ABNT, 2007) não especifica como determinar esse valor e nem aponta um método fazê-lo. Desta forma, a princípio optou-se por seguir o critério de Rupp et al. (2011) e adotar o número de meses em que o valor precipitado fosse igual ou inferior a 80% da precipitação média mensal, porém, preferiu-se adotar  $T=3$ , onde 3 corresponde ao trimestre menos chuvoso do ano.

### 3.4.3 Compatibilização com reservatórios comerciais

Os volumes dimensionados para servem como parâmetro de partida e devem ser compatibilizados com os volumes de reservatórios de água pluvial disponíveis no mercado. Para tanto, a partir de uma tabela de reservatórios comerciais escolheu-se para cada um dos volumes das edificações em estudo para cada método aplicado um volume compatível com o dimensionado.

A tabela de reservatórios comerciais é da empresa AcquaVida, sendo que essa varia de 4 m<sup>3</sup> a 50 m<sup>3</sup>.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo dispõe-se dos resultados encontrados no dimensionamento para cada método estudado nesse trabalho, além da análise dos mesmos. Ainda apresenta-se os critérios de dimensionamento e a análise estatística feita com a série histórica de dados pluviométricos.

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

A Tabela 5 mostra a estatística descritiva da série histórica dividida em meses. As medidas estatísticas foram calculadas para cada um dos 12 meses do ano contabilizando todos os 47 anos da série, por exemplo, as medidas referentes ao mês de janeiro foram calculadas utilizando os dados dos 47 meses de janeiro presentes na série e assim por diante.

**Tabela 5 – Estatística descritiva dos totais mensais.**

Meses	DP (mm)	Média (mm)	CV (%)	CA	CC
Jan	72,8	145,4	50,1	0,5	-0,3
Fev	78,2	140,2	55,7	0,4	-0,7
Mar	55,1	104,8	52,5	0,4	-0,5
Abr	88,8	130,8	67,9	1,0	2,2
Mai	101,9	141,2	72,1	0,7	-0,5
Jun	85,2	114,8	74,2	1,7	2,9
Jul	73,3	93,1	78,8	2,2	6,7
Ago	73,7	79,3	92,9	1,5	2,7
Set	96,5	139,9	69,0	1,3	2,5
Out	100,2	180,1	55,6	0,6	-0,2
Nov	73,2	139,8	52,3	0,4	-0,1
Dez	121,2	177,8	68,1	1,2	1,0

Legenda: DP – desvio padrão; CV – coef. de variação; CA – coef. de assimetria; CC – curtose.

Ao analisar-se a Tabela 5 pode-se inferir que os dados pluviométricos para todos os meses estão muito dispersos. Nota-se que a média tem um valor mínimo de 79,3 mm e máximo de 177,8 mm, sendo que esses valores aparecem em estações climáticas opostas, o mínimo durante o inverno e o máximo durante o verão. Para o coeficiente de variação *CV*, observa-se que os valores da série para cada mês variam consideravelmente estando todos acima de 50% e chegando a 92,9% em agosto.

O coeficiente de assimetria é positivo para todos os meses da série o que caracteriza uma assimetria a direita. Os meses de fevereiro, março e novembro apresentam coeficientes de assimetria próximos a 0, os meses de junho, julho e agosto coeficientes de assimetria maiores do que 1. Isso significa que os 3 primeiros meses citados possuem uma tendência de chuvas mais uniformes ao longo da série, ao passo que os 3 últimos possuem uma alta dispersão, ou seja, uma maior tendência a variações na quantidade de chuva.

Observa-se que 50% dos meses apresentam curtose negativa que significa que os totais mensais de precipitação desses meses estão mais afastados em relação à média, ou seja, há uma variação considerável quanto a quantidade de chuva mensal de um ano para outro em relação à média. Já os outros 50% que apresentam curtose positiva possuem os totais mensais mais próximos da média, ou seja, a quantidade de chuva mensal se aproxima da média ao longo da série.

No boxplot a seguir (gráfico 1) é possível observar as assimetrias e a variação dos dados. É possível também observar os meses que apresentam *outliers*, pontos com valores atípicos, que estão 'fora' da série. Esses pontos tentam a puxar a média na sua direção e tornar os dados tendenciosos, daí a importância do boxplot, que nos permite observá-los. Verifica-se que mesmo sem os *outliers* a variação e a assimetria ainda é presente nos meses da série.

