

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

GABRIEL POSSENTI

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PLUVIAIS ATRAVÉS  
DE CURVAS ADIMENSIONAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO - PR

2018

GABRIEL POSSENTI

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PLUVIAIS ATRAVÉS DE  
CURVAS ADIMENSIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel, no curso de  
Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Alessandro  
Pansera

TOLEDO - PR

2018



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 156

## **DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PLUVIAIS ATRAVÉS DE CURVAS ADIMENSIONAIS**

por

**Gabriel Possenti**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15:50 h do dia **13 de Novembro de 2018** 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<sup>a</sup>. MSc Patricia Cristina Steffen  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Elmagno Catarino Santos Silva  
(UTFPR – TD)

---

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

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr Fulvio Natercio Feiber  
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por toda a iluminação, sabedoria e clareza de pensamento que me forneceu. Nas horas mais sombrias, quando a esperança era pouca e os problemas abundantes, mostrou-me o caminho a seguir, de modo que fui capaz de surpreender até a mim mesmo.

A meus queridos pais, que com paciência e ternura me proporcionaram uma base firme para conquistar meus objetivos. E junto com meus irmãos, ensinaram-me perseverança e resiliência para aguentar as inevitáveis pancadas da vida.

A minha namorada Anna Flávia, por seu carinho e doçura, que me trouxeram muita felicidade ao longo desses anos. Estamos juntos desde antes de iniciar esta graduação, e permanecemos juntos depois dela ter sido concluída, que esse companheirismo perdure por muitos anos.

Aos meus colegas, em especial a Eduardo, Marcelo e Lucas, por terem trilhado esse caminho comigo. Pela ajuda, brincadeiras, sucessos e falhas que partilhamos ao longo de todos esses anos. Que todos nós possamos encontrar o sucesso em breve.

Aos professores que tanto contribuíram para ampliar meus conhecimentos e preparar-me para a nova fase que se inicia. Em especial a meu orientador, por toda a paciência que demonstrou, e confiança que depositou em mim ao longo da elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

## RESUMO

Existe uma dualidade a que a água está sujeita atualmente. Apesar de serem conhecidos inúmeros usos para esse recurso, por muitas vezes ele não obtém a atenção e o cuidado que demanda. O desenvolvimento de grandes civilizações sempre esteve atrelado a água, evidenciando também seu valor econômico. Por esse e outros fatores o mundo vem, com o passar dos anos, prestando mais atenção a iminente falta hídrica, buscando métodos de economia e preservação das águas. É nesse cenário que o uso de reservatórios surge com força, como uma das maneiras mais eficazes de preservar a água, trazendo consigo economia do ponto de vista financeiro e demais benefícios como o auxílio no controle de enchentes. Reservatórios são, primeiramente, um investimento. Se sua propagação é desejada faz-se necessário que eles sejam os mais eficientes possíveis. O presente trabalho faz uso dos principais fatores que influenciam no tamanho de um reservatório (Demanda existente, área de captação, confiabilidade e chuva característica), condensando-os em uma curva adimensional que tem por objetivo melhorar a precisão e facilitar a escolha dos volumes de reservatórios para a região de Toledo – PR. Como forma de margear os resultados obtidos, é feita a comparação do método testado com métodos indicados pela NBR 15527:2007, que trata do aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

**Palavras-chave:** Reservatório. Curva adimensional. Precisão. Economia

## **ABSTRACT**

There is a duality to which water is currently subjected. Despite being known countless uses for this resource, for many times it doesn't get the attention and care it demands. The development of great civilizations has always been connected to water, also showing its economic value. By this and other factors the world has been, as the years goes by, paying more attention to the imminent lack of it, seeking methods to save and preserve water. It is in this scenario that the use of reservoirs rises with strength, as one of the most effective ways to preserve water, bringing along economy from the financial perspective and other benefits such as aid in flood control. Reservoirs are, primarily, an investment. If it's propagation is desired it is necessary that they become as effective as possible. This thesis makes use of the main factors that influence the size of a reservoir (existing demand, capitation area, reliability e characteristic rain), condensing them in a dimensionless curve which aims to improve accuracy and facilitate the choice of reservoir volumes for Toledo – PR region. As a way of hem the obtained results, a comparison is made between the tested method and the methods suggested by NBR 15527:2007, that deals with the use of coverages in urban areas for non-potable purposes.

**Keywords:** Reservoir. Dimensionless curve. Precision. Economy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de um sistema de coleta de águas pluviais.....	12
Figura 2 - Regime Pluviométrico de Toledo.....	18
Figura 3 - Curvas para 90% de confiabilidade.....	28
Figura 4 - Curvas para 95% de confiabilidade.....	30

## LISTA TABELAS

Tabela 1 - Volumes, custos e tempo de amortização para diferentes demandas.....	14
Tabela 2 - Economia gerada pela implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	14
Tabela 3 - Estação Pluviométrica Analisada.....	19
Tabela 4 - Demandas consideradas.....	24
Tabela 5 - Tabela comparativa entre métodos.....	33



## LISTA DE SÍMBOLOS

$S_{(t-1)}$ : Volume armazenado no tanque ao final do dia t-1 (L);

$S_{(t)}$  : Volume armazenado no tanque ao final do dia t (L);

$Q_{(t)}$ : Volume escoado do telhado para o tanque no dia t (L);

$D_{(t)}$  : Demanda total por água da chuva no dia t (L);

$C$ : Capacidade total do tanque (L);

$Re$ : Confiabilidade;

$P$  : É o número de dias em que o tanque não está vazio;

$N$ : É o número de dias em que existe demanda;

$Q$ : Escoamento diário (L);

$I_{eff}$ : Chuva efetiva diária (mm);

$C_R$ : Coeficiente de escoamento;

$A$ : Área do telhado conectada ao tanque (m<sup>2</sup>);

$H$ : Número de habitantes;

$\pi_1$  e  $\pi_2$ : São as variáveis adimensionais;

$\Delta$ : Representa uma relação média para as três áreas analisadas.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Geral .....	13
1.2.2 Específicos.....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 A ÁGUA ATUALMENTE .....	14
2.2 SISTEMAS DE COLETA DE ÁGUA DA CHUVA.....	15
2.3 QUESTÃO FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS .....	17
2.4.2 Método da Simulação.....	18
2.4.3 Método Azevedo Neto.....	18
2.4.4 Método Prático Alemão .....	19
2.4.6 Método Prático Australiano .....	20
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ANÁLISE.....	21
3.3 DISPOSIÇÕES INICIAIS .....	22
3.4 DETERMINAÇÃO DO VOLUME ESCOADO PELO TELHADO ( $Q$ ) .....	23
3.5 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA PLUVIAL ( $D$ ).....	24
3.5.1 Descarga de sanitários.....	24
3.5.2 Rega de jardim .....	25
3.5.4 Demandas consideradas.....	26
3.6 DERIVAÇÃO DE VARIÁVEIS ADIMENSIONAIS .....	27
3.7 CONSIDERAÇÕES FEITAS.....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>31</b>
4.1 CONFIABILIDADE DE 90%.....	31
4.2 CONFIABILIDADE DE 95%.....	33

4.3 COMPARAÇÃO COM OS MÉTODOS DA NBR 15527 .....	34
4.3.1 Comparação com o Método da Simulação .....	34
4.3.2 Comparação com o Método Azevedo Neto.....	34
4.4 TABELA COMPARATIVA.....	36
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A iminente escassez de recursos hídricos próprios para o consumo vem chamando a atenção do mundo. A oferta tende a permanecer constante ao longo do tempo, no entanto, devido ao crescimento populacional existe um aumento na demanda, resultando em menor quantidade *per capita*. Soma-se a isso uma parcela de água imprópria para consumo devido a uma poluição crescente.

Mesmo nos países em que a água é abundante existem problemas devido à sua distribuição espacial irregular. Um exemplo disso é a região Sudeste do Brasil, ela corresponde a 42,61% da população do país, mas contém menos de 6% da água doce de sua superfície (PORTAL BRASIL, 2010).

Uma das estratégias mais promissoras para aumentar a oferta de água é a utilização de reservatórios para captação da água pluvial. Sua implantação pode auxiliar moradores de regiões secas fornecendo uma reserva de água essencial à sua sobrevivência. Regiões densamente urbanizadas também podem fazer bom uso de reservatórios, visto que a água por eles armazenada contribui no combate às enchentes, resultantes da impermeabilização do solo dessas localidades.

