

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**BRUNO VINICIUS BORGES VILELA**

**INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOBRE O**  
**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL**  
**PARA USO NÃO-POTÁVEL**

**FORMIGA - MG**

**2017**

BRUNO VINICIUS BORGES VILELA

INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOBRE O  
DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL  
PARA USO NÃO-POTÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR - MG,  
como requisito à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira  
Thebaldi.

FORMIGA - MG

2017

V699 Vilela, Bruno Vinícius Borges.

Influência do coeficiente de escoamento superficial sobre o dimensionamento de reservatórios de água pluvial para uso não-potável / Bruno Vinicius Borges Vilela. – 2017.

75 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)- Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Instalações pluviais prediais. 2. Hidrologia urbana. 3. Saneamento urbano. I. Título.

CDD 551.48

Bruno Vinicius Borges Vilela

INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOBRE O  
DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL  
PARA USO NÃO-POTÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR - MG,  
como requisito à obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

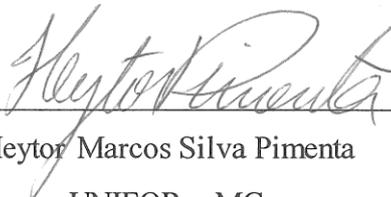
Orientador



---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Kátia Daniela Ribeiro

UNIFOR - MG



---

Heytor Marcos Silva Pimenta

UNIFOR - MG

Formiga, 30 de outubro de 2017.

## RESUMO

A água, que é um recurso indispensável à vida, atualmente vem apresentando volumes cada vez menores disponíveis ao consumo devido às mudanças climáticas e ao desperdício por parte do homem. Assim, buscando novos meios de conservação e melhor aproveitamento da água, inúmeros estudos estimulam o uso da água pluvial para fins não potáveis. Assim, o presente trabalho teve como objetivo obter o volume requerido de reservatórios de água pluvial para os municípios de Lagoa da Prata, Pouso Alto e Montes Claros, situados no estado de Minas Gerais, fazendo o uso de diferentes métodos de dimensionamento, áreas de captação e demandas de água não potável, comparando a influência causada, em cada situação, pela variação do material constituinte da área de captação, material esse que determinará o coeficiente de escoamento superficial. Para isso, foram utilizadas diferentes metodologias de cálculo (Método de Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, e Métodos Práticos Alemão, Inglês e Australiano). A partir dos cenários estudados, o Método de Rippl destacou-se ao mostrar ser o mais conveniente tecnicamente, ao considerar todas as variáveis pré-estabelecidas, e demonstrou sua dependência do coeficiente de escoamento superficial, uma vez que o mesmo é inerente ao método.

Palavras-chave: Instalações pluviais prediais. Hidrologia urbana. Saneamento urbano.

## **ABSTRACT**

Water, which is an indispensable resource for life, has been showing increasingly smaller volumes available for consumption due to climate change and waste on the part of man. Seeking new means of conservation and better use of water, numerous studies encourage the use of rainwater for non-potable purposes. Thus, the present work had the objective of obtaining the required volume of rainwater reservoirs for the cities of Lagoa da Prata, Pouso Alto and Montes Claros, located in the state of Minas Gerais, using different methods of sizing, catchment areas and demands of non-potable water, comparing the influence caused in each situation by the variation of the constituent material of the catchment area, material that will determine the runoff coefficient. For this, different methods of calculation were used (Method of Rippl, Simulation Method, Method Azevedo Neto, and Practical Methods German, English and Australian). From the studied scenarios, the Method of Rippl stood out to be the most technically convenient, when considering all the pre-established variables, and demonstrated its dependence on the runoff coefficient, since it is inherent to the method.

**Key words:** Building rainwater facilities. Urban hydrology. Urban sanitation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico global.....	15
Figura 2 – Sistemas de aproveitamento de água pluvial quanto a seus fluxos e destinações...20	
Figura 3 – Esquematização de um sistema de aproveitamento de água da chuva.....	22
Figura 4 – Área de coleta – telhado: comprimento x largura. ....	23
Figura 5 – Área de coleta – laje: comprimento x largura. ....	23
Figura 6 – Área de coleta – telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo. ....	24
Figura 7 – Sistema de grade sobre a calha.....	24
Figura 8 – Filtro VF1 de água da chuva. ....	25
Figura 9 – Detalhe da válvula para descarte inicial de água pluvial. ....	26
Figura 10 – Descarte da primeira água utilizando sistema de tonel com registro de gaveta....	26
Figura 11 – Reservatório de autolimpeza com torneira boia.....	27
Gráfico 1 – Precipitação média mensal de Lagoa da Prata – MG.....	36
Gráfico 2 – Precipitação média mensal de Pouso Alto – MG.....	37
Gráfico 3 – Precipitação média mensal de Montes Claros.....	37
Gráfico 4 – Precipitações médias anuais dos municípios de Lagoa da Prata, Pouso Alto e Montes Claros.....	38
Gráfico 5 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl. ....	39
Gráfico 6 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl. ....	39
Gráfico 7 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl. ....	40
Gráfico 8 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl. ....	41
Gráfico 9 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl. ....	42

Gráfico 10 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl. ....	42
Gráfico 11 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação. ....	43
Gráfico 12 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação. ....	44
Gráfico 13 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação. ....	45
Gráfico 14 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação. ....	46
Gráfico 15 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação. ....	47
Gráfico 16 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação. ....	47
Gráfico 17 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Azevedo Neto. ....	48
Gráfico 18 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Azevedo Neto.....	49
Gráfico 19 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Azevedo Neto. ....	50
Gráfico 20 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função dos diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado. ....	51
Gráfico 21 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função dos diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado.....	52

Gráfico 22 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função dos diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado. ....	53
Gráfico 23 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, Pouso Alto – MG e Montes Claros – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, pelo Método Prático Alemão. ....	54
Gráfico 24 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, Pouso Alto – MG e Montes Claros – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, pelo Método Prático Alemão. ....	54
Gráfico 25 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado. ....	56
Gráfico 26 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado. ....	56
Gráfico 27 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Pouso Alto – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado. ....	58
Gráfico 28 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Pouso Alto – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado. ....	58
Gráfico 29 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Montes Claros – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado. ....	59
Gráfico 30 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Montes Claros – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado. ....	60
Gráfico 31 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Prático Inglês. ....	61
Gráfico 32 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Prático Inglês. ....	62
Gráfico 33 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Prático Inglês. ....	62

Gráfico 34 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função de diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Prático Inglês adaptado. ....	63
Gráfico 35 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função de diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Prático Inglês adaptado. ....	64
Gráfico 36 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função de diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Prático Inglês adaptado. ....	65
Gráfico 37 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano. ....	66
Gráfico 38 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano. ....	67
Gráfico 39 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano. ....	68
Gráfico 40 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano. ....	68
Gráfico 41 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano. ....	69
Gráfico 42 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano. ....	70
 Tabela 1 – Faixa do coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de material. ....	 30

## LISTA DE SIGLAS

A	Área de captação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
Aw	Clima tropical com estação seca
C	Coefficiente de escoamento superficial
Cfb	Clima oceânico
Cwa	Clima subtropical úmido
D	Valor numérico da demanda anual da água não potável
D(t)	Demanda ou consumo no tempo “t”
I	Interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
L	Litro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mín	Mínimo
mm	Milímetro
N	Número de meses considerado
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
Nr	Número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda
P	Precipitação
P(t)	Precipitação no tempo “t”
PVC	Policloreto de vinila
Q	Volume mensal produzido pela chuva
Q(t)	Volume de chuva aproveitável no tempo “t”
S(t)	Volume de água no reservatório no tempo “t”
S(t-1)	Volume de água no reservatório no tempo “t-1”
T	Valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca
t	Tempo de concentração da chuva
V	Volume do reservatório
V(t-1)	Volume de água que está no tanque no início do mês

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Problemática da chuva no meio urbano.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Aproveitamento de água da chuva em edificações .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Sistemas hidráulicos para captação e condução de águas pluviais.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Critérios de projeto .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Componentes.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial.....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Áreas de estudo .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Levantamento de dados .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Dados pluviométricos .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Dados da captação de água pluvial .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Método de Rippl .....</b>	<b>31</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Método da simulação.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Método Azevedo Neto.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Método Prático Alemão .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Método Prático Inglês .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.6</b>	<b>Método Prático Australiano .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Dados Pluviométricos .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2</b>	<b>Determinação do volume de reservatório de água pluvial.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Método de Rippl .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Método da Simulação .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Método Azevedo Neto.....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Método Azevedo Neto Adaptado.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Método Prático Alemão .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Método Prático Alemão Adaptado.....</b>	<b>55</b>

<b>5.2.7</b>	<b>Método Prático Inglês .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2.8</b>	<b>Método Prático Inglês Adaptado .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2.9</b>	<b>Método Prático Australiano .....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A conservação e uso consciente dos recursos hídricos tem ganhado espaço no meio acadêmico, sendo alvo de inúmeros estudos e esforços para a conscientização em todo o mundo, uma vez que estes são fundamentais à vida e ao desenvolvimento da humanidade.

No Brasil, a situação é bem peculiar, já que, embora possua uma grande concentração de recursos hídricos, estes são distribuídos de forma bastante desigual, uma vez que a região norte detém a maior parte desse recurso e abriga a menor quantidade de população, enquanto as regiões, como a nordeste e sudeste, apresentam a maior concentração populacional e apresentam uma parcela inferior em relação à norte de recursos hídricos.

Essa singularidade agravou-se com o processo de urbanização, surgindo problemas como a poluição dos efluentes, aumento no custo do tratamento, uma vez que este se tornou mais complexo devido à poluição constante, secas extremas e também os desperdícios ocorridos no dia a dia por meio da população.

Algumas soluções para essa adversidade ganharam destaque. Uma delas, que se mostrou bem comum desde os primórdios da humanidade e bastante eficiente, é a utilização de reservatórios para a captação e posterior uso da água de chuva para fins não potáveis. A utilização desse recurso possibilita um alívio no abastecimento público, gera uma reserva para possíveis falhas de abastecimento em épocas de escassez e garante a conservação dos recursos hídricos, de modo a reaproveitar a água da chuva antes que esta infiltre no solo.

Para que o armazenamento seja satisfatório, o sistema hidráulico deve ser bem dimensionado, incluindo cada etapa do sistema, que são: a captação da água, condução até o reservatório e o reservatório de água pluvial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta vários métodos de cálculo para o dimensionamento do reservatório de água pluvial através da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 15527 (ABNT, 2007), porém, esses métodos relacionam os parâmetros de maneira superficial e alguns são voltados para recursos empíricos, enquanto outros se baseiam em parâmetros técnicos, o que torna um dimensionamento rigoroso e preciso muito difícil de ser alcançado sem se fazer uma análise mais profunda.