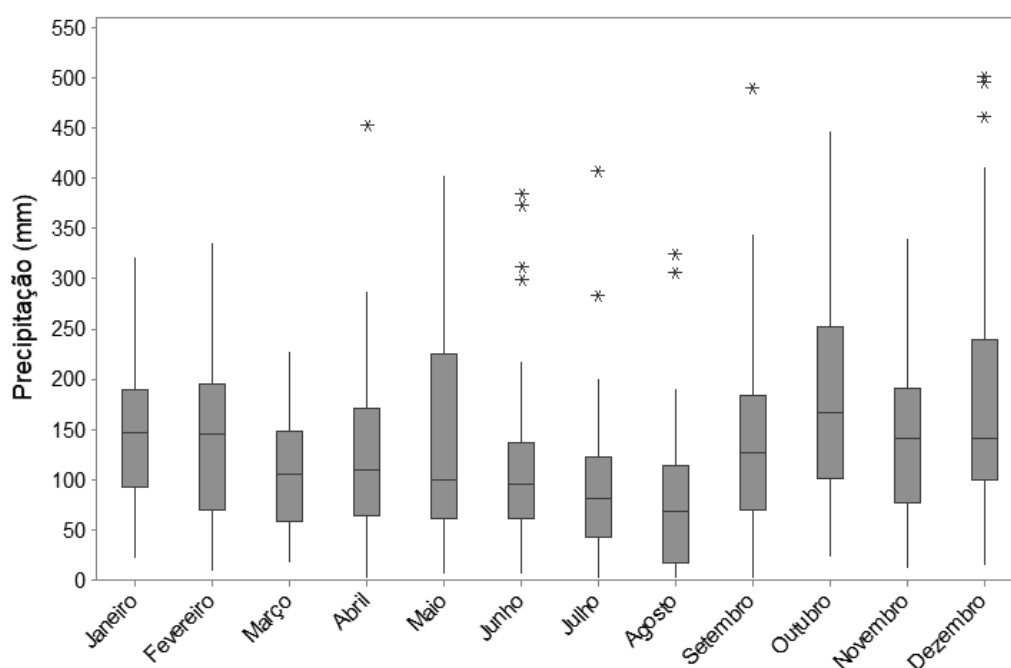


Gráfico 1 – Boxplot série histórica de dados pluviométricos de Toledo-PR.  
\* – outliers

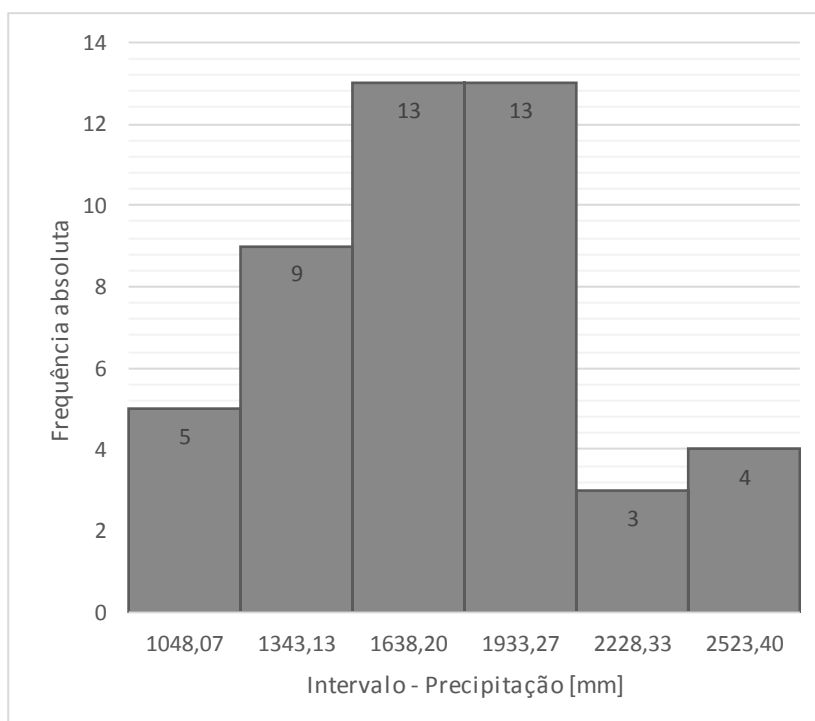
A Tabela 6 apresenta a estatística descritiva da série histórica considerando todos os 47 totais mensais. Para o coeficiente de variação, verifica-se que, além de ser inferior aos *CV* mensais, os totais anuais tendem a ter pouca variação. O coeficiente de assimetria e a curtose são positivos e próximos de 0, desta forma sabe-se que os totais anuais possuem pouca variação em relação à média e que os anos da série tendem a ter a mesma quantidade de chuva acumulada.