Atualmente, utiliza-se muita água potável na realização de tarefas que não requerem tratamento, exemplos disso são a limpeza de pisos e tarefas como rega de jardim. A presença de reservatórios possibilita que a água proveniente da precipitação possa ser utilizada para esses fins, reduzindo o consumo de água potável pelas residências e conseqüentemente a pressão na rede de distribuição proveniente das concessionárias de água.

A falta de informação acerca dos benefícios gerados pela coleta de água pluvial desmotiva a população a implantar tais sistemas. Os métodos corriqueiramente utilizados foram desenvolvidos buscando ampla aplicabilidade e devido a isso os resultados obtidos por meio deles nem sempre fornecem a precisão esperada.

O presente estudo busca desenvolver uma metodologia que forneça o volume ótimo para reservatórios de coleta de água pluvial, levando em consideração a área de captação, a demanda existente, o regime pluvial característico e a confiabilidade desejada. Utilizando-se desses parâmetros será construída uma curva adimensional que irá aglomerar todas as variáveis que levam à tomada de decisão. O método será empregado na cidade de Toledo-PR e espera-se que os resultados por ele alcançados sejam mais precisos e representem o volume ótimo para os reservatórios da cidade.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

No município de Toledo-PR, a presença de reservatórios de captação de água pluvial e de estudos a esse respeito ainda é muito reduzida. Parte disso se deve aos métodos de dimensionamento utilizados. Alguns deles, como o Método Prático Inglês, requerem pouca informação para fornecer o volume dos reservatórios, levando à resultados insatisfatórios. Outros, como o Método Prático Australiano, exigem uma quantidade de dados muito elevada, desencorajando parte da população a aplicá-los.

Com esse estudo, busca-se encontrar uma curva adimensional que forneça o volume ótimo do reservatório, por meio dos principais parâmetros necessários para um bom dimensionamento. Ela representará em si a relação de interdependência das variáveis, e ao mesmo tempo, será uma metodologia simples de se utilizar.

O resultado disso está em concordância com os objetivos da lei 9433 de 1997, pois busca-se assegurar a necessária disponibilidade hídrica às futuras gerações, bem como promover a defesa contra eventos hidrológicos críticos, por meio de um maior incentivo à implantação de reservatórios de coleta de águas pluviais.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Obter curvas adimensionais capazes de fornecer o volume ótimo para reservatórios de água pluvial em Toledo-PR.

### 1.2.2 Específicos

- Determinar a quantia de água escoada para o reservatório;
- Determinar o volume da demanda não-potável existente;
- Encontrar as variáveis adimensionais necessárias;
- Construir a curva adimensional desejada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A ÁGUA ATUALMENTE

Grande parte do mundo enfrenta hoje o problema de escassez de recursos hídricos. O número de pessoas sem acesso a um valor seguro de água potável supera os 1,8 bilhões e, no campo, 8 em cada 10 pessoas nem mesmo têm acesso a ela. Em um futuro próximo, ano de 2050, é previsto que 4,8 bilhões de pessoas sofram com a falta de água (EBBESSEN, 2016).

É necessário também analisar os diversos propósitos da água. Libânio (2006) ressalta que sua conservação não deve ser vista apenas como puramente preservacionista, uma vez que a água é dotada de valor econômico e social e têm repercussões importantes nas atividades produtivas, na saúde pública e na manutenção do equilíbrio ambiental dos ecossistemas. Devendo prevalecer uma visão de longo prazo e mais ampla quanto ao papel da água no desenvolvimento sustentável das sociedades em geral.

A respeito do valor econômico que a água possui, Araújo, Gonçalves e Adame (2016) dizem que apesar de a água ser um bem utilizado na criação de praticamente todos os produtos, o valor econômico cobrado pela água atualmente é basicamente o utilizado para cobrir os custos de transporte e tratamento. Daqui a alguns anos, porém, o custo tende a aumentar conforme diminui sua disponibilidade, e visto que nenhuma economia pode se manter funcional sem a presença de recursos hídricos poderá haver falta desse bem para muitas pessoas.

O Brasil possui disponibilidade hídrica equivalente a 12% do cenário mundial, sendo que 6,5% dessa água doce está presente no território paranaense (PORTAL BRASIL, 2010). De acordo com a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar, 2014), a produção de água tratada da cidade de Toledo é aproximadamente 22 milhões de litros por dia, mas períodos de estiagem podem reduzir consideravelmente esse valor. Nos últimos anos a companhia vêm investindo na adequação do sistema de abastecimento visando reduzir desperdícios decorrentes de vazamentos. O gerente regional de Toledo, Fábio Leal Oliveira acrescenta que é vital a economia de água tratada por parte da população, garantindo-a em primeiro lugar para as necessidades básicas das pessoas como higiene e alimentação.

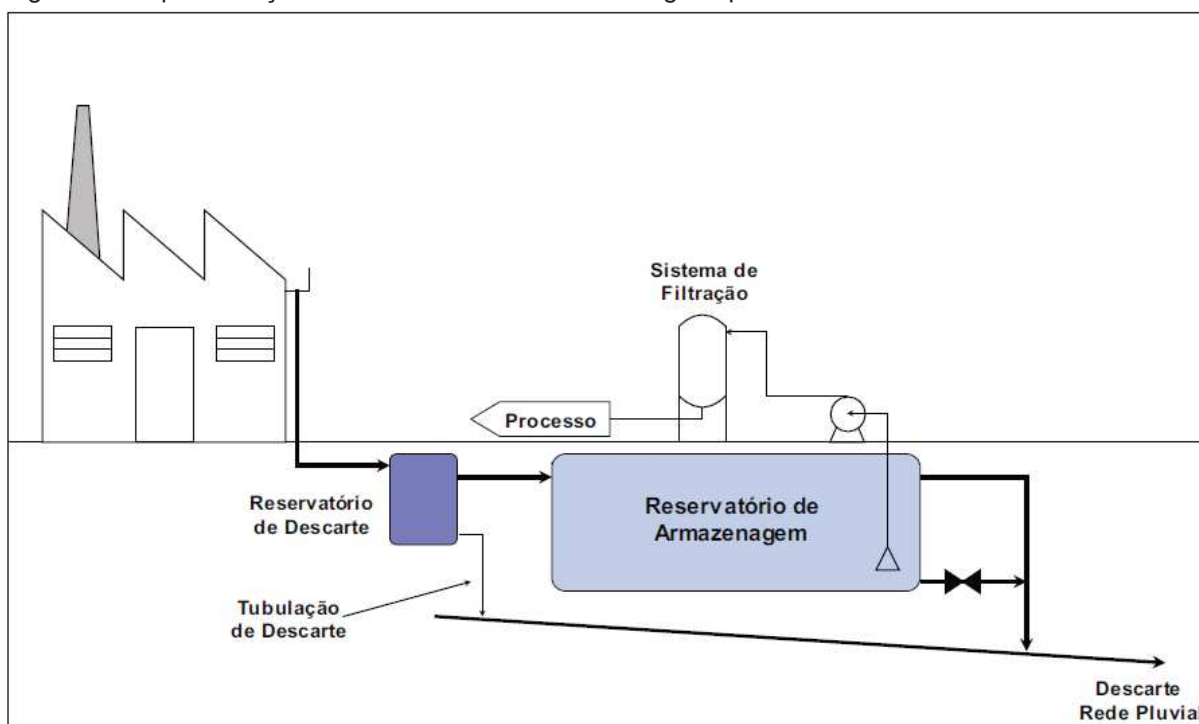
Segundo o disposto no Plano Municipal de Recursos Hídricos (PMRH, 2017) do município de Toledo, a demanda total de vazões será aproximadamente 2,5 vezes maior em 2036 do que foi em 2015, de modo a atender a taxa de crescimento de todos os setores presentes, como agropecuária e indústria.

## 2.2 SISTEMAS DE COLETA DE ÁGUA DA CHUVA

A implantação de sistemas e tecnologias de captação da água de origem pluvial nas regiões urbanas são proveitosas tanto para o aproveitamento e o consumo quanto para absorver as vazões excessivas que podem gerar problemas em outras localidades (BRASIL, 2006).