Desse modo, uma análise da utilização de todos os métodos em função de diferentes variáveis, incluindo a variação de materiais base da área de captação a fim de variar o coeficiente de escoamento superficial, poderá comprovar qual método de dimensionamento é mais viável tecnicamente dentro dos diferentes critérios e diferentes condições de estudo a serem analisados.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Comparar os métodos propostos pela NBR 15527 para o dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva, empregando-se diversos materiais da área de captação, o que implica no uso de diferentes valores do coeficiente de escoamento superficial, em três municípios com regime hídrico pluvial discrepantes e áreas crescentes das superfícies de captação.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar a série histórica de precipitações médias mensais dos municípios avaliados;
- Analisar cada método proposto com os diferentes valores de coeficiente de escoamento superficial, adicionando ao equacionamento do método o uso do coeficiente de escoamento superficial quando neste não houver;
- Analisar, por meio de simulações, o método de dimensionamento do reservatório de águas pluviais mais conveniente, em termos técnicos, para o tipo e a localidade onde se encontra a edificação.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

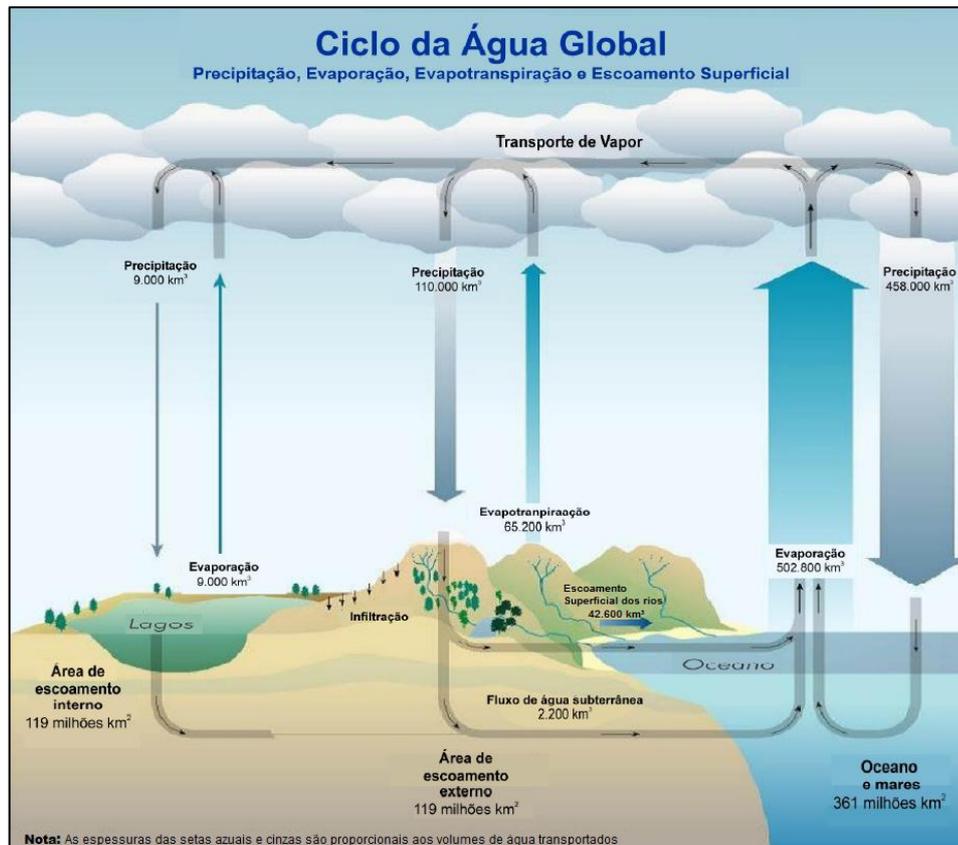
#### 3.1 Problemática da chuva no meio urbano

O ciclo hidrológico ou ciclo da água é o nome dado ao fenômeno de rotação e manutenção da água no meio ambiente. Esse sistema é físico, quase estável e autorregulável, que em ciclos complexos desloca a água de um “reservatório” para outro, estes formados pela umidade atmosférica, oceanos, lagos, rios, lençóis freáticos, aquíferos subterrâneos, calotas polares e solos saturados (VILLIERS, 2002).

De acordo com Mota (1999), o processo do ciclo hidrológico se estrutura em duas transferências: a primeira é a passagem da água existente na superfície terrestre para a atmosfera em forma de vapor d’água, resultado da evaporação e transpiração vegetal (evapotranspiração); a segunda é a da água na atmosfera para a superfície sob qualquer modo de precipitação, sendo a neve e a chuva os mais usuais.

De modo simplificado, Tucci (1997) explica o ciclo hidrológico da seguinte forma: o calor proveniente da radiação solar provoca a evaporação da água presente em rios, lagos e oceanos e, em plantas e animais, provoca a transpiração seguida da evaporação. Essa água, na forma de vapor retém-se na atmosfera até atingir certo volume, sendo posteriormente precipitada na superfície terrestre e nos oceanos. A parcela de água precipitada na superfície terrestre pode se infiltrar no solo, a qual acaba abastecendo lençóis freáticos, ou escoar na forma de escoamento superficial ou subterrâneo até atingir lagos ou oceanos, onde deságua e volta a evaporar, iniciando um novo ciclo. Este processo se encontra representado na FIG. 1.

Figura 1 – Ciclo hidrológico global.



Fonte: VIOLA, 2008, p. 8.

Segundo Buccheri Filho (2006), Nucci (2008) e Valaski (2008), o ciclo hidrológico sofre alterações devido ao fenômeno da urbanização, dos quais alguns se evidenciam:

- Maior expansão e intensificação de convecção nos locais de picos de temperaturas da ilha de calor e aumento da quantidade de núcleos de condensação provenientes do nível de poluição, aumentando assim a precipitação;
- Redução da evapotranspiração devido à redução da vegetação;
- Redução da infiltração da água, como consequência da compactação e impermeabilização do solo;
- Aumento nos níveis do volume de líquido escoado superficial devido à expansão da superfície pavimentada e edificada;
- Consumo de água subterrânea e superficial, para abastecimento público, usos industriais e outros;
- Alteração no lençol freático, ocorrendo redução ou até esgotamento;

- Maior erosão do solo, acarretando um aumento do processo de assoreamento de rios e lagos;
- Poluição de águas superficiais e subterrâneas, resultando em alterações ou, até mesmo, na redução da biota e gerando um aumento significativo de casos de doenças nos seres humanos;
- Aumento da ocorrência de alagamentos e inundações, decorrente do aumento do escoamento superficial (*runoff*), do assoreamento e degradação do sistema de drenagem, do maior volume precipitado e, várias vezes, da concentração temporal da precipitação.

Com a urbanização, em muitos casos, ocorre também a ocupação da planície aluvial, que funciona como área de reserva dos rios para reduzir a gravidade das cheias à jusante. Há também a impermeabilização do solo, devido às construções de edifícios residenciais e comerciais, indústrias e também estradas, em sua grande maioria em fundos de vale, onde acabam ocorrendo inundações. Estas inundações, ocorrem quando a precipitação é intensa e o solo tem permeabilidade insuficiente, assim, parte majoritária do volume precipitado acaba se tornando escoamento superficial, o qual se direciona para o sistema de drenagem de forma mais acelerada, que por sua vez acaba excedendo o seu limite máximo comportado. Esse evento acaba atingindo toda a cidade, sendo o risco de destruição eminente, provocando congestionamentos, trazendo doenças, gerando perdas materiais, ferimentos e mortes (HOUGH, 1998; NUCCI, 2008; SPIRN, 1995; TUCCI; BERTONI, 2003).

Por esses motivos, o solo urbano deveria ser menos impermeabilizado, sendo necessária a busca de formas de amenizar as consequências geradas pelo processo de urbanização. Segundo Bolund e Hunhammar (1999), os rios e córregos poderiam conter inundações e desempenhar várias funções ecológicas, estéticas e de lazer, caso recebessem de volta suas várzeas. Para Gonçalves (2006), a implantação de sistemas de captação de água decorrente da precipitação pluvial são meios eficazes de amortecer cheias urbanas, podendo assim reduzir os problemas ocasionados ao ciclo hidrológico no meio urbano. Métodos como estacionamentos e parques projetados com o intuito de reter e absorver a água pluvial, edifícios verdes, onde estes podem armazenar a água da chuva em reservatórios, são alguns desses sistemas.

Desse modo, observando o que ocorre de forma natural, Tucci e Bertoni (2003) relatam que, para prevenir inundações, diminuindo assim a destruição gerada por esta, estocar as águas pluviais até o pico das precipitações e remover os obstáculos das águas nas planícies aluviais seria uma opção viável e totalmente satisfatória. Outra maneira seria aproveitar o desenho

urbano de cada localidade, adotando estratégias como: bacias de retenção, bacias de detenção temporária ou permanente da água e áreas de descarga de água subterrâneas.

Segundo Righetto (2009), as chamadas bacias de detenção trabalham simultaneamente com a rede de drenagem, porém, em grande maioria dos casos, não são satisfatórias e acabam se tornando ineficazes ao seu propósito, sendo projetadas para reter parte do volume escoado superficialmente na bacia a montante, esvaziando-se totalmente entre eventos.

Ainda segundo o mesmo autor, estas bacias amortecem a vazão máxima escoada gerada pela precipitação na bacia, reduzindo a vazão de lançamento no corpo receptor, diminuindo a capacidade erosiva da vazão proveniente do escoamento superficial na bacia e prevenindo ocorrência de inundações em áreas localizadas a jusante. Já as chamadas bacias de retenção, armazenam o volume gerado na bacia pelas precipitações pluviais, não sendo descarregada no corpo receptor a jusante, onde pode ser utilizada para manutenção de vazão mínima, irrigação, recuperação de paisagem e uso recreacional.

Apesar de todos os estudos relacionados, tanto as capacidades da paisagem, como os que caracterizam a qualidade ambiental urbana, observa-se que há um acelerado e contínuo processo de ocupação do solo urbano por edificações, ignorando todas as recomendações, agravando assim os problemas relacionados ao ciclo hidrológico, aos problemas causados pelos mesmos e até mesmo negligenciando soluções simples e eficazes para tais problemas.

### **3.2 Aproveitamento de água da chuva em edificações**

Os problemas relacionados à obtenção de água fazem com que sejam buscados novos meios de obtenção da mesma, visando sempre evitar a dependência de uma única fonte, por meio de soluções para que, em situações adversas, a população não sofra com problemas graves de abastecimento. Como cita Werneck (2006), onde problemas de ordem natural ou contaminações por produtos químicos ou nocivos à saúde humana são frequentes e comuns, o abastecimento de água é dependente somente da retirada de rios e lagos.

Um desses meios encontrados foi o armazenamento e utilização da água da chuva, inicialmente, objetivando a retenção de parcela do volume precipitado para controle de cheias e amortecer enchentes, posteriormente utilizada para suprir o abastecimento ineficiente de água e utilizada para outros fins (GONÇALVES, 2006). May (2004) acrescenta que um dos fatores adicionais à viabilidade na utilização da água da chuva seria a redução da demanda de água fornecida pelas companhias de abastecimento, reduzindo assim, custos com água potável, a fim de resolver o grave problema de escassez de água.

A coleta da água da chuva ocorre por meio da utilização de áreas impermeáveis, geralmente o telhado. A primeira água que escoar sobre o telhado é chamada de água de lavagem (*first flush*), sendo recomendado o descarte desta; depois que ocorre a lavagem do telhado, fazendo com que todas as impurezas sejam lavadas e escoadas, a água torna-se inapta ao uso (TOMAZ, 1998).

A água de chuva não apresenta a qualidade de água tratada ou de água mineral, porém, é um recurso limpo quando comparado a rios onde são captadas as águas destinadas normalmente ao tratamento e abastecimento público. Logo, esse recurso tem algum proveito quando utilizado onde haverá um maior retorno econômico. Tendo em vista esse parâmetro, levando em estudo a utilização da água armazenada para consumo não potável, esta pode ser utilizada em bacias sanitárias, lavagem de veículos, lavagem de roupas, em torneiras de jardim e até mesmo na reserva para casos de incêndios (VIOLA, 2008).

Soares, Soares e Porto (1999) afirmam que a água da chuva, ao ser armazenada para futura utilização, proporciona vários benefícios, como:

- Redução do consumo de água tratada;
- Redução da sobrecarga nos sistemas de tratamento e abastecimento de água potável, uma vez que a água da chuva será utilizada para os fins não potáveis;
- Distribuição da água de chuva mais otimizada nos sistemas de drenagem;
- Redução nos riscos de enchentes durante chuvas de intensidades elevadas, assim reduzindo custos gerados pela destruição gerada pelas mesmas;
- Redução do escoamento superficial com influência direta sobre o pico de cheia.

Uma das desvantagens do sistema de aproveitamento da água da chuva é a redução do volume coletado em períodos de estiagem, onde, em alguns casos, faz-se necessária a utilização de áreas de captação e reservatórios grandes para que ocorra um fornecimento contínuo durante esses períodos (SOARES; SOARES; PORTO, 1999).