**Tabela 6 – Estatística descritiva dos totais anuais.**

DP (mm)	Média (mm)	CV (%)	CA	CC
417,0	1587,3	26,3	0,2	0,2

Legenda: DP – desvio padrão; CV – coef. de variação; CA – coef. de assimetria; CC – curtose.

Para analisar a série histórica como um todo, também utilizou-se dos totais anuais para traçar um histograma de frequência (Gráfico 2). Com ele é possível observar que para a maioria dos anos choveu dentro do intervalo de 1343,13 mm à 1933,27 mm. Nota-se também a assimetria a direita no gráfico onde há uma caída brusca na quantidade de anos do intervalo 1638,20 mm à 1933,27 mm e 1933,27 a 2228,33 mm.



**Gráfico 2 – Histograma da série histórica de dados pluviométricos de Toledo – PR.**

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

O dimensionamento do reservatório de água pluvial foi feito através dos métodos de Rippl, Azevedo Neto, prático alemão e prático inglês para cada uma das demandas listadas na Tabela 4 obtendo assim 4 volumes de reservatório para cada um dos tipos de edificações.

Para o método de Rippl avaliou-se se o critério da NBR 15527 (ABNT, 2007),  $\sum D(t) < \sum Q(t)$ , é atendido pelo sistema de captação de água da chuva para os tipos de edificações estudados. Para tanto, verificou-se quantas vezes esse critério não era atendido ao longo da série para cada uma das edificações, sabendo que o método foi aplicando anualmente. A Tabela 7 traz o número e a porcentagem de falhas do sistema para cada uma das faixas de área ao longo dos 47 anos da série histórica de dados pluviiais.

**Tabela 7 – Número de falhas, método de Rippl.**

<b>Tipo de edificação</b>	<b>nº de falha</b>	<b>% de falha</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	3,00	6,38
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	3,00	6,38
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	3,00	6,38
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	1,00	2,13
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	0,00	0,00

Legenda: nº – número; % – porcentagem.

Considerou-se que um número de falha aceitável quando esse é menor ou igual a 10% do total de anos da série. Portanto, pode-se observar que esse critério é atendido para todos os tipos de edificações estudados.

Os volumes encontrados estão listados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Volumes encontrado, método de Rippl.  
(continua)**

<b>Tipo de edificação</b>	<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	12,88
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	14,39
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	17,50
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	21,18

**Tabela 8 – Volumes encontrado, método de Rippl.  
(conclusão)**

Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	<b>21,79</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	22,92
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	18,94
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	28,88

Analisando os resultados do método de Rippl, nota-se que mesmo quando a demanda é pequena se a área não for suficientemente grande haverá falhas no sistema de captação. Para uma área de captação de 50 m<sup>2</sup> a demanda é de 3 m<sup>3</sup>/ec.mês, o método falha em 3 anos dos 47 anos da série. Quando dobra-se a área de captação a demanda é de 5,4 m<sup>3</sup>/ec.mês e o método deixa de apresentar falhas, indicando que mesmo para suprir pequenas demandas a área de captação tende a ser grande. Isso se deve provavelmente ao modo como o método de Rippl foi concebido, para dimensionar grande reservatórios, e quando aplicado a demandas pequenas acaba por superdimensionar o reservatório.

Isso indica que para suprir uma pequena demanda a área tende a ser muito grande. Isso se deve provavelmente ao fato de que o método de Rippl é tido como um método que superdimensiona o reservatório, então há necessidade de uma grande área de captação para atender uma pequena demanda.

A Tabela 9 apresenta os volumes encontrados para o método Azevedo Neto considerando cada uma das edificações estudadas.

**Tabela 9 – Volume do reservatório, método Azevedo Neto.**

<b>Tipo de edificação</b>	<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	10,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	13,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	16,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	20,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	26,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	40,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	70,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	100,00

Observa-se na Tabela 9 que o volume do reservatório é diretamente proporcional a área de coleta para esse método. O método Azevedo Neto é um método simples que não depende da demanda e nem de um volume de reservatório pré-estabelecido, sendo função somente da precipitação anual e da área de captação. Isso provoca superdimensionamento.

No método prático alemão deve-se verificar qual volume é menor entre os 6% da demanda anual e 6% do volume de chuva anual. Para todas as edificações analisadas, os menores valores foram os referentes ao volume da demanda anual, como apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10 – Volume do reservatório, método prático alemão.**

<b>Tipo de Edificação</b>	<b>6% de V (m³)</b>	<b>6% de D (m³)</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	3,81	2,16
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	4,95	2,59
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	6,10	3,17
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	7,62	3,89
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	9,90	4,39
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	15,24	5,33
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	26,67	5,90
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	38,09	8,86

Legenda: V – volume aproveitável de água de chuva anual; D – demanda anual da água não potável.