Indústrias também podem se beneficiar muito da captação da água pluvial por possuírem grandes áreas de cobertura para captação e terem por característica um elevado consumo de água, que em muitos casos não têm a necessidade de ser potável (MIERZWA et al., 2007). Um exemplo desses sistemas é o representado pela Figura 1.

Figura 1 - Representação de um sistema de coleta de águas pluviais



Fonte: (MIERZWA et al.,2007).

Nela, podemos ver o reservatório de descarte responsável por eliminar a água de pior qualidade, bem como a bomba responsável por recalcar a água armazenada para uma caixa d'água de cota mais elevada. Em alguns casos utiliza-se de filtros de modo a obter uma água ainda mais pura, requerida para determinados procedimentos.

Em um cenário de relativa escassez hídrica, torna-se recomendável a implementação de políticas públicas, objetivando a manutenção de níveis adequados de abastecimento de água potável. Uma possibilidade importante é o uso de água de chuva captada em edificações residenciais com o propósito de suprir as demandas não potáveis de água em domicílios (CHAIB et al., 2015).

Em relação a incentivos governamentais Khastagir e Jayasuriya (2010) citam o exemplo dado pelo estado australiano de Victoria, que em 2002 aprovou uma emenda ao Ato da Água (1989), que garante aos proprietários de sistemas de coleta o uso irrestrito da água da chuva para propósitos domésticos, de modo a economizar dinheiro e preservar os recursos hídricos. Além disso, foram investidos 10 milhões de dólares ao longo de 4 anos no provimento de incentivos aos poupadores de água que se encontram ligados à rede de abastecimento público.

Os sistemas de captação de águas pluviais também demonstram seus benefícios em situações como as descritas em Brasil (2006), onde a impermeabilização do solo é algo presente em praticamente todas as grandes cidades, trazendo por consequência a incidência de alagamentos quando da ocorrência de chuvas de elevada intensidade. Em suma, águas pluviais que poderiam auxiliar na redução da demanda de água potável acabam por tornarem-se uma ameaça à população, que deseja livrar-se delas tão rápido quanto possível de modo a evitar danos. É vital ainda, analisar o amortecimento proveniente da instalação de reservatórios no que tange aos efeitos causados a jusante da retenção, verificando como procede a transferência desse excesso de água as localidades consecutivas.

Seguindo o mesmo raciocínio, Pelak e Porporato (2016) dizem que sistemas de coleta de água podem aliviar a pressão em dutos de águas públicas e reduzir as enchentes causadas por chuvas torrenciais, além disso a água de chuva coletada pode ser utilizada para aplicações não potáveis como é o caso de lavagem de automóveis e descargas em banheiros. Usos como água potável são menos comuns devido ao custo dos tratamentos que devem ser efetuados.



## 2.3 QUESTÃO FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Em relação à questão financeira dos reservatórios de águas pluviais Mierzwa et al. (2007) adotou uma metodologia que consiste em relacionar o investimento inicial com a economia gerada pela redução no consumo de água proveniente da concessionária. O resultado disso é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Volumes, custos e tempo de amortização para diferentes demandas

Demanda (m <sup>3</sup> /s)	Reservatório (m <sup>3</sup> )	Volume Economizado (m <sup>3</sup> /ano)	Custo do Sistema (R\$)	Economia (R\$/ano)	Tempo de Amortização (ano)
60	300	12187	175313	71903	2,44
80	300	13738	175313	81054	2,16
100	300	14430	175313	85137	2,06

Fonte: Adaptado de Mierzwa et al. (2007).

Os valores obtidos por Mierzwa, et al. (2007) demonstram a importância de se chegar ao volume ótimo do reservatório, visto que quando a demanda não potável é condizente com o volume de reservatório de águas pluviais estipulado, o tempo de amortização é reduzido, representando um melhor custo-benefício do sistema.

De maneira similar Lima, Nunes e Silva (2017) realizaram uma análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em uma escola, onde apresentam um comparativo entre o uso de água pluvial na realização de tarefas não potáveis e o custo médio da conta de água no cenário atual. O resultado pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Economia gerada pela implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

	Consumo médio mensal de água potável (m <sup>3</sup> )	Custo médio mensal (R\$)	Custo médio anual (R\$)	Economia mensal (R\$)	Economia anual (R\$)
Sem aproveitamento de água pluvial	111	864,99	10379,88	–	–
Com aproveitamento de água pluvial	44,86	333,22	3998,69	531,77	6381,24

Fonte: Adaptado de Lima, Nunes e Silva (2007).

Os autores concluem que devido ao custo de implementação do sistema corresponder a R\$ 38715,48 o tempo de amortização do investimento resultará em 6 anos e 25 dias.

## 2.4 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS

Existem variados métodos de cálculos para dimensionamento de reservatórios, a NBR 15527 (ABNT, 2007) aponta os Métodos de Rippl, Simulação, Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Prático Australiano, visando a obtenção de melhores resultados em diversos cenários.

### 2.4.1 Método de Rippl

Utiliza-se das séries históricas mensais ou diárias de precipitação, de acordo com Plínio Tomaz (2011) esse método é o mais comumente utilizado pela facilidade e simplicidade de sua aplicação. Com frequência é feito uso de séries sintéticas estabelecidas com base na série histórica visando redução da dificuldade dos cálculos. Ainda, é destacado que esse método apresenta o valor extremo do volume do reservatório, sendo normalmente utilizado para obtenção de uma referência máxima de volume.

### 2.4.2 Método da Simulação

Cohim, Garcia e Kiperstok (2008), dizem que o método da simulação parte de volumes de reservatórios pré-determinados para a realização do balanço hídrico. Segundo Tomaz (2005), é usual utilizar-se de um período de um mês e o tamanho do reservatório é escolhido arbitrariamente. Conforme o disposto na NBR 15527 (ABNT, 2007) o método da simulação consiste em aplicar a equação da continuidade a um reservatório finito. Além disso a Norma Brasileira cita 2 hipóteses que devem ser atendidas, no início da contagem do tempo “t” o reservatório é tido como cheio, e os dados históricos são representativos para as condições futuras. Este método foi usado como base na obtenção das curvas adimensionais, tendo suas formulações especificadas no item 3.3.

### 2.4.3 Método Azevedo Neto

Descrito na NBR 15527 (ABNT, 2007), esse método, segundo o exposto por Rupp, Munarim e Ghisi (2011), também é conhecido como método Prático Brasileiro,

resulta em reservatórios superdimensionados. Apesar de sua equação exigir o número de meses de pouca chuva ou seca não é exemplificado o método pelo qual se obtêm esse número. Rupp, Munarim e Ghisi (2011) consideraram em seus estudos meses de pouca chuva, aqueles que possuem uma precipitação igual ou inferior a 80% da precipitação média mensal. Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), a formulação desse método é disposta a seguir:

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

Em que:

*P*: É o valor numérico da precipitação média anual (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 (m<sup>2</sup>);

*V*: É o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, em litros (L);

#### 2.4.4 Método Prático Alemão

De acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011) o método Prático Alemão fornece volumes de reservatórios inferiores quando comparado aos métodos de Rippl e Azevedo Neto, não variando em função da área de captação, mas em função da demanda de água pluvial. Esse método é facilmente aplicável por depender apenas dos valores de volume de água pluvial anual e demanda anual de água pluvial, porém em situações de baixa precipitação o método Prático Alemão tende a subdimensionar os reservatórios. Conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007), toma-se o menor valor de volume do reservatório sendo ele 6% do volume anual de precipitação aproveitável ou 6% do volume anual de consumo. A formulação desse método é disposta a seguir:

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V; D) \times 0,06$$

Em que:

*V*: É o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual (L);

*D*: É o valor numérico da demanda anual da água não potável (L);

*V<sub>adotado</sub>*: é o valor numérico do volume de água do reservatório (L);

#### 2.4.5 Método Prático Inglês

Rupp, Munarim e Ghisi (2011) afirmam que o método Prático Inglês costuma resultar em reservatórios superdimensionados e uma das razões para isso é que esse método é independente da demanda de água pluvial, dependendo apenas da área de captação e da precipitação. Assim sendo, quanto maior a precipitação da cidade, maior o volume do reservatório obtido por esse método. Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), a formulação desse método é disposta a seguir:

$$V = 0,05 . P . A$$

Em que:

*V*: É o valor numérico do volume de água da cisterna (L);

*P*: É o valor numérico da precipitação média anual (mm);

*A*: É o valor numérico da área de coleta em projeção (m<sup>2</sup>);

#### 2.4.6 Método Prático Australiano

Conforme Lopes, Júnior e Miranda (2015) o método Prático Australiano encontra o volume do reservatório analisando a chuva total do mês, relacionando-a com a demanda mensal e destaca-se com relação aos outros métodos por obter valores mais criteriosos, normalmente fornecendo o melhor volume de reservatório em termos do potencial de economia de água potável. Conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007) são realizadas tentativas para o cálculo do volume do reservatório até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do mesmo. Com relação à confiança do reservatório a NBR 15527 (ABNT, 2007) recomenda que ela esteja entre 90% e 99%.