Ainda segundo o mesmo autor, a utilização desse sistema de coleta e utilização da água de chuva se torna mais interessante em áreas que apresentam níveis de precipitação elevados, com problemas de escassez no abastecimento e adversidades na extração de água subterrânea.

A utilização da água da chuva para fins potáveis se torna inviável devido à falta de indicadores da qualidade das águas pluviais para o estabelecimento de um tratamento adequado e eficaz, sendo assim necessário um controle da qualidade da água para garantir os parâmetros

exigidos de qualidade da água, o que é muito oneroso e dispendioso. Quanto à utilização para fins não potáveis, o uso da água é referente à qualidade apresentada pela mesma, variando a partir de cada tipo de uso que essa água será destinada. Porém, ainda assim, há padrões mínimos à serem cumpridos para a segurança do usuário e duração dos equipamentos utilizados na atividade (VIOLA, 2008).

Dessa forma, a captação e o aproveitamento da água da chuva gera benefícios, não só ecológicos, mas também econômicos, uma vez que fazendo uso deste sistema hidráulico ocorre o alívio nos sistemas de drenagem, reduzindo o risco de enchentes, e a utilização da água da chuva para fins não potáveis, diminui a demanda sobre os sistemas de captação e abastecimento de água potável, variando assim as fontes de obtenção de água para uso doméstico.

### **3.3 Sistemas hidráulicos para captação e condução de águas pluviais**

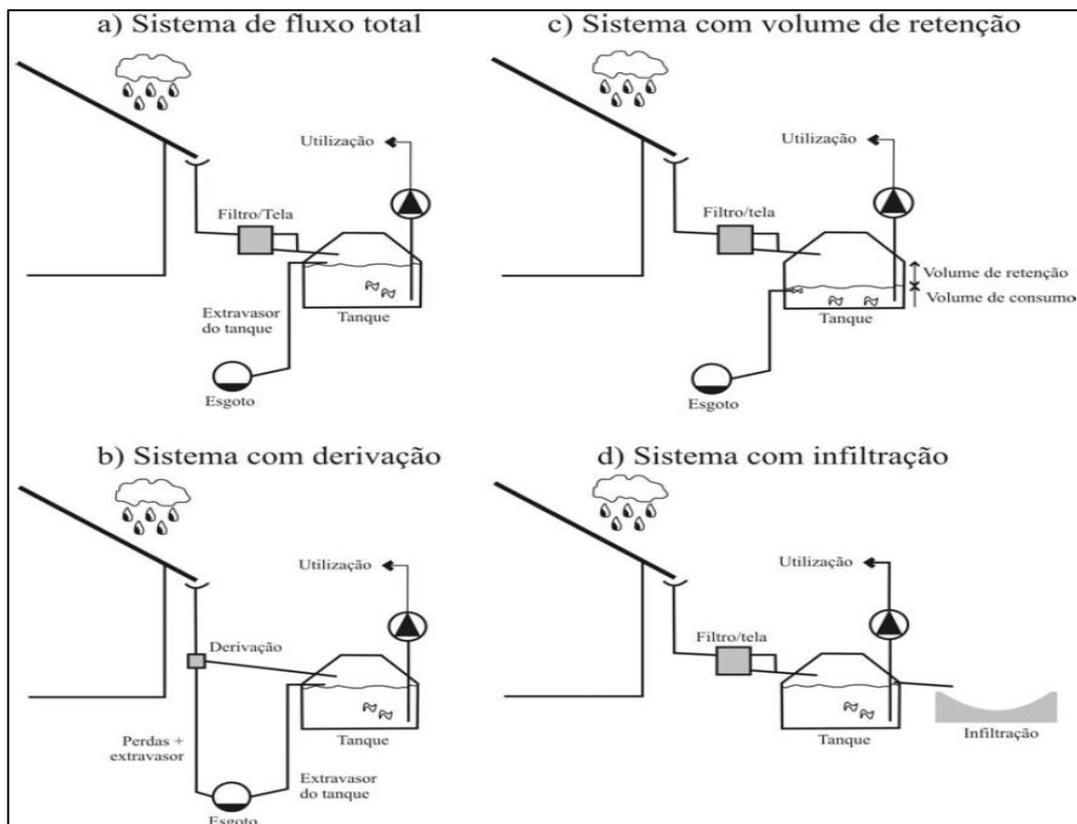
Um sistema de aproveitamento de água da chuva possui características únicas, de forma a promover a conservação da água potável advinda do sistema de saneamento público, buscando gerar autossuficiência ao menos em recurso hídrico não-potável, uma vez que este é descentralizado e alternativo (GONÇALVES, 2006).

Herrmann e Schmida (1999) classificam os sistemas quanto às características hidráulicas dos fluxos e de seus destinos, com base nas tipologias mais usuais (FIG. 2):

- a) Sistema de aproveitamento de água de chuva de fluxo total: todo o fluxo captado pelo telhado, é direcionado à um dispositivo de gradeamento e filtragem; só depois, é destinado ao reservatório. Apenas quando o reservatório está cheio é que o sistema contribui para a rede pluvial (HERRMANN; SCHMIDA, 1999);
- b) Sistema de aproveitamento de água com derivação: apresentam dispositivos que derivam o escoamento de maneira que os detritos e sedimentos sejam direcionados diretamente à rede de drenagem pluvial. São pouco eficientes durante precipitações intensas, gerando um direcionamento da maior parte da vazão à rede pluvial. Como o material é diretamente destinado à rede pluvial, não necessitando da remoção do material, esses dispositivos são também conhecidos como filtros autolimpantes (HERRMANN; SCHMIDA, 1999);

- c) Sistema de aproveitamento de água com volume de retenção: diferencia-se do sistema de fluxo total pois possui um volume de retenção (espera), onde a água é armazenada por um certo período de tempo e escoada de forma lenta para a rede pluvial, reduzindo, assim, a vazão lançada à rede. O escoamento lento possibilita com que a parcela do reservatório destinada a retenção esteja livre para o próximo evento. Este tipo de sistema é geralmente utilizado tendo como principal objetivo a minimização de alagamentos (HERRMANN; SCHMIDA, 1999);
- d) Sistema de aproveitamento de água com infiltração: esse sistema direciona o lançamento dos extravasamentos à um dispositivo de infiltração, independe da existência ou das condições da rede pluvial, e também proporciona o carregamento dos reservatórios de água subterrânea, de modo a restabelecer os fluxos hidrológicos naturais (HERRMANN; SCHMIDA, 1999).

Figura 2 – Sistemas de aproveitamento de água pluvial quanto a seus fluxos e destinações.



Fonte: HERRMANN, SCHMIDA, 1999, adaptado por DORNELLES, 2012, p. 21.

### 3.3.1 Critérios de projeto

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), o método padrão utilizado para um sistema de coleta, tratamento e uso de água de chuva é constituído pelas seguintes etapas:

- Determinação da precipitação média local (mm/mês);
- Determinação da área de coleta;
- Determinação do coeficiente de escoamento superficial;
- Identificação dos usos da água (demanda e qualidade)
- Caracterização da qualidade da água pluvial;
- Estabelecimento do sistema de tratamento, se necessário;
- Projeto do reservatório de descarte;
- Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, entre outros);
- Projeto do reservatório de armazenamento.

A precipitação média deve ser estabelecida levando em consideração os dados publicados mensalmente em nível nacional, mensal ou local. A média anual, distribuição e a variação da precipitação durante o ano são decisivos para o dimensionamento do reservatório, de forma que, quando há altos índices pluviométricos com distribuição constante durante o ano, permita o uso de reservatórios de menor volume (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

ANA (2005) cita que a área de coleta, na maioria dos casos telhados, esses normalmente inclinados em projeção horizontal, deve ser determinada seguindo os parâmetros expressos pela NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989).

O coeficiente de escoamento superficial é determinado em função do material e do acabamento da área de coleta (ANA, 2005). Gonçalves (2006) caracteriza o coeficiente de escoamento superficial como sendo o quociente entre a água que esco superficialmente e o total de água precipitada.

Já a caracterização da qualidade da água pluvial deve ser feita utilizando sistemas automáticos de amostragem, para posterior caracterização por meio das variáveis consideradas relevantes em nível local. ANA (2005) complementa que essa caracterização deve ser feita preferencialmente após períodos variáveis de estiagem, visto que tem como objetivo fornecer dados para o cálculo do reservatório de descarte, o qual é destinado apenas à retenção temporária seguida do descarte da água de lavagem do telhado (*first flush*), tendo seu volume

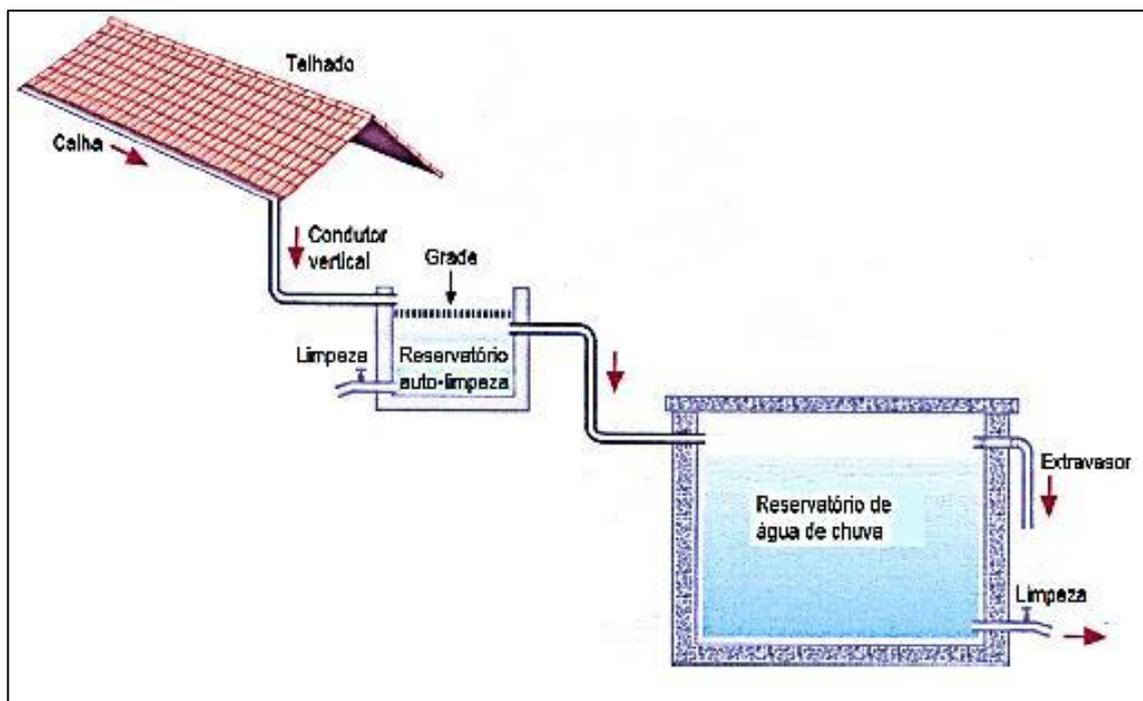
determinado de acordo com as qualidades apresentadas pelas águas durante as fases iniciais de precipitação, que ocorrem após períodos de estiagem variados.

Cohim, Garcia e Kiperstok (2008) citam que o reservatório é o item mais oneroso no sistema de coleta e utilização de água pluvial, tendo seu custo apresentando porcentagens entre 50% a 85% de todo o sistema de captação. É comum a escolha por reservatórios grandes, visando a regularização da vazão, na qual utiliza a água armazenada no período chuvoso para suprir a demanda em períodos de estiagem, muito comum em regiões em que não dispõem de outras fontes, ou este sistema pode ser interligado com o sistema de abastecimento da rede pública, permitindo um reservatório de tamanho consideravelmente menor, visando também a limitação de espaço na área urbana.