Ao observar a Tabela 10, percebe-se que há certa diferença entre os volumes do reservatório calculados com base na demanda e com base no volume de chuva. A partir de edificações maiores que 50 m<sup>2</sup> o volume do reservatório determinado com base no volume de chuva torna-se praticamente o dobro do volume determinado a partir da demanda. Considera-se isso uma consequência do regime pluviométrico da região de Toledo – PR, cujo o qual apresenta média dos totais anuais de precipitação igual a 1587,3 mm, um valor considerável para chuvas.

Para a demanda, como já explicado, os valores anuais foram encontrados ao se multiplicar a demanda mensal por 12, número de meses em um ano. A maior demanda anual é de 147,6 m<sup>3</sup> e corresponde a edificações acima de 350 m<sup>2</sup>, para a mesma área o volume de chuva anual é 4 vezes maior, 634,91 m<sup>3</sup>. O que comprova que chove muito mais do que se necessita de água pluvial em conjuntos/condomínios residenciais.

Utilizando a média dos totais anuais da série histórica foi possível obter os valores que estão na Tabela 11 para o volume do reservatório de acordo com o método prático inglês.

**Tabela 11 – Volume do reservatório, prático inglês.**

(continua)

<b>Tipo de Edificação</b>	<b>Volume do reservatório (m³)</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	3,97
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	5,16

**Tabela 11 – Volume do reservatório, prático inglês.  
(conclusão)**

Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	6,35
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	7,94
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	10,32
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	15,87
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	27,78
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	39,68

Tal qual para Azevedo Neto, o método prático inglês não considera a demanda e depende somente da precipitação e da área de captação.

Dimensionado o reservatório de água pluvial para cada um dos métodos, organizou-se os resultados na Tabela 12 a fim de verificar as possíveis variações.

**Tabela 12 – Volumes do reservatório.**

Tipo de Edificação	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )			
		Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	50	12,88	10,00	2,16	3,97
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	65	14,39	13,00	2,59	5,16
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	80	17,50	16,00	3,17	6,35
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	100	21,18	20,00	3,89	7,94
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	130	21,79	26,00	4,39	10,32
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	200	22,92	40,00	5,33	15,87
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	350	18,94	70,00	5,90	27,78
Conj./cond. resid. c/ aptos. Acima de 350m <sup>2</sup>	500	28,88	100,00	8,86	39,68

Ao comparar os resultados do método de Azevedo Neto com os demais nota-se uma clara discrepância entre eles, sendo que Azevedo Neto apresenta os maiores valores para o volume do reservatório a partir de habitações acima de 100 m<sup>2</sup>, porém, a literatura indica que esse método deveria apresentar o limite inferior do reservatório, e não o superior. O provável motivo dessa inconsistência é o número de meses de pouca chuva ou seca,  $T$ . Como já especificado, inicialmente pensou-se em seguir o critério de Rupp, mas optou-se por admitir  $T = 3$  equivalendo ao trimestre menos chuvoso da cidade de Toledo – PR. Contudo, visando contornar o possível erro na determinação do número  $T$  verificou-se o valor do mesmo utilizando o critério de Rupp, mas o valor de  $T$  continuou igual a 3, já que os meses que possuíam precipitação



média igual ou inferior à 80% da precipitação média mensal eram o trimestre menos chuvoso.

Em vista disso, buscou-se na literatura um novo método para estabelecer um valor para  $T$ . Segundo a ANA (2009), a região hidrológica do Paraná não apresenta um número significativo de eventos de estiagem e na região sul as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano (ANA, 2007). Por isso, Bezerra et al. afirma que é coerente considerar  $T = 1$ . Além disso, a estatística descritiva da série histórica de Toledo – PR considerando os totais anuais apresenta um coeficiente de variação relativamente baixo para chuvas, 26,3%, e os valores para curtose e coeficiente de assimetria são ambos próximos a 0, o que implica pouca variação na quantidade de chuva de um ano para outro, justificando também a possibilidade de utilizar  $T = 1$  para a cidade de Toledo – PR. Para essa consideração, os valores do volume do reservatório para o método Azevedo Neto, bem como para os outros métodos, estão dispostos na Tabela 13.