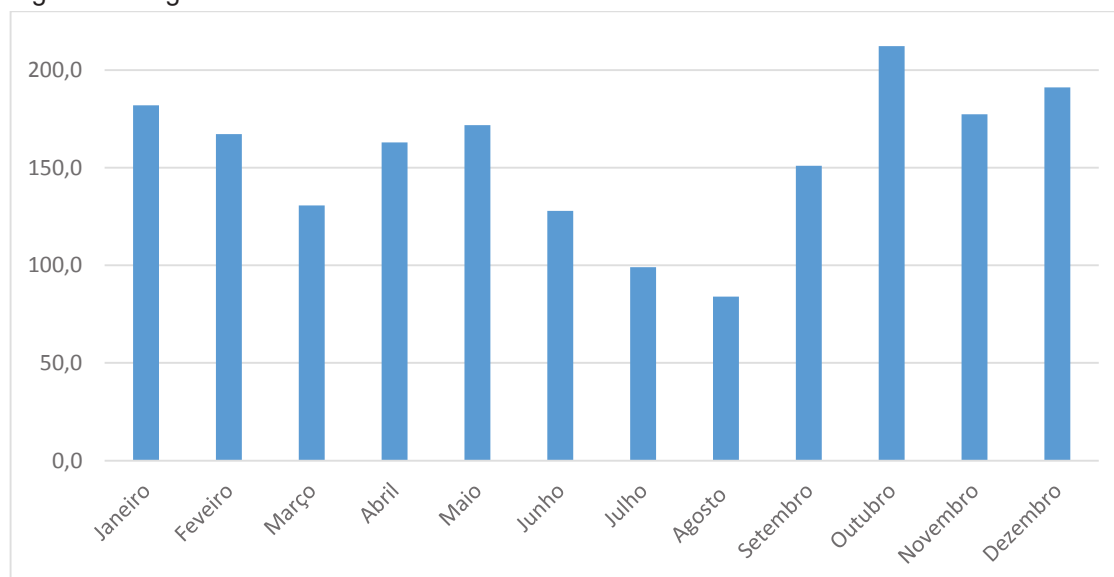
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ANÁLISE

A área selecionada para o estudo é a cidade de Toledo-PR, localizada na porção oeste do estado do Paraná. Segundo Freitas (Infoescola, 2018), essa região tem um clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação Köppen-Geiger. De acordo com o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2018) a temperatura média histórica anual situa-se entre 20 e 21°.

O regime pluviométrico do Paraná é fortemente influenciado pelas massas de ar, segundo Azeredo (educação.geografia, 2015) existe ação das massas de ar Tropical Atlântica, Polar Atlântica e Equatorial Continental. A massa Equatorial Continental provém da região Amazônica, é quente e úmida e age mais no verão, a Polar Atlântica provém da parcela sul do oceano Atlântico, é fria e úmida e age mais no inverno. Tem-se então a precipitação mensal média de Toledo-PR, segundo os últimos 33 anos da estação Toledo, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Regime Pluviométrico de Toledo



Fonte: O autor (2018)

O valor precipitado varia pouco ao longo dos meses, permanecendo em torno de 95 milímetros, isso se deve à grande presença de umidade proveniente das massas de ar que permanecem sobre a região tanto no verão como no inverno.

### 3.2 DADOS UTILIZADOS

Tendo em mente que o estudo em questão está intrinsicamente ligado à precipitação, é necessário o conhecimento do regime pluviométrico da cidade de Toledo, para isso faz-se uso de uma estação pluviométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) chamada Toledo conforme descrita pela Tabela 3. Essa estação foi selecionada por apresentar muito mais anos de medição em relação às demais, fornecendo valores médios mais confiáveis.

Tabela 3 – Estação Pluviométrica Analisada

ESTAÇÃO	CÓDIGO	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	INÍCIO	RESPONSÁVEL
TOLEDO	2453059	-24,733333	-53,716667	Abr. - 1979	AGUASPARANÁ

Fonte: Hidroweb (SNIRH, 2018).

### 3.3 DISPOSIÇÕES INICIAIS

Para a realização desse estudo utiliza-se da metodologia proposta por Khastagir e Jayasuriya (2009), onde o cálculo do volume do reservatório é inicialmente feito por um balanço de água diário, que leva em conta a intensidade e a frequência das precipitações em conjunto com a demanda existente. O tanque é considerado fechado, devido a isso não há parcela referente à evaporação. Foi escolhido o período diário de análise em detrimento do mensal ou anual visando garantir a máxima confiabilidade possível de atendimento à demanda, resultando na Equação (1), que segue a recomendação da Equação (2).

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

$$0 \leq S_{(t-1)} \leq C \quad (2)$$

Em que:

$S_{(t-1)}$ : Volume armazenado no tanque ao final do dia t-1 (L);

$S_{(t)}$ : Volume armazenado no tanque ao final do dia t (L);

$Q_{(t)}$ : Volume escoado do telhado para o tanque no dia t (L);

$D_{(t)}$ : Demanda total por água da chuva no dia t (L);

$C$ : Capacidade total do tanque (L).

Inicialmente supõe-se um volume para o tanque, se a confiabilidade proposta não é atingida, é proposto um novo volume de armazenamento. Esse procedimento é repetido até que o volume assumido forneça a confiabilidade desejada. A confiabilidade é calculada pela Equação (3).

$$Re = \frac{P}{N} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que  $P$  é o número de dias em que o tanque não está vazio e  $N$  como o número de dias em que existe demanda. A quantia de uso da água é calculada conforme a Equação (4), onde  $D$  é a demanda diária não potável.

$$Uso = D \cdot P \quad (4)$$

O volume armazenado  $S_{(t)}$  não pode ser superior à capacidade  $C$  do tanque, caso isso ocorra o excesso é extravasado e o volume presente será considerado como  $C$ . A quantia extravasada no dia ( $t$ ) é dada pela Equação (5).

$$V_{extravasado} = S_{(t)} - C \quad (5)$$

### 3.4 DETERMINAÇÃO DO VOLUME ESCOADO PELO TELHADO ( $Q$ )

O volume escoado do telhado para o tanque é obtido pela Equação (6).

$$Q = I_{eff} \cdot C_R \cdot A \quad (6)$$

Em que:

$Q$ : Escoamento diário (L);

$I_{eff}$ : Chuva efetiva diária (mm);

$C_R$ : Coeficiente de escoamento;

$A$ : Área do telhado conectada ao tanque (m<sup>2</sup>)

O coeficiente de escoamento utilizado deve refletir o efeito da infiltração e da evaporação da água no telhado. É necessário levar em conta que a parcela inicial do escoamento é de má qualidade visto que traz consigo sedimentos, poeira e excrementos de pequenos animais que se encontram presentes no telhado. Deve-se então, descartar essa primeira parcela visando manter um melhor nível de qualidade para a água pluvial armazenada. Para a quantia de água descartada utiliza-se o valor de 2 mm a partir do início das chuvas, seguindo o proposto pela NBR 15527 (2007). Assim, para o cálculo da chuva diária utiliza-se a Equação (7).

$$I_{eff} = Chuva\ diária - descarte \quad (7)$$

### 3.5 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA PLUVIAL ( $D$ )

Para chegar à demanda de água pluvial é preciso elencar onde ela será utilizada. Normalmente águas vindas de precipitação podem ser usadas para fins não potáveis como descargas de sanitários, sistemas de água quente, lavagem de roupas e para regar o jardim. Para a região de Toledo será considerado o uso para regar o jardim, lavar as calçadas e para descarga de sanitários. Assim, para descrever a demanda tem-se a Equação (8).

$$D = \Sigma D_e \cdot H \quad (8)$$

Em que:

$D$ : É a demanda por água pluvial (L/dia);

$\Sigma D_e$ : É o somatório das demandas especificadas (L/(hab.dia));

$H$ : É a quantia de habitantes da residência (hab).