### 3.3.2 Componentes

De maneira generalizada, os sistemas de aproveitamento de água da chuva apresentam 4 itens básicos: superfície de captação da água da chuva, sistema de condução, dispositivos para descarte da água de lavagem do telhado e reservatório para armazenamento dessa água, como pode ser visto na FIG. 3.

Figura 3 – Esquematização de um sistema de aproveitamento de água da chuva.



Fonte: MAY, 2004, p. 40.

May (2004) especifica que as áreas de captação mais usuais são os telhados (FIG. 4) e lajes de cobertura (FIG. 5), porém, baseado no tratamento que será feito posteriormente à captação, essa água pode ser proveniente do escoamento superficial em pisos impermeáveis, como pátios, estacionamentos e passeios (FIG. 6). O telhado pode ser feito de diversos materiais como: cerâmica, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, plástico, vidro, policarbonato, acrílico, manta asfáltica, entre outros.

Telhados que utilizam materiais como fibrocimento, concreto e cerâmica apresentam perdas mais significativas, por serem materiais mais porosos; já telhados que utilizam telhas metálicas são os que apresentam menor índice de perdas, sendo, portanto, os mais eficientes (CUNLIFFE, 1998).

Figura 4 – Área de coleta – telhado: comprimento x largura.



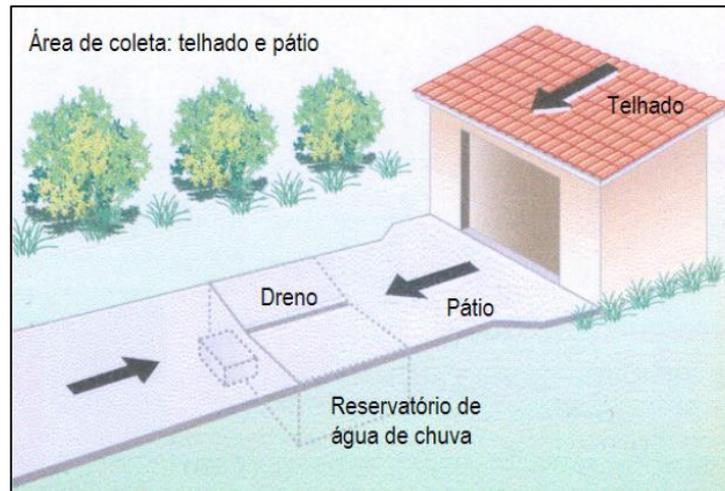
Fonte: WATERFALL, 1998, p. 19.

Figura 5 – Área de coleta – laje: comprimento x largura.



Fonte: WATERFALL, 1998, p. 19.

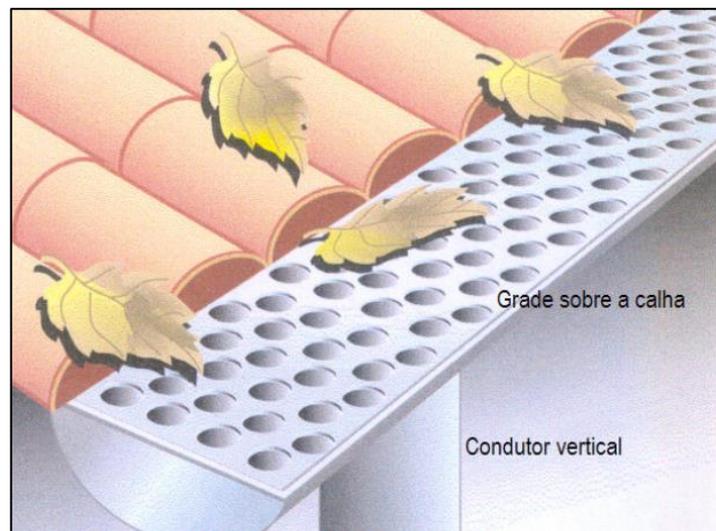
Figura 6 – Área de coleta – telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo.



Fonte: WATERFALL, 1998, p. 20.

Antes da água escoada sobre a área de captação atinja o sistema de condução, esta passa antes por peneiras (FIG. 7), as quais impedem que materiais grosseiros acabem entupindo e impossibilitando a passagem da água pelos condutores.

Figura 7 – Sistema de grade sobre a calha.

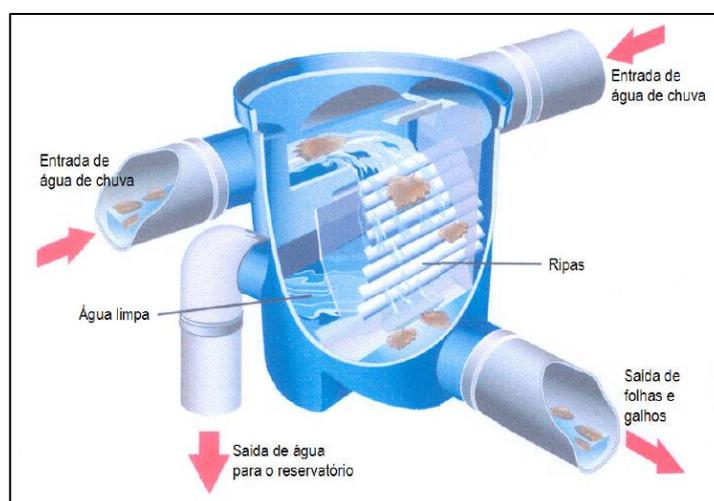


Fonte: WATERFALL, 1998, p. 15.

As calhas e tubulações devem atender à NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989). Esses dispositivos fazem o recolhimento e transporte da água da chuva até o reservatório, usualmente encontrados em materiais como PVC, alumínio e aço galvanizado (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

Em um sistema de coleta e aproveitamento de água da chuva onde há um dispositivo de filtragem, a água da chuva, após passar pelas calhas e tubulações, passa pelo filtro VF1 onde ocorre a separação dos sólidos como folhas, galhos, entre outros, como é apresentado na FIG. 8 (MAY, 2004).

Figura 8 – Filtro VF1 de água da chuva.



Fonte: CETEM (2017).

Mesmo com essa filtragem, a primeira água (*first flush*) apresenta impurezas nas quais não são barradas na filtragem. Essas impurezas são originadas da deposição de folhas, poeira, revestimento do próprio telhado deteriorado com o tempo e até fezes de ratos e aves, o que acaba contaminando essa primeira água com bactérias e parasitas gastrointestinais. Por esses motivos, faz-se o descarte da água de lavagem. Esse descarte pode ser feito por válvulas (FIG. 9) com acionamento automático, no qual pode se determinar as quantidades de água a serem descartadas (GOUVÊA; RADAVELLI; HURTADO, 2011).

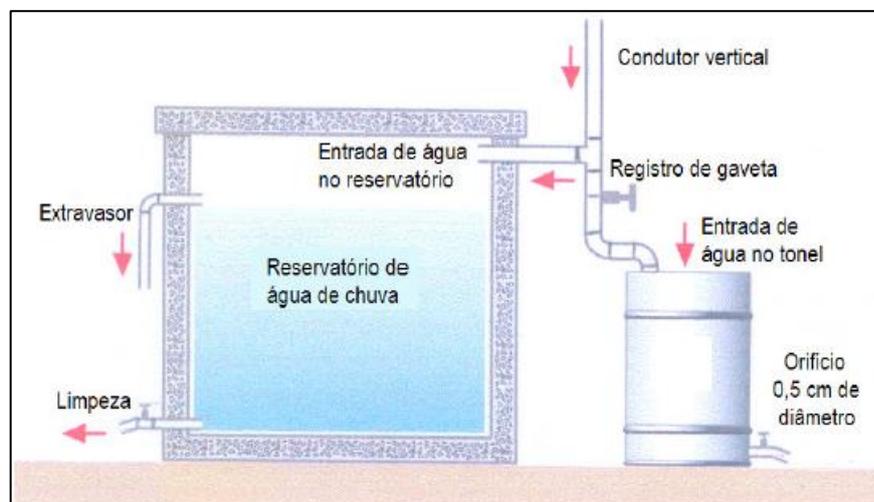
Figura 9 – Detalhe da válvula para descarte inicial de água pluvial.



Fonte: Safe Rain (2017).

Outro método seria a utilização de tonel com sistema de registro de gaveta para se fazer o descarte da primeira água, como pode ser visualizado na FIG. 10.

Figura 10 – Descarte da primeira água utilizando sistema de tonel com registro de gaveta.



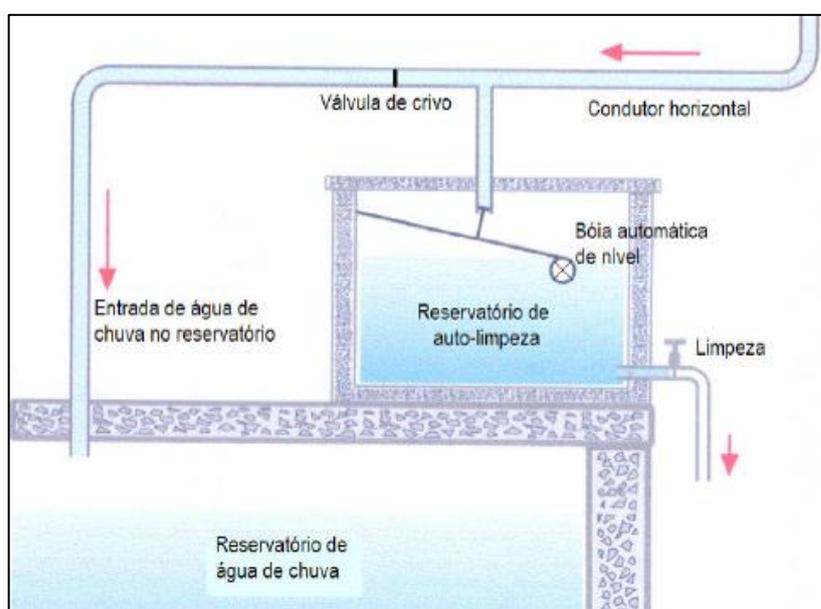
Fonte: MAY, 2004, p. 47.

Dacach (1990) explica que, ao iniciar a chuva, a água é direcionada ao tonel, onde simultaneamente sai pelo orifício, porém, como a vazão do orifício é relativamente pequena, a água coletada no tonel vai subindo, até atingir a parte inferior do condutor e, posteriormente, conexão com o ramal horizontal. Conforme a vazão no orifício aumenta, pelo aumento da carga, (até atingir sua vazão máxima) a água começa a escoar para o reservatório de água da chuva

pelo ramal horizontal. Chuvas de pequena intensidade não apresentam condições de aproveitamento, logo, essas apenas atendem à vazão do orifício.

Outra alternativa para o descarte da primeira água seria a utilização de um reservatório de autolimpeza com torneira de boia de fechamento, o qual recebe a água da chuva, essa água enche até o nível d'água onde a boia irá atingir a posição limite, resultando no fechamento da torneira da boia. A partir desse momento, a água começa a escoar para o reservatório de água de chuva (FIG. 11).

Figura 11 – Reservatório de autolimpeza com torneira boia.



Fonte: MAY, 2004, p. 49.

Bombas e sistemas pressurizados são utilizados quando os pontos de utilização estão em cotas superiores à do nível de água no reservatório principal. Cohim, Garcia e Kiperstok (2008) ressaltam que, para se atingir uma eficiência energética satisfatória e ainda evitar a necessidade de bombeamento, a melhor opção seria fazer a utilização de reservatórios elevados, e o encaminhamento da água captada diretamente a ele.

O componente final do sistema de aproveitamento de água de chuva é o reservatório de acumulação; além do acúmulo de água, é responsável também pela qualidade da mesma no ponto de consumo. Estes reservatórios podem ser elevados, apoiados ou até mesmo enterrados, sendo geralmente construídos com concreto armado, alvenaria de tijolos comuns, fibra de vidro, plásticos, entre outros (TOMAZ, 2003). Como já exposto, é o componente mais caro de todo o

sistema de aproveitamento de água pluvial e também o mais importante, devendo ser cuidadosamente calculado e projetado (MAY, 2004).