**Tabela 13 – Volumes do reservatório, Azevedo Neto para  $T=1$ .**

Tipo de Edificação	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )			
		Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	50	12,88	3,33	2,16	3,97
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	65	14,39	4,33	2,59	5,16
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	80	17,50	5,33	3,17	6,35
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	100	21,18	6,67	3,89	7,94
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	130	21,79	8,67	4,39	10,32
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	200	22,92	13,33	5,33	15,87
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	350	18,94	23,33	5,90	27,78
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	500	28,88	33,33	8,86	39,68

Nota-se que ao utilizar  $T = 1$  os valores do volume do reservatório para Azevedo Neto ficam dentro do esperado de acordo com os outros métodos, demonstrando de fato o que foi observado na literatura como sendo o método capaz de verificar o limite inferior do reservatório.

A partir de edificações com área superior a 200 m<sup>2</sup> o método de Rippl deixa de apresentar os valores máximos para o volume do reservatório. Isso acontece porque a área está aumentando numa taxa muito maior do que a demanda. Enquanto

a demanda aumentou 10,81% entre os intervalos de área de 130 a 200 m<sup>2</sup> e 200 a 350m<sup>2</sup>, a área aumentou 75%. Com isso, o volume do reservatório tende a zerar na maior parte dos meses da série, visto que o volume de chuva aproveitável no tempo  $Q(t)$  supera em muito a demanda mensal  $D(t)$  e para o somatório do volume do reservatório só considera-se os valores positivos de  $S(t)$ , onde  $S(t) = D(t) - Q(t)$ .

O volume do reservatório volta a crescer para edificações acima de 350 m<sup>2</sup>, aqui consideradas até 500 m<sup>2</sup> para fins de cálculo, mesmo que não supere o valor dos outros métodos. Nesse caso, a demanda aumentou 50% enquanto a área 42,86%. Isso demonstra que quando a área e a demanda variam em proporções semelhantes o volume do reservatório tende a acompanhar essa variação e que quando uma dessas duas variáveis de contorno varia em proporção muito diferente da outra o volume do reservatório tende a variar de forma inversa. A Tabela 14 apresenta as porcentagens de acréscimo para a demanda, área e volume para o método de Rippl.

**Tabela 14 – Porcentagem de acréscimos, método de Rippl.**

<b>Tipo de Edificação</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>% ac. A</b>	<b>35% C (m<sup>3</sup>/ec.mês)</b>	<b>% ac. C</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>% ac. V</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	50	-	3,00	-	12,88	-
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	65	30,00	3,60	20,00	14,39	11,76
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	80	23,08	4,40	22,22	17,50	21,58
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	100	25,00	5,40	22,73	21,18	21,00
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	130	30,00	6,10	12,96	21,79	2,90
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	200	53,85	7,40	21,31	22,92	5,18
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	350	75,00	8,20	10,81	18,94	-17,35
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	500	42,86	12,30	50,00	28,88	52,45

Legenda: Ac. – acréscimo; A – área de captação; C – consumo; V – volume do reservatório.

Ao observar a tabela 14 nota-se quando as porcentagens de acréscimo da área aumentam muito mais do que as do consumo fazendo com que o volume do reservatório aumente em proporções consideravelmente inferiores.

### 4.3 COMPATIBILIZAÇÃO COM RESERVATÓRIOS COMERCIAIS

Para a compatibilização utilizou-se dos valores dos volumes do reservatório dispostos na Tabela 13, arredondando os valores calculados para os volumes comerciais imediatamente acima, exceto em casos onde o volume dimensionado era muito próximo do volume comercial imediatamente inferior. Sendo assim, a Tabela 15 apresenta os valores dos volumes compatibilizados.

**Tabela 15 – Volume do reservatório compatibilizado (m<sup>3</sup>).**

<b>Tipo de Edificação</b>	<b>Rippl</b>	<b>Azevedo Neto</b>	<b>Prático Alemão</b>	<b>Prático Inglês</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	13	4	4	4
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	15	5	4	5
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	18	6	4	7
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	21	7	4	8
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	22	9	5	11
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	23	14	6	16
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	19	24	6	28
Conj./cond. resid. c/ aptos. Acima de 350m <sup>2</sup>	29	34	9	40

A tabela de reservatórios da AcquaVida, como já citado, começa com um volume de 4 m<sup>3</sup>, porém, os dois primeiros volumes do método prático alemão eram muito pequenos, menores do que 3 m<sup>3</sup>, desse modo, adotou-se o volume do reservatório para esses casos como 4 m<sup>3</sup> por ser o menor volume comercial disponível.