#### 3.5.1 Descarga de sanitários

A água utilizada na descarga de sanitários equivale a grande parte do consumo hídrico de uma residência. Em um estudo realizado por Thackray, Cocker e Archibald (1978) nas cidades inglesas de Malvern e Mansfield, pode-se observar que as



descargas de bacias sanitárias podem corresponder a 33,6% do volume de água consumido em um ambiente doméstico, considerando-se que cada habitante utiliza 33 litros diários para esse fim. De modo semelhante, Pedroso (2009) realizou uma pesquisa de consumo no Brasil, onde as descargas de bacias sanitárias equivalem a 27% do volume hídrico total consumido, considerando-se que cada habitante utiliza 43 litros diários para esse fim.

O consumo varia de local para local, de pessoa para pessoa e até mesmo entre aparelhos, sendo distintos os consumos entre bacias sanitárias com válvula de descarga e bacias sanitárias com caixa acoplada. Buscando uma padronização para esse último fator, optou-se por analisar as bacias com válvula de descarga por serem mais comumente encontradas. Em um estudo realizado na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), foi obtido um volume médio de 7,19 litros para cada uso desse tipo de bacia (BARRETO, 20018).

Quanto a frequência de uso das descargas de bacias sanitárias, Tomaz (2009) expõe que usualmente elas são utilizadas de 4 a 6 vezes por cada habitante ao longo de um dia.

### 3.5.2 Rega de jardim

O consumo oriundo da rega de jardim varia conforme a temperatura, vegetação, área a ser regada, frequência de rega e umidade atmosférica. Na análise realizada em uma escola de Recife-PE, Lima, Nunes e Silva (2017) constataram que regando o jardim 8 vezes por mês o consumo hídrico mensal para essa atividade era de 2,45 m<sup>3</sup>. Sabendo-se que a área regada equivale a 152,88 m<sup>2</sup> encontramos um valor aproximado de 2 litros de água para cada m<sup>2</sup> regado em cada uma das vezes em que a rega é efetuada. Esse valor é coerente segundo o apresentado por Tomaz (2009) que também adota a mesma quantia quando a vegetação em questão é relva.

Nascimento e Sant'Ana (2014) trazem valores entre 1,6 e 3,5 litros por metro quadrado e por dia de rega, provando que os fatores inicialmente citados exercem grande influência.

### 3.5.3 Lavagem de pisos e automóveis

Limpeza de pisos externos e lavagem de automóveis são atividades que podem ser realizadas se utilizando de água não-potável, sem acarretar prejuízos ao resultado final esperado. Existem diferentes meios de se realizar essas tarefas, como o auxílio de mangueiras, máquinas de pressão ou baldes, com diferenças de consumo elevadas entre eles.

Temos por exemplo o estudo feito em residências do município de Ilha Solteira-SP, por Camacho et al. (2007), onde foi constatado que se utilizando de mangueira, o tempo de lavagem médio foi de 12,25 minutos resultando num consumo de 244,75 litros de água. Segundo o averiguado por Lima, Nunes e Silva (2017), a lavagem de um piso com 431,31 m<sup>2</sup> de área consome cerca de 632,33 litros, resultando em um valor aproximado de 1,5 litros gastos a cada m<sup>2</sup> de piso.

Utilizando-se esse fator de consumo para o primeiro caso temos que as residências unifamiliares (área de piso externo  $\leq 50^2$ ) gastariam cerca de 75 litros por lavagem, valor muito inferior aos 244,75 litros encontrados pelo uso de mangueiras.

Outro fator a se levar em conta é o tipo de piso utilizado, sendo que quanto mais áspero ele é, maior é o consumo hídrico para sua limpeza. Em seu estudo, por exemplo, Nascimento e Sant'Ana (2014) averiguaram que pisos de cozinha consomem em média 1,1 litros por m<sup>2</sup> por dia de lavagem.

Para lavagem de automóveis Tomaz (2009) considera o gasto de 150 litros por lavagem, bem como uma frequência usual de lavagem de 4 vezes mensais.

### 3.5.4 Demandas consideradas

Levando em conta todos os parâmetros anteriormente citados, optou-se por considerar o valor médio de 5 descargas diárias por habitante, 2 litros de água para cada m<sup>2</sup> regado devido ao clima característico da nossa região e o consumo de 1,5 litros por m<sup>2</sup> de piso lavado devido a rugosidade característica dos pisos utilizados em áreas externas. Montou-se então a Tabela 4 com as demandas consideradas nesse estudo. O Número de habitantes e o dia apresentado no denominador são variáveis conforme o caso ou os hábitos dos moradores da residência analisada, garantindo que o método possa se moldar a qualquer caso.

Tabela 4 - Demandas consideradas

<b>Descarga de sanitários</b>	<b>Rega de jardim</b>	<b>Lavagem de pisos</b>	<b>Lavagem de automóveis</b>
$\frac{36 \text{ Litros}}{\text{dia. habitantes}}$	$\frac{2 \text{ Litros}}{\text{m}^2. \text{dia}}$	$\frac{1,5 \text{ Litros}}{\text{m}^2. \text{dia}}$	$\frac{150 \text{ Litros}}{\text{automóvel. dia}}$

Fonte: O autor (2018)

### 3.6 DERIVAÇÃO DE VARIÁVEIS ADIMENSIONAIS

Quando se deseja encontrar variáveis adimensionais o primeiro passo é definir qual conjunto de unidades básicas se deseja usar. Nesse estudo utiliza-se o recomendado pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), que para as variáveis estudadas utiliza-se da base FLT e MLT onde L representa a grandeza física comprimento e T a grandeza física tempo. Os parâmetros que serão considerados na obtenção das variáveis adimensionais são os seguintes:

- Média de chuva anual ( $R$ ), L/T;
- Área de telhado ( $A$ ), L<sup>2</sup>;
- Demanda anual de água ( $D$ ), L/T;
- Capacidade do tanque ( $C$ ) L<sup>3</sup>;
- Confiabilidade ( $Re$ ), % (adimensional).

Visando reduzir o número de variáveis independentes utiliza-se o teorema  $\pi$  de Vaschy-Buckingham. Esse teorema consiste em obter variáveis adimensionais, os chamados ( $\pi$ ), utilizando as variáveis relacionadas e as grandezas físicas fundamentais que as compõe. O número de variáveis adimensionais que podem ser obtidas é dado pela Equação (9).

$$N_{\pi} = n - r \quad (9)$$

Em que:

$N_{\pi}$ : É o número de variáveis adimensionais que podem ser obtidas;

$n$ : É o número de variáveis relacionadas;

$r$ : É o número de grandezas físicas fundamentais envolvidas.

Tem-se então 4 variáveis relacionadas e 2 grandezas físicas fundamentais envolvidas e através do teorema de Vaschy-Buckingham sabe-se que podem ser encontradas 2 variáveis adimensionais  $\pi_1$  e  $\pi_2$ .

De acordo com Crowe et al. (2007) existem duas maneiras de se realizar a análise adimensional, o método passo a passo e o método exponencial. Será utilizado o método exponencial, que consiste em resolver equações simultaneamente após identificar as variáveis de interesse. As equações em questão provêm da exigência de homogeneidade dimensional que deve estar presente em  $\pi_1$  e  $\pi_2$ .