### **3.4 Métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial**

Para o dimensionamento do reservatório destinado às águas pluviais, a ABNT determina diretrizes, as quais são apresentadas na NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos (ABNT, 2007).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta 6 métodos para o dimensionamento do reservatório de água pluvial juntamente com os seus parâmetros, sendo: método de Rippl, método da Simulação, método Azevedo Neto, método Prático Inglês, método Prático Alemão e o método Prático Australiano. Adicionalmente devem ser consideradas as peculiaridades de cada método para a escolha do mais satisfatório.

Segundo Sperancetta, Alves e Krügger (2004), o método de Rippl é simples, sendo tal simplicidade derivada da relação do balanço das entradas e saídas de água, onde este deve suprir a demanda em períodos de estiagem. A quantidade de chuva e a forma de distribuição das precipitações ao longo do ano são os fatores de maior influência nesse método (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

Já segundo Tomaz (2003), o método da Simulação apresenta a característica de determinar a eficiência do sistema, enquanto que os métodos Azevedo Neto e o Prático Inglês compartilham da característica de não considerarem a influência da demanda, e sim, a precipitação anual, porém se diferenciam pelo fato do método Azevedo Neto considerar o período de estiagem e o método Prático Inglês considera a área da superfície de captação, de modo a apresentarem resultados relacionados diretamente aos dados pluviométricos e áreas de captação de água pluvial, respectivamente (AMORIM; PEREIRA, 2008).

O método Prático Alemão assemelha-se ao método Prático Inglês, diferenciando-se ao comparar o volume de chuva aproveitável com a demanda anual (FONTANELA, 2010). Por fim, com o método Prático Australiano são obtidos valores do volume superdimensionados a fim de se obter uma confiança satisfatória, assim como é mostrado por Minikowski e Maia (2009).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Áreas de estudo**

O estudo levou em consideração as séries históricas de precipitação dos municípios de Lagoa da Prata, Montes Claros e Pouso Alto. O município de Lagoa da Prata localiza-se na região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, a 655 metros de altitude, nas coordenadas geográficas Latitude: 19° 58' 44" Sul e Longitude: 45° 29' 18" Oeste, possui área territorial de 439,984 km<sup>2</sup>, 45.984 habitantes e densidade demográfica de 104,51 habitantes/km<sup>2</sup> (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010).

O município de Montes Claros encontra-se na região Norte do estado de Minas Gerais, a 661 metros de altitude, nas coordenadas geográficas Latitude: 16° 44' 13" Sul e Longitude: 43° 51' 53" Oeste, possui área territorial de 3.568,941 km<sup>2</sup>, 361.915 habitantes e densidade demográfica de 101,41 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Já o município de Pouso Alto localiza-se na região Sul do estado de Minas Gerais, a 887 metros de altitude, nas coordenadas geográficas Latitude: 22° 11' 51" Sul e Longitude: 44° 58' 21" Oeste, possui área territorial de 263,034 km<sup>2</sup>, 6.213 habitantes e densidade demográfica de 23,62 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Pela Classificação Climática de Köppen-Geiger, o clima do município de Lagoa da Prata é classificado como Clima Subtropical Úmido (Cwa), o clima de Montes Claros Tropical com Estação Seca (Aw), e o clima de Pouso Alto é Oceânico (Cfb) (ALVARES et al., 2013).

Os três municípios supracitados foram escolhidos por estarem localizados em diferentes regiões de um mesmo estado, apresentando climas diferentes, garantindo assim dados diversificados que foram utilizados no estudo.

### **4.2 Levantamento de dados**

#### **4.2.1 Dados pluviométricos**

Os dados pluviométricos que foram utilizados em todos os métodos de dimensionamento do volume do reservatório de água pluvial foram extraídos do site da Agência Nacional das Águas (ANA), através do Sistema de Informações Hidrológicas – HydroWeb, oferece um banco de dados que contém informações relevantes, coletadas pela rede hidrometeorológica, o qual disponibiliza dados como cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil

do rio, qualidade da água e sedimentos. Para realizar o levantamento pluviométrico, foram utilizados dados das séries históricas de precipitação dos anos de 1975 a 2016 para o município de Lagoa da Prata, 1960 a 2016, com exceção dos anos de 2001, 2002, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2015 para Pouso Alto, e os anos de 1969, 1970, 1975, 1980, 1981, 1982, 1991 até 1998 para Montes Claros. Os anos ignorados não ofereciam uma base sólida de informações para serem utilizadas no presente estudo.

#### 4.2.2 Dados da captação de água pluvial

Para que fosse possível a comparação de dados, parâmetros como a área de captação, número de moradores e/ou usuários da edificação, demanda do consumo de água potável e percentual de água potável a ser substituída por água pluvial foram padronizados, assim foi possível fazer a análise da influência dos aspectos climáticos de cada região em questão juntamente com a variação de material base da área de captação e, conseqüentemente, o coeficiente de escoamento superficial, possibilitando a identificação do método mais eficiente para tais condições. Desse modo, foram realizadas simulações seguindo as seguintes condições:

- Demanda diária de água potável de 100 e 300 litros per capita; em residências ocupadas por três moradores.
- Porcentagem de substituição de água potável por pluvial de 30% e 50%;
- Área de captação de 65, 100, 200 e 300 m<sup>2</sup>;

Para os dados de coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) foi utilizado os dados apresentados na TAB. 1, onde está representada a faixa do coeficiente de escoamento superficial (C) para cada tipo de material. No caso de valores do coeficiente de escoamento apresentados em faixas, tomou-se a média para os cálculos.

Tabela 1 – Faixa do coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de material.

Material	Faixa de C	Fonte
	0,8 – 0,90	Holkes e Fraiser apud Tomaz (2003)
Telha Cerâmica	0,75 – 0,90	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
	0,56	Khan apud May (2005)
Telha Metálica	0,70 – 0,90	Holkes e Fraiser apud Tomaz (2003)
	0,85	Khan apud May (2005)

Tabela 1 – Continuação.

Material	Faixa de C	Fonte
Telha Esmaltada	0,80 – 0,90	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
Cobertura de PVC	0,94	Khan apud May (2005)
Betume	0,80 – 0,95	Van den Bossche apud Vaes e Berlamont (1999)
Telhados Verdes	0,27	Khan apud May (2005)

Fonte: Gonçalves, 2006, p. 113.

### 4.3 Métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial

Para o estudo em questão, foram utilizados esses 6 métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial além de variações dos métodos que não levam em consideração o coeficiente de escoamento superficial, adicionando-o às equações.

#### 4.3.1 Método de Rippl

Neste método, subtrai-se o volume de água que escoar pela superfície da área de captação da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo  $t$ , podendo ser utilizado dados de precipitação mensal ou diário, onde a utilização de dados mensais implicará em reservatórios maiores. Esse método expresso pela Equação 1, fazendo o uso da Equação 2 para cálculo do volume de água aproveitável no intervalo de tempo  $t$  e por meio da Equação 3 determinando o volume do reservatório.

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

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (2)$$

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

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

em que:

$S_{(t)}$  = volume de água no reservatório no tempo  $t$  ( $m^3$ );

$Q_{(t)}$  = volume de chuva aproveitável no tempo  $t$  ( $m^3$ );

$D_{(t)}$  = demanda ou consumo no tempo  $t$  ( $m^3$ );

$P_{(t)}$  = precipitação no tempo  $t$  (mm);

$A$  = Área de captação ( $m^2$ );

$V$  = volume do reservatório ( $m^3$ );

C = coeficiente de escoamento superficial.

#### 4.3.2 Método da simulação

Neste método, a evaporação da água não é considerada e foram feitas duas hipóteses: o reservatório está cheio no início do intervalo de tempo “t” e os dados históricos são representativos para condições futuras. O cálculo é representado pela Equação 4, na qual consiste na avaliação do balanço hídrico calculado, fazendo o uso da Equação 5 para determinar o volume de água aproveitável no intervalo de tempo t.

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

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (5)$$

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

em que:

$S_{(t-1)}$  = é o volume de água no reservatório no tempo t – 1 (m<sup>3</sup>);

#### 4.3.3 Método Azevedo Neto

O Método Prático Brasileiro ou Método Azevedo Neto não considera a influência da demanda, considerando apenas o volume captado e o período de estiagem (mensal), sendo o cálculo do volume de reservatório expresso pela Equação 6.

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

em que:

P = valor numérico da precipitação média anual (mm);

T = valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

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

Como o método Azevedo Neto não leva em consideração o coeficiente de escoamento superficial, foi utilizada a Equação 7 que é uma versão adaptada do método Azevedo Neto com o coeficiente de escoamento superficial como parâmetro.

$$V = (0,042 \times P \times A \times T) \times C \quad (7)$$

#### 4.3.4 Método Prático Alemão

Este método considera o menor valor do volume do reservatório, no qual se considera 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável, sendo expresso pela Equação 8.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín} (V; D) \times 0,06 \quad (8)$$

em que:

V = valor numérico do volume aproveitável de água da chuva anual (L);

D = valor numérico da demanda anual da água não potável (L);

$V_{\text{adotado}}$  = valor numérico do volume de água do reservatório (L).

Assim como no método Azevedo Neto, o método Prático Alemão também teve sua equação adaptada conforme demonstrado pela Equação 9.

$$V_{\text{adotado}} = [\text{mín} (V \times C; D) \times 0,06] \quad (9)$$

#### 4.3.5 Método Prático Inglês

Assim como no Método Azevedo Neto, o Método Prático Inglês também não considera a demanda para a realização do cálculo, fazendo o uso apenas da precipitação média anual e área de captação, sendo o cálculo do volume do reservatório expresso pela Equação 10.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (10)$$

em que:

P = valor numérico da precipitação média anual (mm);

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

A equação adaptada do método Prático Inglês, a qual considera o coeficiente de escoamento superficial como parâmetro modificador, é demonstrada pela Equação 11.

$$V = (0,05 \times P \times A) \times C \quad (11)$$

#### 4.3.6 Método Prático Australiano

O Método Prático Australiano apresenta a equação própria para o cálculo do volume devido ao fato de que esse método considera a interceptação da água que molha as superfícies e perdas relacionadas à evaporação, como mostrado na Equação 12.

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (12)$$

em que:

C = coeficiente de escoamento superficial;

P = precipitação média mensal (mm);

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

A = área de coleta (m<sup>2</sup>);

Q = volume mensal produzido pela chuva (L).

Para o cálculo do volume do reservatório foi utilizada a Equação 13, onde se alcançou o resultado através de tentativas até que fossem obtidos valores otimizados de confiança e o volume do reservatório. Observa-se que, para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio para a realização do cálculo.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (13)$$

em que:

$Q_{(t)}$  = volume mensal produzido pela chuva no mês t (L);

$V_{(t)}$  = 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);

$D_{(t)}$  = demanda mensal (L).