### 4.4 VERIFICAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA

Partindo da tabela de volumes compatibilizados, verificou-se a eficiência do sistema de captação de água com os métodos da simulação e prático australiano por meio do critério de confiança. Para o método da simulação utilizou-se todos os totais

mensais de precipitação da série histórica e então determinou-se o número de vezes em que o volume do reservatório era igual a 0, logo depois calculou-se o a falha e então a confiança, repetindo o processo para cada um dos métodos em combinação com as habitações.

A Tabela 16 apresenta a confiança  $Cf$  para as habitações em função dos métodos de dimensionamento para o método da simulação.

**Tabela 16 – Confiança para os reservatórios dimensionados, método da simulação.**

Tipo de Edificação	Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	100%	96,1%	96,1%	96,1%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	100%	97,7%	95,39%	97,7%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	100%	98,23%	93,62%	99,47%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	100%	98,23%	91,49%	99,29%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	100%	99,47%	94,15%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	100%	100%	95,74%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	100%	100%	97,16%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	100%	100%	96,99%	100%

A confiança deve estar acima 90% para considerar o volume do reservatório pré-estabelecido aceitável. Nenhum dos volumes compatibilizados apresenta  $Cf$  inferior a 90% quando aplicado o método da simulação. Além disso, para esse método a confiança aumenta de acordo com o crescimento da área de captação.

Para o método prático australiano, utilizando os totais mensais médios, determinou-se a confiança ( $Cf$ ) para os métodos estudados e as edificações. Os resultados obtidos estão na Tabela 17.

**Tabela 17 – Confiança para os reservatórios dimensionados, método prático australiano.**

Tipo de Edificação	Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%
Conj./cond. resid. c/ aptos. acima de 350m <sup>2</sup>	100%	100%	100%	100%

Para esse método todos os volumes de reservatório e edificações apresentaram confiança iguais a 100%. Acredita-se que isso é consequência do

método utilizar as médias mensais e por consequência calcular o comportamento dos volumes do reservatório apenas para 12 meses e não para toda a série histórica de dados pluviométricos. Por conseguinte, as falhas do volume do reservatório são mascaradas.

Desta forma, o melhor método para determinar as falhas do sistema de captação de água da chuva é o método da simulação.

#### 4.5 VOLUMES DE RESERVATÓRIO POR TIPO DE EDIFICAÇÃO/FAIXA DE CONSUMO

Após compatibilizar os volumes do reservatório e verificar as falhas, confeccionou-se uma tabela indicando o volume de reservatório de água pluvial mais indicado para cada tipo de edificação/faixa de consumo apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18 – Volumes indicados por tipo de edificação.**

<b>Tipo de Edificação</b>	<b>Volume indicado (m<sup>3</sup>)</b>
Conj./cond. resid. c/ aptos. até 50m <sup>2</sup>	4
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 51 a 65m <sup>2</sup>	5
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 65 a 80 m <sup>2</sup>	5
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 80 a 100m <sup>2</sup>	5
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 100 a 130m <sup>2</sup>	6
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 130 a 200 m <sup>2</sup>	8
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 200 a 350m <sup>2</sup>	8
Conj./cond. resid. c/ aptos. de 350m <sup>2</sup> a 500m <sup>2</sup>	10

Como já citado, para edificações que a tabela de consumos da Sanepar (2013) considera edificações acima 350 m<sup>2</sup> foi estabelecido um limite de 500m<sup>2</sup>, nesta tabela optou-se por explicitar essa opção.

Para determinar os volumes indicados primeiramente analisou-se a dispersão dos resultados entre os métodos para cada tipo de edificação a fim de verificar pontos discrepantes. Verificou-se que a maioria dos valores para o volume do reservatório dimensionados pelo método de Rippl estão distantes dos resultados dos outros métodos, porém, a partir de edificações acima de 200m<sup>2</sup> esses valores começam a se aproximar dos demais, ao passo que o volume para o método prático alemão é o que se torna disperso, contudo, não apresenta falhas. Desta forma, os valores referentes

ao método de Rippl foram desconsiderados nos próximos passos ao determinar-se os volumes indicados. Após esse procedimento, calculou-se a média dos volumes dimensionados para cada tipo de edificação.

Os volumes indicados foram definidos com base na média e no método prático alemão. Esse método foi escolhido pois os métodos Azevedo Neto e prático inglês não consideram a demanda em equacionamentos e o método de Rippl tende a superdimensionar o reservatório. O método prático alemão apresenta volumes pequenos em relação aos demais, mas ainda assim não apresenta confiança inferior a 90% para o método da simulação, o que torna os valores confiáveis.

## 5 CONCLUSÃO

Através do dimensionamento e das análises realizadas neste trabalho, foi possível definir um volume de reservatório indicado para conjuntos/condomínios residenciais com apartamentos até 500 m<sup>2</sup> para cada faixa de área/consumo de água conforme a tabela de consumos potenciais da Sanepar (2013).