Primeiramente temos que a capacidade do tanque é obtida em função da confiabilidade que já é um adimensional por si só e dos demais fatores mostrados na Equação (10).

$$C = f(R, A, D) \quad (10)$$

Como o nome sugere o método exponencial encontra as variáveis adimensionais por meio dos expoentes. Para isso adotamos os expoentes a, b e c para a média de chuva anual, área de telhado e demanda anual de água, respectivamente, como demonstrado na Equação (11).

$$C = R^a \cdot A^b \cdot D^c \quad (11)$$

O método então diz para trabalhar com cada variável relacionada em função de suas grandezas físicas fundamentais, utilizando-se dos expoentes que foram atribuídos a cada uma como pode ser visto na Equação (12) que resulta na Equação (13).

$$L^3 = \left[\frac{L}{T}\right]^a \cdot [L^2]^b \cdot \left[\frac{L}{T}\right]^c \quad (12)$$

$$L^3 = \frac{L^{a+2b+c}}{T^{a+c}} \quad (13)$$

Monta-se então a Equação (14) e a Equação (15) que serão resolvidas pelos expoentes para cada variável relacionada.

$$L: a + 2b + c = 3 \quad (14)$$

$$T: a + c = 0 \quad (15)$$

Pela Equação (15) sabe-se que  $(a = -c)$ . Utilizando essa informação na Equação (14) descobre-se que  $b = 3/2$ . Retorna-se então à Equação (11) substituindo os expoentes encontrados e obtendo a forma simplificada representada pela Equação (16).

$$C = R^{-c} \cdot A^{3/2} \cdot D^c \quad C = A^{3/2} \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^c \quad \frac{C}{A^{3/2}} = \frac{D}{R} \quad (16)$$

Por fim encontramos as variáveis adimensionais  $\pi_1$  e  $\pi_2$ , sendo:

$$\pi_1 = \frac{C}{A^{3/2}} \quad \pi_2 = \frac{D}{R} \quad \pi_3 = R_e$$

### 3.7 CONSIDERAÇÕES FEITAS

As demandas utilizadas em seguida na obtenção das curvas, são provenientes de combinações entre os valores apresentados na Tabela 4 do item 3.5.4, levando em conta diferentes arranjos familiares e hábitos dos moradores.

Utilizaram-se as equações e metodologias descritas no capítulo 3 para encontrar curvas gerais e adimensionais capazes de fornecer o tamanho ótimo do tanque utilizando-se do mínimo de parâmetros possíveis. O formato geral das curvas é dado pela Equação (17).

$$Y = a \cdot e^{bX} \quad (17)$$

Em que:

$a$  e  $b$ : Constantes empíricas;

$Y$ : Variável adimensional  $\pi_1$ .

$X$ : Variável adimensional  $\pi_2$ .

Visando englobar uma maior variedade de casos optou-se por construir várias curvas, cada qual referente a uma área pré-fixada. Escolheu-se os valores de 75, 100, 125 e 150 metros quadrados uma vez que a maioria das residências possui sua área de telhado dentro desse intervalo. Frisa-se que mais valores podem ser adotados conforme a necessidade.

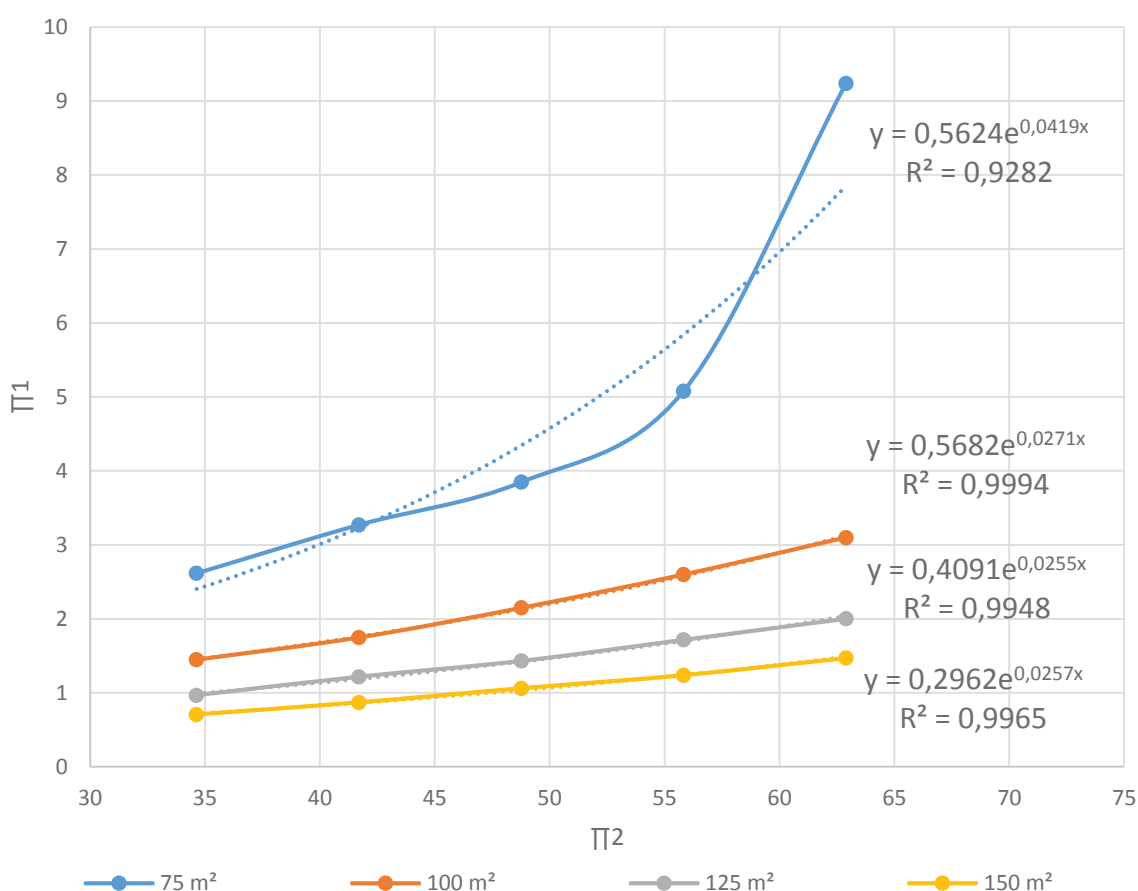
As curvas são construídas tendo por base uma confiabilidade a ser alcançada pelos reservatórios resultantes. Nesse estudo optou-se por construí-las sobre as confiabilidades de 90 e 95%, de modo que se situem entre os valores recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CONFIABILIDADE DE 90%

Para a confiabilidade de 90% os resultados obtidos são demonstrados pela Figura 3, acompanhados das respectivas curvas adimensionais e do coeficiente de determinação  $R^2$  que avalia a qualidade com que o modelo foi capaz de explicar os dados coletados.

Figura 3 - Curvas para 90% de confiabilidade



Fonte: O autor (2018)

Em seu artigo, Khastagir e Jayasuriya (2009) aplicam o método de curvas adimensionais apenas para áreas iguais superiores a 100 m<sup>2</sup>, onde ele se adequa melhor. Ao visualizar-se a Figura 3 percebe-se uma discrepância entre as curvas de 75 metros quadrados e as demais, tanto na questão dos valores obtidos para  $\pi_1$  quanto no coeficiente de determinação  $R^2$ . Prova-se então que o método não fornece

volumes confiáveis para áreas reduzidas, como mostrado pelo valor de  $R^2$ , mas ajusta-se bem para áreas iguais ou superiores a  $100 \text{ m}^2$ , como disposto anteriormente.

De modo a facilitar a comparação os gráficos foram construídos com os mesmos valores e variações na demanda, assim fica claro o impacto da área de captação no volume obtido para o reservatório. Como exemplo, compara-se os volumes de reservatório resultantes para uma área de captação de  $75 \text{ m}^2$  e  $100 \text{ m}^2$  para a mesma demanda de 212 litros por dia. O processo é exemplificado a seguir onde é utilizada a Equação (18) obtida para a área de  $75 \text{ m}^2$  e para os valores de  $\pi_1$  e  $\pi_2$  desse caso.

$$\pi_1 = \frac{C}{75^{3/2}} \quad \pi_2 = \frac{365.212}{1857} \quad y = 0,5624 \cdot e^{0,0419x}$$

$$\frac{C}{75^{3/2}} = 0,5624 \cdot e^{0,0419 \frac{365.212}{1857}} \quad (18)$$

Resolvendo a Equação (18) encontra-se um volume de 2093,59 litros para o reservatório. De maneira análoga utiliza-se da equação obtida para a área de  $100 \text{ m}^2$  e encontra-se um volume de 1757,62 litros. Percebe-se então uma relação, onde um aumento na área de captação implica na redução do volume do reservatório para uma mesma demanda e dados de chuva.