Para a determinação da confiança do reservatório, utilizou-se a Equação 14.

$$C = 1 - \frac{N_r}{N} \quad (14)$$

em que:

C = confiança, onde se recomenda valores entre 90% e 99%;

N<sub>r</sub> = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando V<sub>t</sub> = 0;

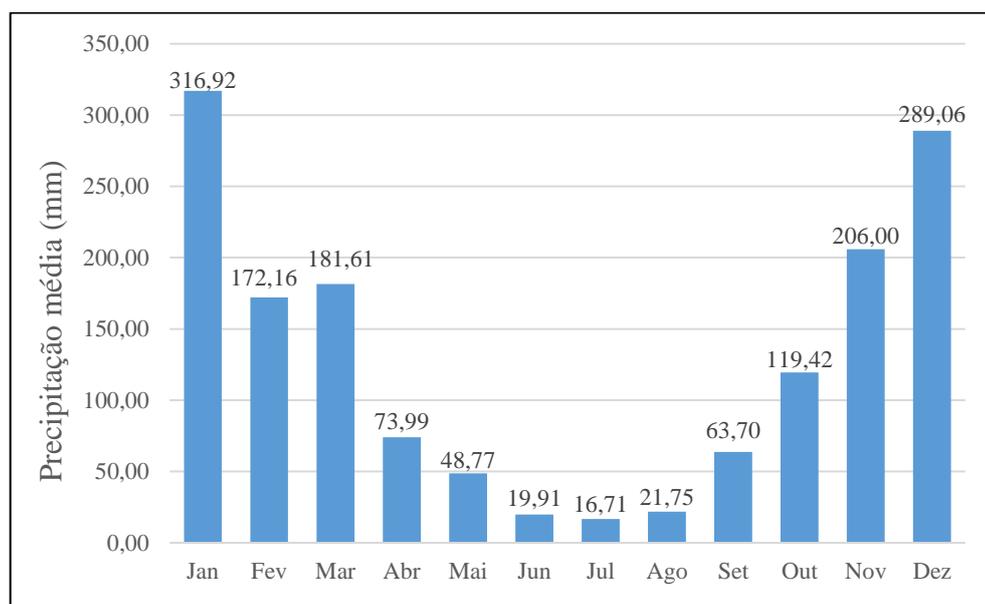
N = número de meses considerado, usualmente 12 meses.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Dados Pluviométricos

A precipitação média mensal para o município de Lagoa da Prata – MG, com base na série histórica de precipitação de 1975 a 2016, é mostrada no GRÁF. 1.

Gráfico 1 – Precipitação média mensal de Lagoa da Prata – MG.

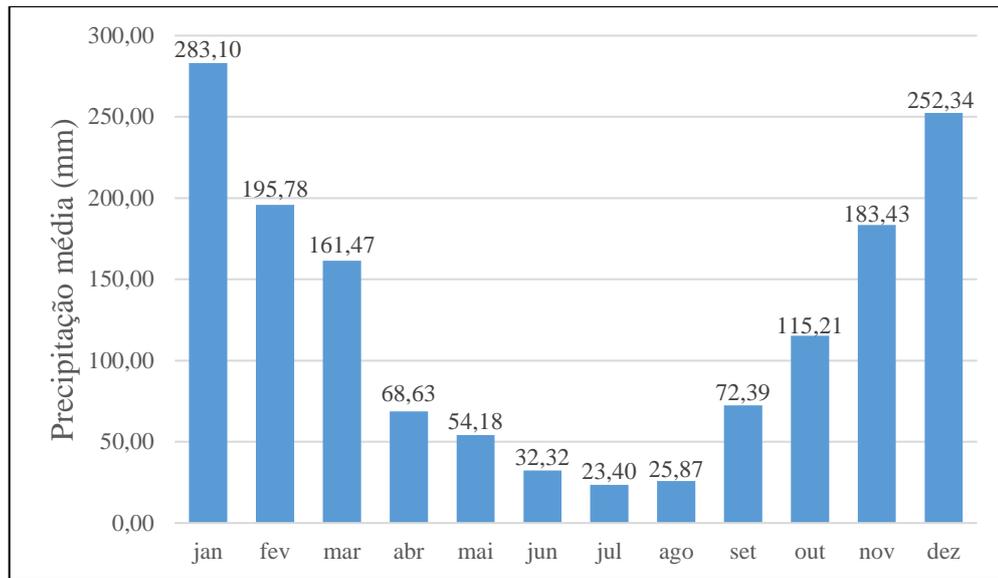


Fonte: ANA (2017).

É possível constatar que o mês de janeiro apresenta a maior precipitação média, com 316,92 mm, e o mês de julho apresenta a menor precipitação média, com 16,71 mm durante o mês. O período de estiagem se dá entre os meses de abril a setembro, em média, apresentando apenas 15,95% do total da precipitação anual.

Considerando o período de 1960 a 2016, com exceção dos anos de 2001, 2002, 2007 a 2011 e 2015, a precipitação média mensal para o município de Pouso Alto é demonstrada pelo GRÁF. 2.

Gráfico 2 – Precipitação média mensal de Pouso Alto – MG.

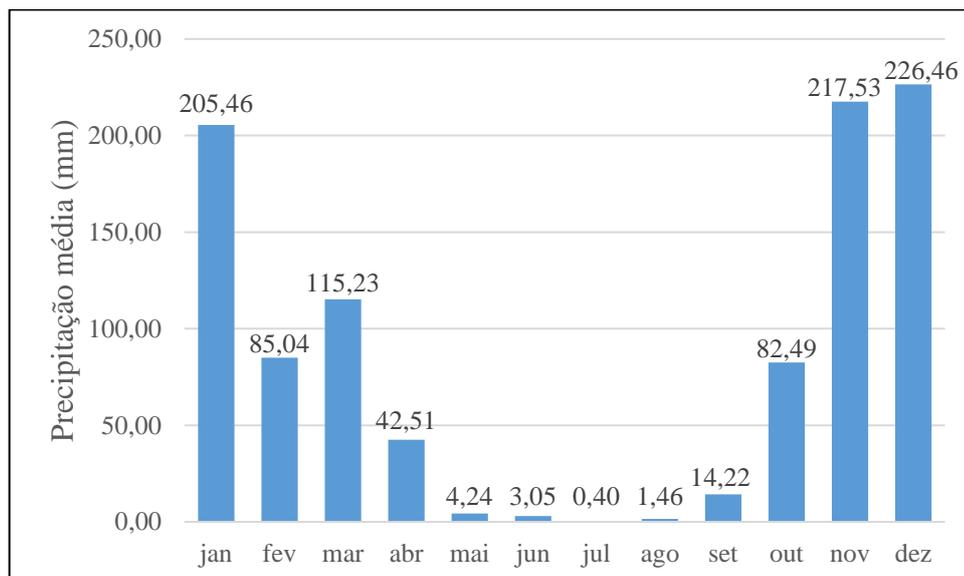


Fonte: ANA (2017).

A maior pluviosidade mensal média foi obtida para o mês de janeiro, com 283, 10 mm, e o mês de julho se caracteriza como o mês com a menor precipitação média, no valor de 23,40 mm. Do mês de abril até o mês de setembro, caracteriza-se o período com as menores precipitações, representando 18, 84% da precipitação anual total.

No GRÁF. 3 são demonstrados os valores de precipitação média para o município de Montes Claros, nos anos de 1969, 1970, 1975, 1980, 1981, 1982, 1991 até 1998.

Gráfico 3 – Precipitação média mensal de Montes Claros.

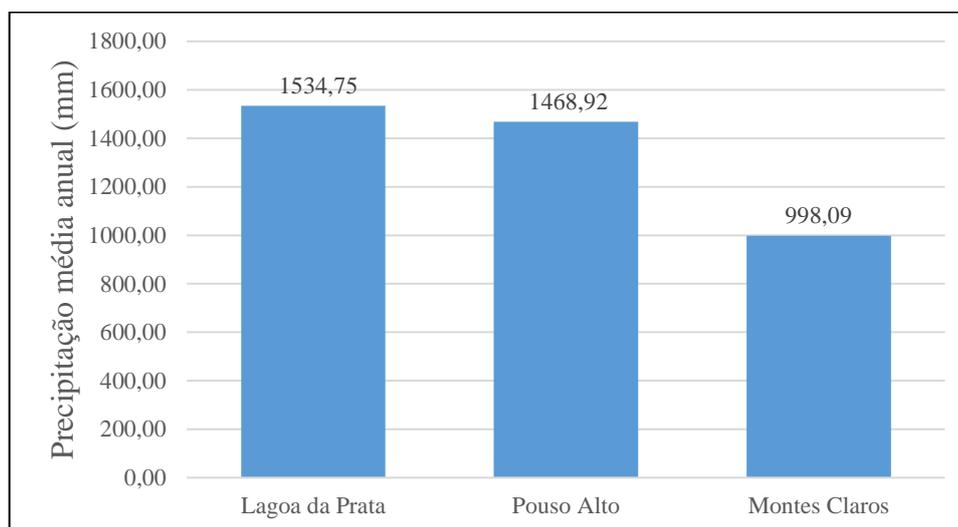


Fonte: ANA (2017).

Para o município de Montes Claros, obteve-se a maior precipitação mensal média no mês de dezembro, com 226,46 mm, e a menor no mês de julho, com apenas 0,40 mm, sendo o período de estiagem entre os meses de abril e outubro, representando apenas 14,87% do total da precipitação anual.

Já quanto à precipitação média anual dos municípios estudados, no GRÁF. 4 pode-se verificar que o município de Lagoa da Prata foi o município que apresentou o maior índice de precipitação média anual (1534,75 mm), seguido pelo município de Pouso Alto (1468,92 mm), e o município de Montes Claros caracteriza-se como o município com a menor pluviosidade anual (998,09 mm).

Gráfico 4 – Precipitações médias anuais dos municípios de Lagoa da Prata, Pouso Alto e Montes Claros.



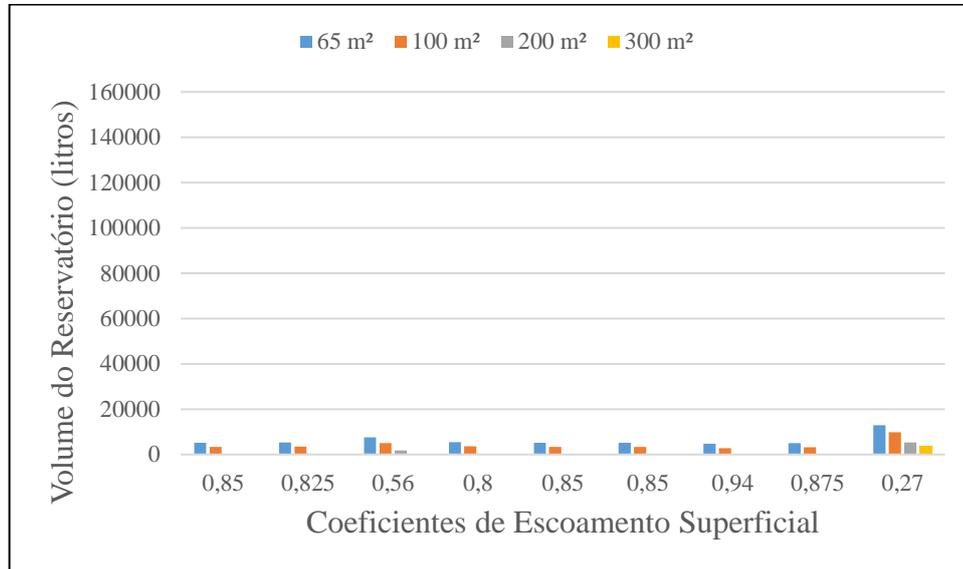
Fonte: ANA (2017).