Os dimensionamentos realizados permitiram verificar o desempenho dos métodos indicados pela NBR 15527 (ANBT, 2007) quando submetidos a mesma área demanda. Além disso, foi possível constatar que a NBR 15527 não especifica os pormenores dos métodos, deixando em aberto vários pontos em relação ao modo como determina-se as variáveis. Para o método de Rippl e simulação, a norma não é específica quanto ao uso da série histórica, quanto ao uso de médias mensais, os totais mensais ou totais anuais de precipitação. Para Rippl, a NBR não diz como proceder o somatório do volume do reservatório, se deve ser feito anualmente ou não ou qual procedimento adotar.

Para o método da simulação a NBR 15527 não indica um parâmetro para avaliar o desempenho do volume pré-estabelecido. Para os métodos práticos alemão a norma não é clara quanto ao modo de determinar o volume de chuva anual para o prático inglês a norma não especifica como determinar a precipitação anual a partir da série histórica. Já para Azevedo Neto, a normativa não diz como deve-se proceder para encontrar o valor dos meses de pouca chuva ou seca  $T$ , o qual como vimos nesse trabalho tem influência direta no dimensionamento do reservatório de águas pluviais.

Desta forma, se fez necessário buscar na literatura especificações para os métodos da norma ou ainda estabeleceu-se critérios para suprir a ausência de informações, deixando em aberto a possibilidade de erro por tomar como verdadeiros parâmetros e modelos que não estão especificados na normativa. O que de fato ocorreu com o método prático alemão ao utilizar um número muito grande para o valor  $T$ .

Com relação aos resultados obtidos, o método de Rippl não é indicado para dimensionar reservatórios residências com áreas inferiores à 200 m<sup>2</sup>, já que para essas áreas ele acaba por superdimensionar o reservatório. Além disso, notou-se que para esse método ao variar-se a área e a demanda em proporções diferentes influencia-se diretamente o volume do reservatório. Ou seja, se a área varia numa

taxa muito maior do que a da demanda, o volume do reservatório tende a ser menor do que quando se varia a área e a demanda na mesma proporção. Infere-se que ao se manter a mesma área e modificar-se a demanda o volume do reservatório é diretamente influenciado para mais ou para menos de forma significativa de acordo com a mudança da demanda. Agora, quando modifica-se a área e se mantém a demanda, o reservatório irá variar de modo inverso a essa mudança.

Verifica-se que os resultados dos métodos Azevedo Neto e prático inglês foram concordantes. O uso do método prático australiano para verificar falhas no sistema de captação de água pluvial não é eficaz, porque não se mostra capaz de demonstrar as possíveis porcentagens de falha para o estudo de caso, já o método da simulação demonstra as discordâncias do volume de reservatório em vista da demanda da edificação. O método prático alemão apresenta os menores volumes de reservatório mantendo a confiança no sistema acima de 90 %.

Logo, conclui-se que o mais indicado seria dimensionar o reservatório de água pluvial pelo método prático alemão e verificar o comportamento do volume adotado no tempo pelo método da simulação.



## REFERÊNCIAS

ACQUAVIDA. Caixas d'água – tabela. Disponível em: <[http://www.acquavida.com.br/caixas\\_d\\_agua\\_tabela.pdf](http://www.acquavida.com.br/caixas_d_agua_tabela.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2017

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15527**: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

AGSOLVE. Qual é o consumo ideal de água para uma pessoa por dia? Jun 2010. Disponível em: <<https://www.agsolve.com.br/noticias/qual-e-o-consumo-ideal-de-agua-para-uma-pessoa-por-dia>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2007. 123 p. Série Cadernos de Recursos Hídricos 2.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2009**. Brasília, DF: ANA, 2009. 204 p.

BEZERRA, Stella M. da C., et al. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010.

BRASIL, Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 de janeiro de 1997.

CURITIBA, Lei n. 10.785, de 18 de setembro de 2003. Cria no município de CURITIBA, o Programa De Conservação E Uso Racional Da Água Nas Edificações - PURAE. Palácio 29 de Março, Curitiba, PR, 18 de setembro de 2003.

GIACCHINI, Margolaine Utilização Da Água De Chuva Nas Edificações Industriais. ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 2., 2006. Ponta Grossa. Disponível em: <[http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng\\_civil/28%20UTILIZACAO%20DA%20AGUA%20CHUVA%20NAS%20EDIFICACOES%20INDUSTRIAS.pdf](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/28%20UTILIZACAO%20DA%20AGUA%20CHUVA%20NAS%20EDIFICACOES%20INDUSTRIAS.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2017.