No entanto, essa relação não prossegue de maneira linear, quanto mais se aumenta a demanda, mais rapidamente cresce o volume de reservatório exigido para áreas menores em relação às maiores. Como exemplo, se aplicarmos o método descrito anteriormente para as áreas de captação de  $75 \text{ m}^2$  e  $100 \text{ m}^2$  com uma demanda de 320 litros por dia, obtemos volumes de reservatório de 5095,33 e 3124,36 litros para  $75$  e  $100 \text{ m}^2$  respectivamente, uma diferença muito maior que a encontrada no exemplo anterior.

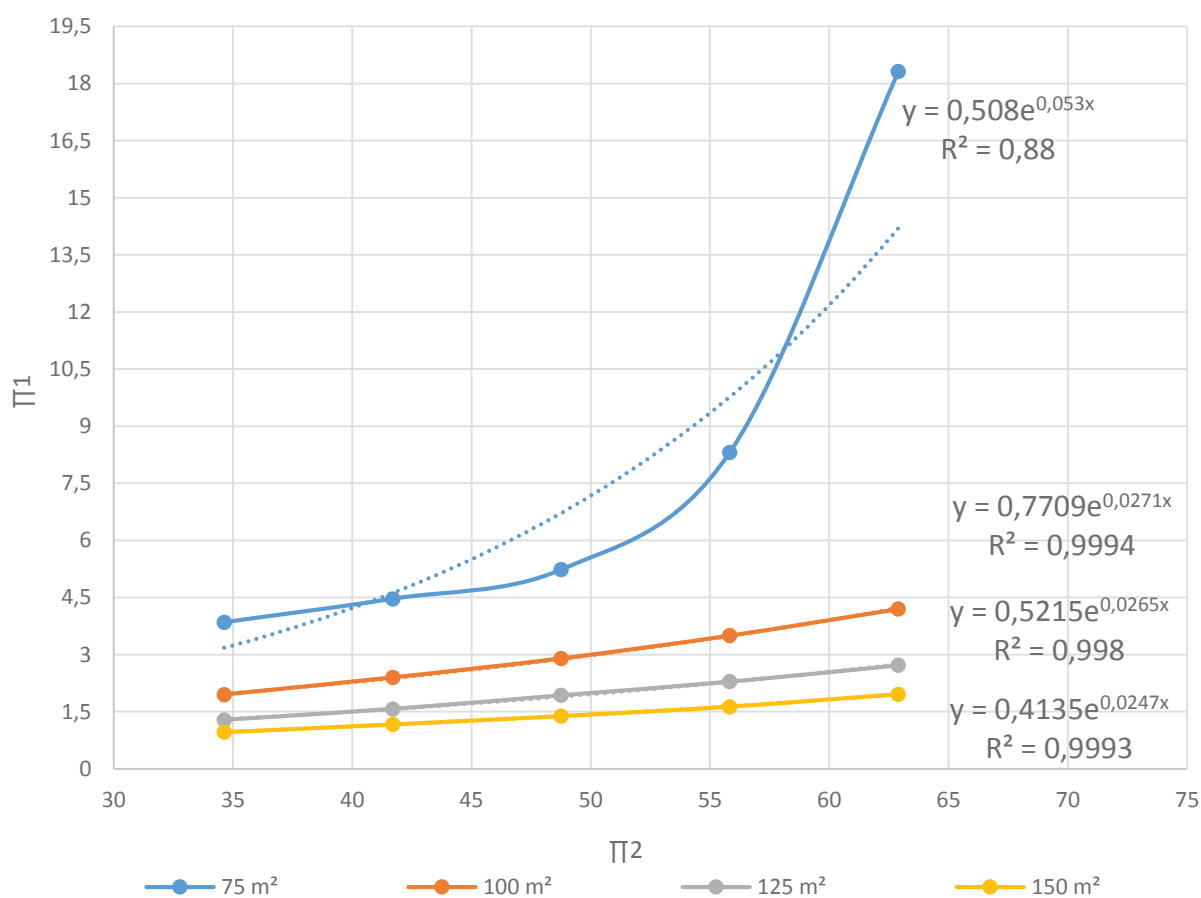
Para efeito de comparação vamos realizar os mesmos exemplos que foram utilizados para a confiabilidade de 90% na confiabilidade de 95%, verificando a influência desse parâmetro no volume total obtido. Lembra-se que nos gráficos gerados para o segundo caso os valores e variações da demanda também foram mantidos.



## 4.2 CONFIABILIDADE DE 95%

Para a confiabilidade de 95% os resultados obtidos são demonstrados pela Figura 4, acompanhados das respectivas curvas adimensionais e também do coeficiente de determinação  $R^2$ .

Figura 4 - Curvas para 95% de confiabilidade



Fonte: O autor (2018)

Tendo novamente as áreas de captação de 75 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup> para a mesma demanda de 212 litros por dia, mas dessa vez utilizando as curvas adimensionais resultantes da confiabilidade de 95%, encontramos os volumes de reservatórios de 3003,20 e 2384,63 litros respectivamente, uma diferença consideravelmente superior a encontrada para a confiabilidade de 90%. Percebe-se então que a exigência gerada

por uma maior confiabilidade aumenta a discrepância de volumes para diferentes áreas de captação.

Quanto maior a confiabilidade que se visa obter, maior a perda de linearidade entre volumes obtidos. Como prova aplicamos novamente a demanda de 320 litros por dia nas áreas de captação de 75 e 100 m<sup>2</sup> através de suas respectivas curvas adimensionais, obtendo volumes de reservatório de 9251,19 litros e 4238,95 respectivamente. Ou seja, uma diferença de mais de 5000 litros para a confiabilidade de 95% onde havíamos encontrado menos de 2000 litros na confiabilidade de 90%.

O fato que leva o valor de  $R^2$  a ser consideravelmente menor na curva da menor área escolhida é que a medida que a área de captação é reduzida, as chuvas são menos aproveitadas. Existe um balanço entre as variáveis na obtenção de um volume para um dado reservatório, a medida que um parâmetro se reduz demasiado, o outro necessita elevar-se também em grande proporção para preservar esse balanço. Nesse caso o armazenamento nos períodos de maior precipitação é mais exigido trazendo por consequência volumes exagerados.

#### 4.3 COMPARAÇÃO COM OS MÉTODOS DA NBR 15527

##### 4.3.1 Comparação com o Método da Simulação

O método da Simulação foi utilizado como base na construção das curvas adimensionais. Devido a isso, em grande parte os dois métodos resultam em valores muito próximos de volume para os reservatórios. Como destaque pode-se citar novamente o exemplo da área de 75 m<sup>2</sup>, confiabilidade de 95% e demanda de 320 litros por dia, enquanto a curva adimensional retorna um valor de 9251,19 litros o método da simulação fornece o volume de 11900 litros.

##### 4.3.2 Comparação com o Método Azevedo Neto

Citando o item 2.4.3 deste trabalho: Apesar de sua equação exigir o número de meses de pouca chuva ou seca não é exemplificado o método pelo qual se obtêm esse número. Rupp, Munarim e Ghisi (2011) consideraram em seus estudos meses de pouca chuva, aqueles que possuem uma precipitação igual ou inferior a 80% da precipitação média mensal.

Tendo em mente que a precipitação anual média é 1857 mm, temos uma precipitação média mensal de 154,75 mm, sendo que 80% desse valor equivale a 123,8 mm. Segundo os dados coletados na Estação Toledo, apenas 2 meses se encaixam abaixo desse valor, julho e agosto. Temos por fim, para o exemplo de uma área de 150 m<sup>2</sup>:

$$V = 0,042.1857.150.2 \qquad V = 23398,2 \text{ litros} \qquad (19)$$

A comparação entre o método Azevedo Neto e o método aqui desenvolvido fica prejudicado pois o primeiro não tem em sua fórmula dependência nenhuma a demanda existente. Mesmo que houvesse apenas 1 mês de seca ou pouca chuva o volume resultante permaneceria elevado, a não ser que houvesse uma demanda muito grande.