## 5.2 Determinação do volume de reservatório de água pluvial

### 5.2.1 Método de Rippl

Para a utilização do Método de Rippl, foram considerados os dados das precipitações médias mensais de cada cidade, as áreas de captação pré-estabelecidas e também as condições de substituição da água potável pela pluvial juntamente com a demanda, variando o coeficiente de escoamento pluvial. Deste modo, foram obtidos os resultados apresentados no GRÁF. 5 para o município de Lagoa da Prata, utilizando 30% para a substituição de água potável por pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

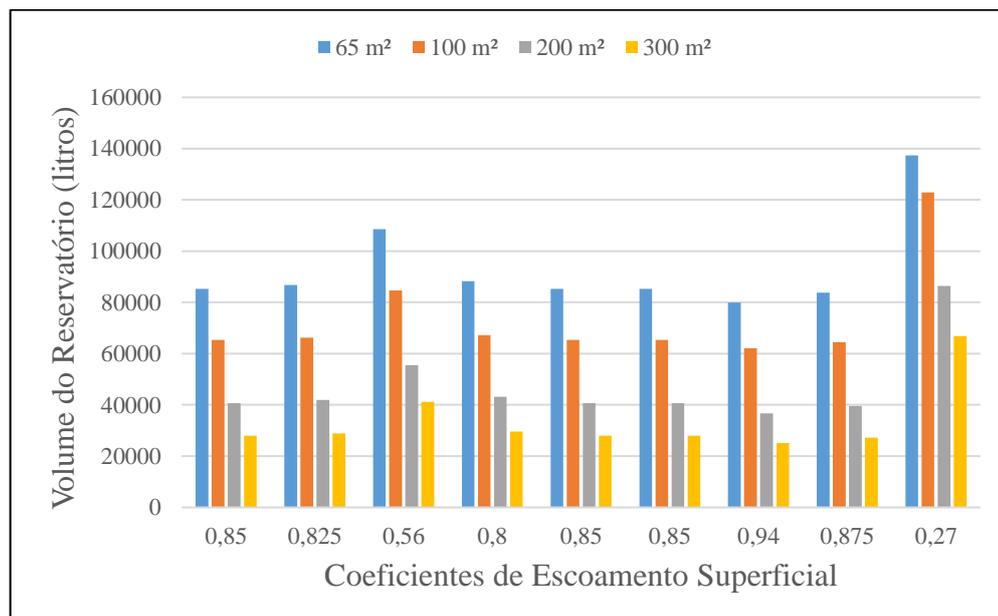
Gráfico 5 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl.



Fonte: O autor, 2017.

Já utilizando 50% para a substituição de água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, obtiveram-se os resultados apresentados no GRÁF. 6.

Gráfico 6 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl.



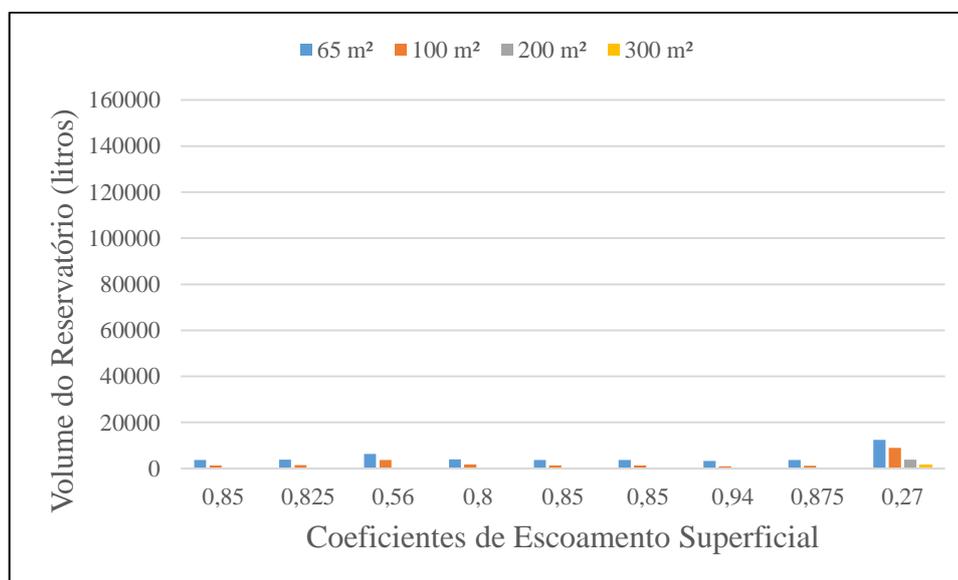
Fonte: O autor, 2017.

Pode-se perceber que, nos dois casos, os maiores volumes de reservatórios sempre foram obtidos quando utilizado área de captação com 65 m<sup>2</sup> e os volumes tornavam-se ainda maiores quando os valores de coeficientes de escoamento superficial diminuía. Um aspecto que se mostra relevante é o fato de que, para grandes demandas, o Método de Rippl fornece valores de reservatórios muito elevados, principalmente em casos onde a área de captação é pequena.

Outro fator interessante é que, para baixas demandas e áreas de captação grandes, o Método de Rippl se mostra não efetivo, uma vez que o volume de água captado, especialmente em função do coeficiente de escoamento superficial, é muito superior à demanda. Nesse caso, apresentou valor considerável apenas quando o coeficiente de escoamento superficial foi de telhados verdes, com valor de 0,27.

Os volumes de reservatórios calculados através do Método de Rippl, resultantes da utilização de 30% como percentual de substituição e 100 litros per capita, para 3 moradores, para o município de Pouso Alto são apresentados no GRÁF. 7.

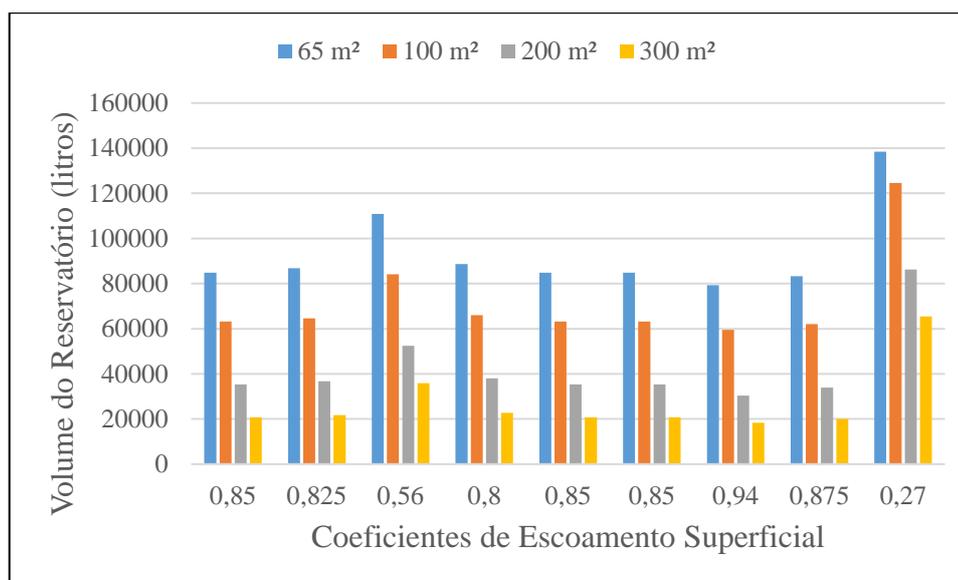
Gráfico 7 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl.



Fonte: O autor, 2017.

Para a utilização de 50% de substituição da água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, foram obtidos os resultados demonstrados no GRÁF. 8.

Gráfico 8 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl.



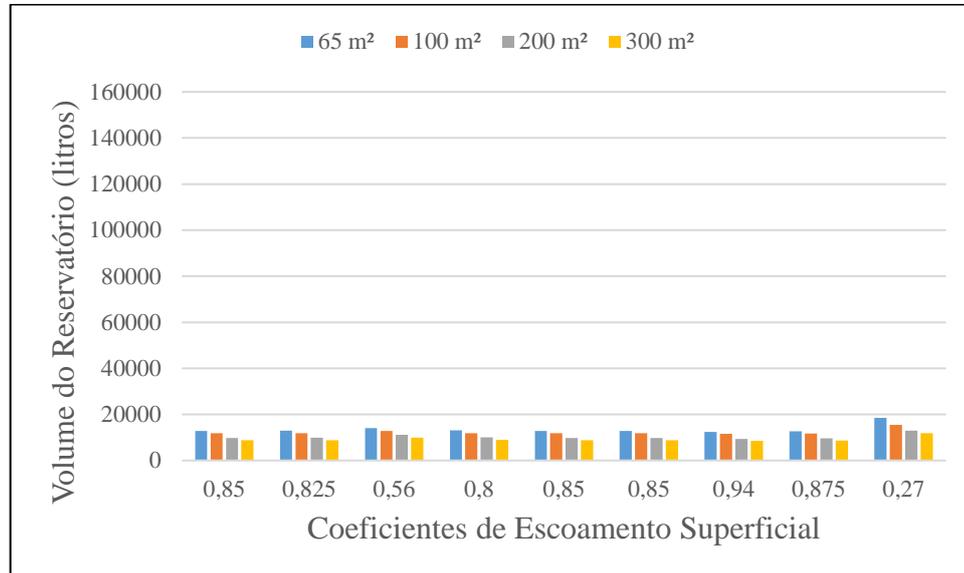
Fonte: O autor, 2017.

Observou-se, para Pouso Alto, comportamento semelhante à Lagoa da Prata para o Método de Rippl, em ambos os casos.

Foi possível observar que apesar de o município de Pouso Alto apresentar precipitação média anual um pouco inferior que o município de Lagoa da Prata, ainda se conseguiu valores de volume de reservatório menores, uma vez que o município de Pouso Alto apresenta um período de estiagem com um volume de precipitação um pouco mais elevado e melhor distribuído do que o município de Lagoa da Prata, fazendo assim com que o balanço de volume de água pluvial captada e a demanda fosse atendido com a necessidade de volumes de reservatório menores. Nesse caso, o Método de Rippl ainda se mostra não efetivo quando se utiliza baixas demandas com grandes áreas de captação, também mostrando valores consideráveis apenas quando utilizado o coeficiente de escoamento superficial igual a 0,27.

No GRÁF. 9 pode ser observado os volumes de reservatório adquiridos pelo Método de Rippl para o município de Montes Claros, quando utilizado 30% como percentual de substituição e 100 litros per capita, para 3 moradores.

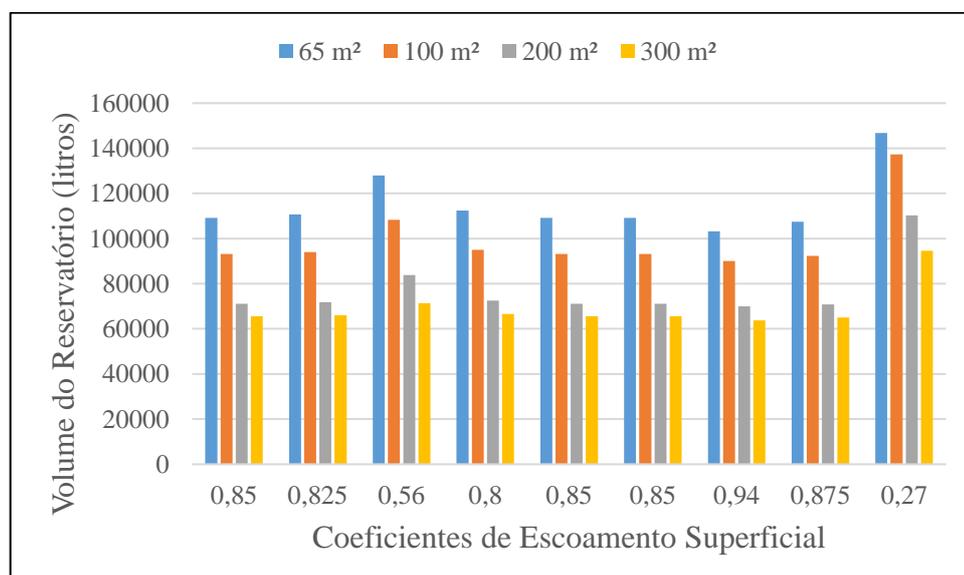
Gráfico 9 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl.



Fonte: O autor, 2017.

Já no GRÁF. 10, estão representados os valores de volume do reservatório na utilização de 50% de substituição da água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, no município de Montes Claros.

Gráfico 10 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método de Rippl.



Fonte: O autor, 2017.