GIACCHINI, Margolaine; FILHO, Alceu G. de A. Aproveitamento Da Água De Chuva Nas Edificações. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 23., 2005, Campo Grande. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/IV-056.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

GNADLINGER, João. Colheita De Água Da Chuva Em Áreas Rurais. In: FORUM MUNDIAL DE ÁGUA, 2., 2000, Haia. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br/files/ebooks/Colheita%20de%20%20%20gua%20de%20chuva-Gnadlinger%20WWF%202000.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2017

GOVERNO DO BRASIL. Governo entregou 35 mil cisternas no semiárido em 2016. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/10/governo-entregou-35-mil-cisternas-no-semiarido-em-2016>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

HidroWeb. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 04 mai. 2017.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E AGRÁRIO. Programa Cisternas. Disponível em: <<http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

RUPP, Ricardo F., et al. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 47-64, out.-dez. 2011.

SANEPAR. 2013. **Manual de Projeto Hidrossanitário**. 2013. 18 p.

SANEPAR. 2017. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/calor-aumenta-em-15-consumo-de-agua-em-toledo>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

SICKERMANN, Jack M. Gerenciamento Das Águas De Chuva – Imprescindível Para O Futuro Das Grandes Cidades Do Brasil. **Gerenciamento das águas pluviais nas cidades brasileiras – 4º Simpósio Brasileiro – ABCMAC**, Juazeiro - BA, 09 a 11 de jul. de 2003. Disponível em: <

[http://www.abcmac.org.br/files/simposio/4simp\\_jack\\_gerenciametodaaguadechuva.pdf](http://www.abcmac.org.br/files/simposio/4simp_jack_gerenciametodaaguadechuva.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2017.

SILVA, Fabiano C. DA, **Estudo Do Aproveitamento Da Água De Chuva Em Condomínio Residencial No Município De Itapoá – Sc.** 2014. 39 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3424/1/CT\\_CECONS\\_III%20\\_2014\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3424/1/CT_CECONS_III%20_2014_07.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2017.

SOUZA, Luiz Antonio F. de Determinação Do Volume Mínimo Do Reservatório De Água Da Chuva Utilizando Uma Formulação Incremental. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 186-196, dez 2014. Disponível em: <<http://www.revistaret.com.br/ojs-2.2.3/index.php/ret/article/view/309/308>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

TOLEDO, Lei n. 1.869, de 20 de novembro de 2003. Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de Toledo. Gabinete do Prefeito do Município de Toledo, PR, 20 de novembro de 2003.

TOMAZ, Plínio. Conceito de aproveitamento de água de chuva. In: \_\_\_\_\_. **Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis.** 2011a, cap.1, v. 1. p. 11-31. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)>. Acesso em: 23 de março de 2017.

TOMAZ, Plínio. Qualidade da água de chuva. In: \_\_\_\_\_. **Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis.** 2009, cap.2, v. 1. p. 32-65. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)>. Acesso em: 23 de março de 2017.

TOMAZ, Plínio. Método de Rippl. In: \_\_\_\_\_. **Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis.** 2011b, cap. 9, v. 1. p. 160-170. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)>. Acesso em: 23 de março de 2017.

TOMAZ, Plínio. Análise de simulação do reservatório e eficiência. In: \_\_\_\_\_. **Aproveitamento de Água de em Áreas Urbanas e para Fins Não Potáveis**. 2011c, cap. 11, v. 1. p. 329-355. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)>. Acesso em: 23 de março de 2017.

TOMAZ, Plínio. Métodos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva. In: \_\_\_\_\_. **Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Urbanas e para Fins Não Potáveis**. 2011d, cap. 22, v. 1. p. 208-213. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)>. Acesso em: 23 de março de 2017.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de Água de Chuva de Cobertura em Área Urbana para Fins Não Potáveis**. 2013. Disponível em: <<http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/143outubro2013.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

TORRES, Paulo. Sanepar explica crise da água à Câmara de Toledo. Toledo-PR, 3 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.toledo.pr.leg.br/assessoria-de-imprensa/noticias/sanepar-explica-crise-da-agua-a-camara>>. Acesso em: 23 de abril de 2017.

UNESCO. **Water for a sustainable World**. Itália, 2015. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Até 2030 planeta pode enfrentar déficit de água de até 40%, alerta relatório da ONU. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/ate-2030-planeta-pode-enfrentar-deficit-de-agua-de-ate-40-alerta-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 04 abr. 2017 as 13:29