#### 4.3.3 Comparação com o Método Prático Alemão

Primeiramente, adota-se uma área de captação, 125 m<sup>2</sup> e uma demanda, 284 litros diários. A partir disso o volume aproveitável de água de chuva anual e a demanda anual da água não potável como disposto a seguir:

$$V.\text{ adotado} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \qquad (20)$$

$$V = 125.1857 \qquad V = 232125 \text{ litros}$$

$$D = 284.365 \qquad D = 103660 \text{ litros}$$

Aplica-se então a Equação (20) com o menor dos valores obtido.

$$V.\text{ adotado} = 103660.0,06 \qquad V.\text{ adotado} = 6219,6 \text{ litros}$$

Usando o método da curva adimensional para 125 m<sup>2</sup>, 284 litros por dia e uma demanda de 95% temos:

$$\frac{C}{125^{3/2}} = 0,5215 \cdot e^{0,0265 \frac{365 \cdot 284}{1857}}$$

De onde obtém-se um volume de 3200 litros para o tanque. O método da curva adimensional retornou um valor de tanque muito menor, o que é economicamente mais viável, além de garantir uma confiabilidade não existente no Método Prático Alemão.

#### 4.3.4 Comparação com o Método Prático Inglês

Escolhe-se uma área de coleta, 150 m<sup>2</sup>, e utiliza-se da precipitação média anual equivalente a 1857 mm.

$$V = 0,05 \cdot 1857 \cdot 150 \qquad V = 13927,5 \text{ litros} \qquad (21)$$

Esse método, assim como o Azevedo Neto, não está ligado a demanda, de modo que retorna valores muito elevados para o reservatório e não fornece a confiabilidade desejada.

Para efeito de comparação, se selecionar-se a confiabilidade de 95% para o método das curvas adimensionais seria necessária uma demanda de 600 litros por dia para chegar a um reservatório desse tamanho, muito elevada para os usos não potáveis selecionados.

#### 4.4 TABELA COMPARATIVA

De modo a facilitar a comparação entre métodos os demais cálculos comparativos foram aglutinados na Tabela 5. Foram-se utilizadas áreas a partir de 100 m<sup>2</sup> para evitar os problemas do método adimensional com valores inferiores à essa área, como demonstrado anteriormente. A demanda foi fixada em 212 litros/dia.

O parâmetro  $\Delta$  representa uma relação média para as três áreas, mostrando quantas vezes maiores, em média, são os reservatórios dimensionados pelos outros métodos em relação aos obtidos pelo método adimensional.

Tabela 5 – Tabela comparativa entre métodos

<b>Métodos</b>	<b>100 m<sup>2</sup></b>	<b>125 m<sup>2</sup></b>	<b>150 m<sup>2</sup></b>	<b>Δ</b>
Adimensional	2385	2254	2126	-
Simulação	2400	2200	2150	0,998
Azevedo Neto	15600	19500	23400	8,733
Prático Alemão	4643	4643	4643	2,064
Prático Inglês	9285	11606	13928	5,198

Fonte: O autor (2018)

## 5 CONCLUSÃO

Os procedimentos realizados nesse trabalho trouxeram à tona algumas falhas dos métodos sugeridos pela norma. Primeiramente temos o método Azevedo Neto, que traz em sua formulação um parâmetro referente a meses de pouca chuva ou seca, sem, no entanto, explicar quais as considerações a serem realizadas para classificar quais meses se encaixam nesse perfil.

Em seguida, analisando a questão da demanda, tanto o método Prático inglês quanto o Azevedo Neto deixam a desejar, visto que não englobam em suas formulações esse parâmetro, que muitas vezes se faz crucial para um bom dimensionamento.

Levando-se em consideração as demais comparações e análises já efetuadas entre os métodos prescritos na NBR 15527:2007 e o método das curvas adimensionais é possível entender a grande importância que cada um dos fatores desempenha na obtenção do resultado final. O método aqui apresentado tem por vantagem o fato de abarcar em uma curva todas as variáveis envolvidas na determinação do volume de um reservatório, com o adicional de garantir uma confiabilidade desejada.

É válido lembrar que o intuito final é o incentivo à adesão da população aos sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais. Ter receio de investir em algo quando esse algo é duvidoso é um fator inerente ao ser humano. Deve-se então buscar a otimização de toda e qualquer ferramenta que possa preservar aquilo que há de mais precioso no mundo, de modo a garantir que ela se propague e provoque mudança significativa.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2007.

ARAÚJO, D. T. S.; GONÇALVES, G. C. L.; ADAME, A. **Água: Um bem de valor econômico**. Evento Ajes. Jan. 2009.

AZEREDO, T. **Massas de ar**. Disponível em:  
<<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/massas-de-ar.html>>.  
Acessado em 23 abr. 2018.

BARRETO, D. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água**. Programa de mestrado em habitação. São Paulo. Jan. 2008.

BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos: **Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Secretaria de Recursos Hídricos, 2006a. Vol. 1.

CAMACHO, M. S.; LEITE, M. A.; CAMACHO J.; DORNFELD. C. B. **Consumo x desperdício: O caso do uso da água no município de Ilha Solteira (SP)**. São Paulo. 2007.

CHAIB, B. E.; RODRIGUES, F. C.; MAIA, B. H.; NASCIMENTO, N. de O. **Avaliação do Potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos - vol. 20. Porto Alegre, jul. 2015.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: Toledo**. Disponível em: <[pt.climate-data.org/location/44531/](http://pt.climate-data.org/location/44531/)>. 2018.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. **Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios.** IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, Nov. 2008.

COWDEN, J. R.; JÚNIOR, D. W. W.; MIHELICIC, J. R. **Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment.** Journal of Hydrology-361. 2008.

CROWE, C. T.; ELGER, D. F.; WILLIAMS B. C.; ROBERSON. J. A. **Engineering Fluid Mechanics.** The exponent Method. 10<sup>a</sup> edição. Pg 254. 2009.

EBBESEN, L. **Escassez de água potável.** Disponível em: <[www.infoescola.com/hidrografia/escassez-de-agua-potavel](http://www.infoescola.com/hidrografia/escassez-de-agua-potavel)>. Acesso em: 28 mar. 2018.

FREITAS. M. M. S., **Clima do Paraná.** Disponível em: <[www.infoescola.com/geografia/clima-do-parana/](http://www.infoescola.com/geografia/clima-do-parana/)>. Acessado em: 19 abr. 2018.

HIDROWEB. Dados Pluviométricos. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acessado em: 27 abr. 2018.

KHASTAGIR. A.; JAYASURIYA, N. **Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation.** Journal of Hydrology-381. 2010.

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. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

LIMA, K. L. B. de A.; NUNES, L. G. C. F.; SILVA, S. R. da. **Análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em escola pública no Recife-PE.** XIII Fórum Ambiental da Alta Paulista. Jul. 2017.

LOPES, A. P. de G.; JÚNIOR, D. P. da S.; MIRANDA, D. A. de. **Análise crítica de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial: estudo**



**comparativo dos municípios de Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC).** Revista Petra, dez. 2015.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C. C. da; RODRIGUES, L. DI.B.  
**Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado.** Rega – vol. 4, n°. 1, jan/jul. 2007.

NASCIMENTO, E. A. de A.; SANT'ANA, D. **Caracterização dos usos finais do consumo de água em edificações do setor hoteleiro de Brasília.** Revista de Arquitetura da IMED, v. 3, n.2, 2014.

PELAK, N.; PORPORATO, A. **Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs.** Journal of Hydrology-541. 2016.

PORTAL BRASIL. **Saiba mais sobre a água, consumo consciente e recursos hídricos no Brasil.** 17 set. 2010. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciência-e-tecnologia/2010/10/agua-e-consumo-consciente>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

RHN – REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL. Postos Pluviométricos. Disponível em: <[portal1.snihr.gov.br/ana/apps/webpviewer/index.html](http://portal1.snihr.gov.br/ana/apps/webpviewer/index.html)>. Acesso em: 27 abr. 2018.

RUPP, F. R.; ULISSES, M.; GHISI, E. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial.** Ambiente construído, Porto Alegre, 2011.

THACKRAY, J. E.; COCKER, V; ARCHIBALD, G. **The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage.** Proceedings of the institution of civil engineers: part 1-design and construction. v. 64, p. 37-61. London: Institution of Civil Engineers, fev. 1978.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Capítulo 3 – Previsão do consume de água não potável.** Dez. 2009.

**TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Capítulo 9 – Método de Rippl. Jul. 2011.**