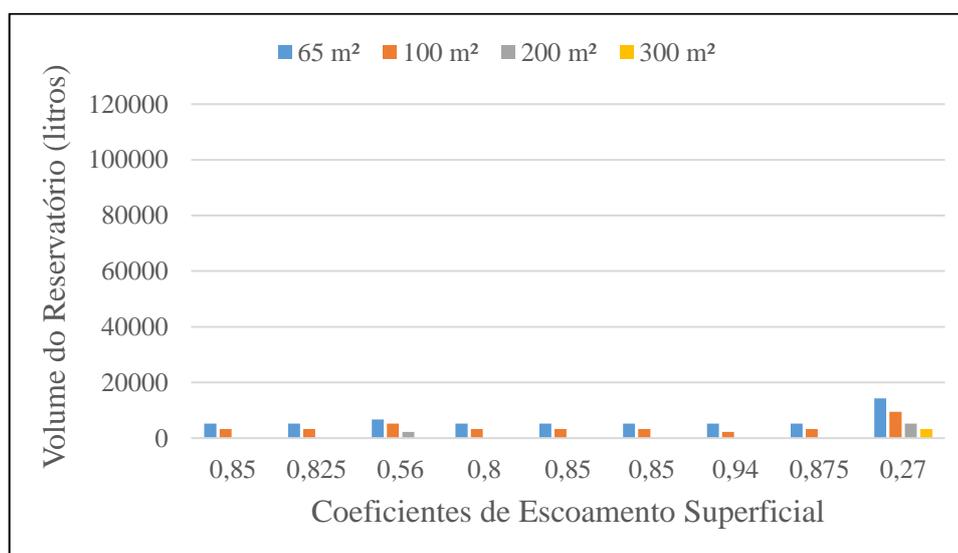
Para o município de Montes Claros, pode-se observar que foram obtidos os maiores valores de volumes de reservatório. Isso se dá pelo fato de que é o município que apresenta os menores índices pluviométricos, fazendo com que o Método de Rippl, por utilizar do balanço entre o volume de água pluvial captado e a demanda, gere valores mais elevados para garantir o armazenamento durante o período em que a demanda é maior que o volume a ser captado.

Para baixas demandas, baixas precipitações e grandes áreas de captação, o método de Rippl apresentou valores maiores, diferentemente do ocorrido para os municípios de Lagoa da Prata e Pouso Alto, onde para baixas demandas e grandes áreas de captação o método gerou valores não-efetivos ao dimensionamento pelo método de Rippl, uma vez que o volume captado de água pluvial era maior do que a demanda em todo o período do ano.

### 5.2.2 Método da Simulação

Para o Método da Simulação, os cálculos dos volumes de reservatório foram feitos através de tentativas, de forma a não necessitar de suprimento de água externo para atender à demanda. O GRÁF. 11 ilustra os resultados para volume de reservatório pelo Método da Simulação para o município de Lagoa da Prata, quando utilizado 30% como percentual de substituição e 100 litros per capita, para 3 moradores.

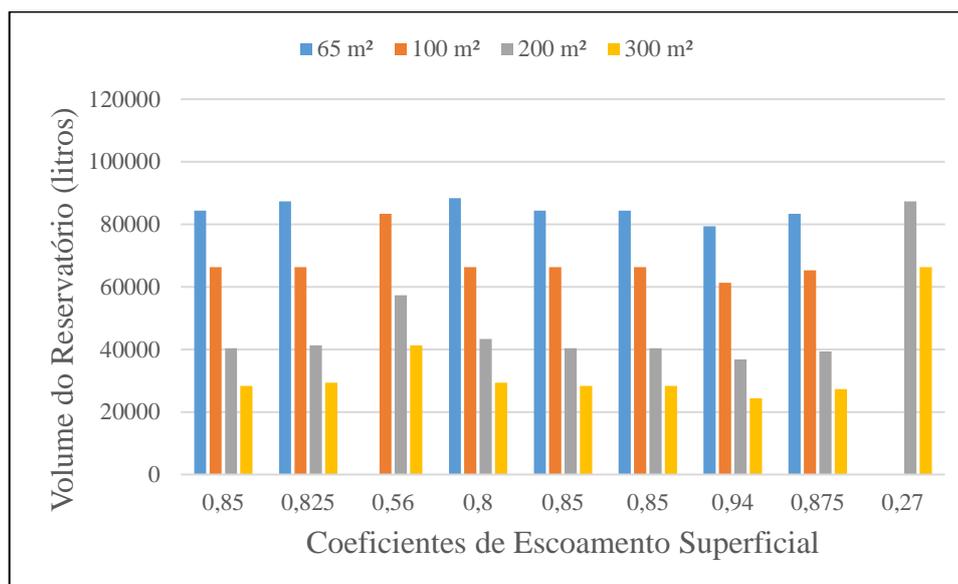
Gráfico 11 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação.



Fonte: O autor, 2017.

Já no GRÁF. 12 pode-se observar os valores de volume de reservatório quando utilizado 50% de substituição da água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, no município de Lagoa da Prata.

Gráfico 12 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata– MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação.



Fonte: O autor, 2017.

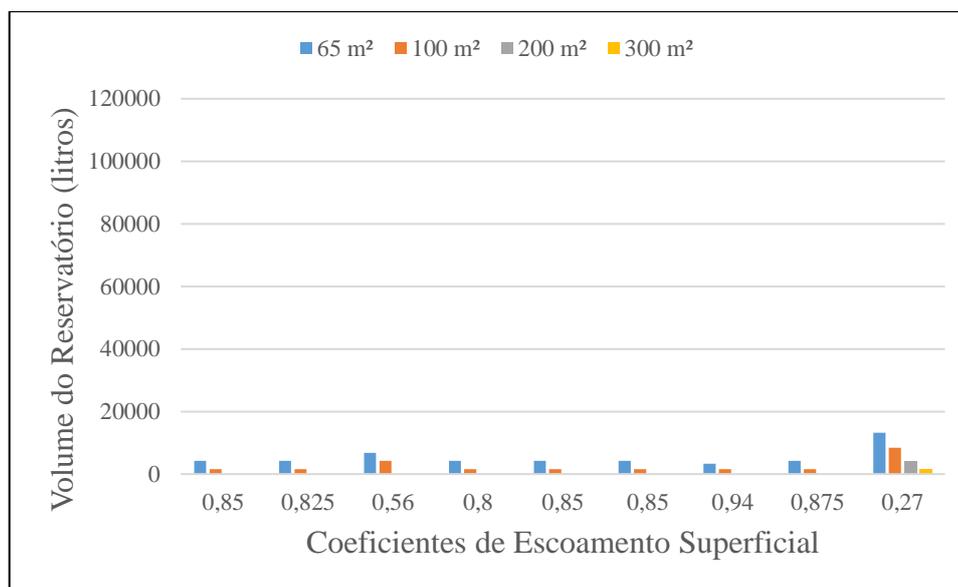
Por meio dos resultados, pode-se observar que o Método da Simulação apresenta comportamento semelhante ao Método de Rippl, pois ele também utiliza do princípio de balanço hídrico entre o volume captado de água pluvial e a demanda de água. Porém, no Método da Simulação, quando utilizado 30% de substituição da água potável por água pluvial, 100 litros per capita para 3 moradores e os valores de 200 m² e 300 m² de área de captação, foram obtidos valores de volume de reservatório iguais a zero, exceto quando utilizado telhados verdes, por este possuir coeficiente de escoamento superficial igual a 0,27 como material constituinte da área de captação.

O Método da Simulação mostra que, quando se possui um elevado volume de água pluvial captado em relação à demanda, uma vez que esse depende da precipitação média mensal, da área de captação e do coeficiente de escoamento superficial, não seria viável, nem mesmo efetivo a implantação de um reservatório, já que o *overflow* seria grande, apresentando que não há a necessidade de um reservatório, ou apenas a utilização de um reservatório mínimo de modo a reter apenas a demanda diária.

No caso de 50% de substituição da água pluvial por água potável, 300 litros per capita para 3 moradores, o Método da Simulação também apresentou semelhança com o Método de Rippl, porém, quando utilizado coeficientes de escoamento superficial de 0,56 e 0,27, com área de captação de 65 m<sup>2</sup>, o método se mostrou não efetivo, devido ao balanço entre o possível volume captado de água pluvial e a demanda, sendo que nesse caso, mesmo aumentando o volume do reservatório, seria ainda necessário um suprimento de água externo, uma vez que a demanda é muito maior do que a produção de água pluvial, de modo a fazer o Método da Simulação não efetivo para essa situação.

Para o município de Pouso Alto foram obtidos os valores apresentados no GRÁF. 13, para 30% como percentual de substituição de água potável por água pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

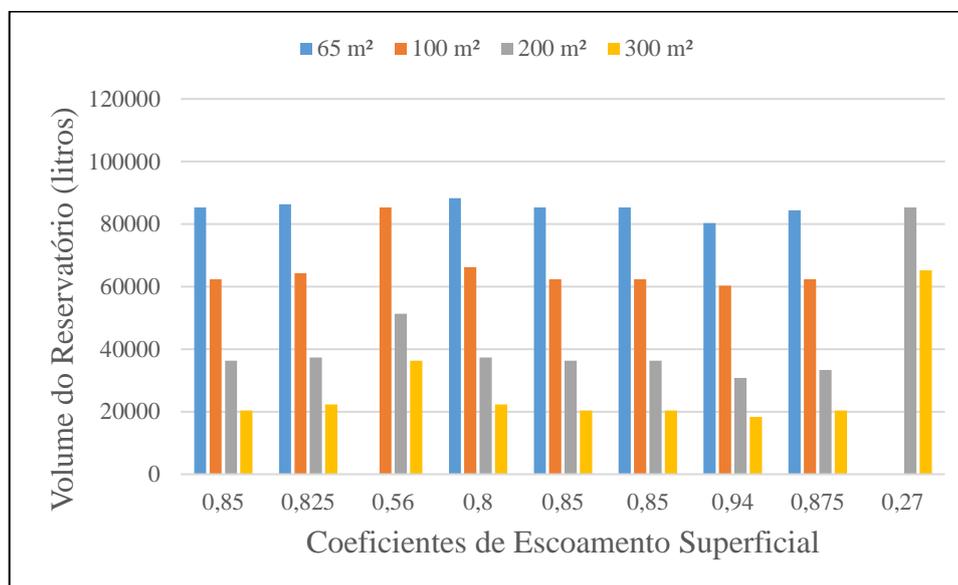
Gráfico 13 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação.



Fonte: O autor, 2017.

Já para utilização de 50% de substituição da água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, no município de Pouso Alto, se obteve o GRÁF. 14.

Gráfico 14 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação.

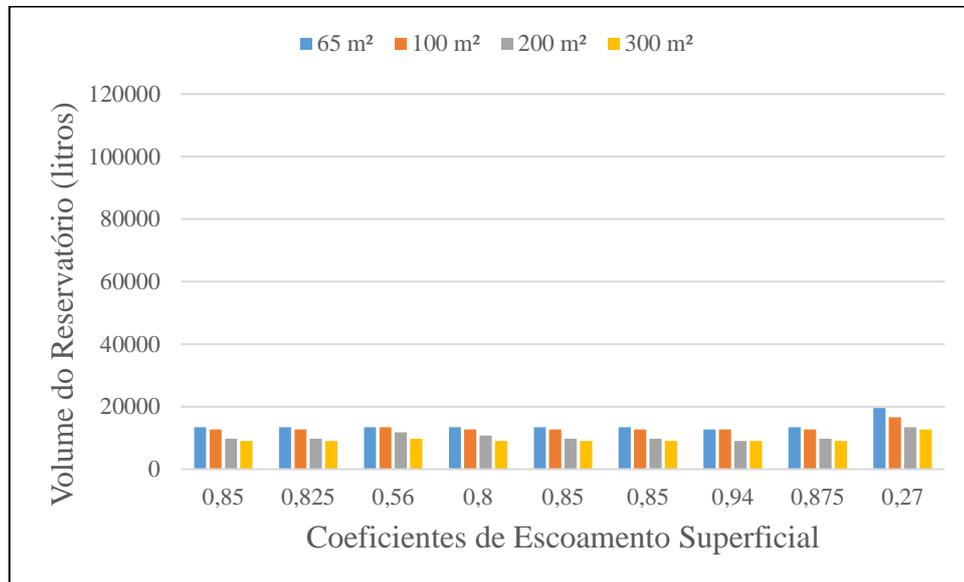


Fonte: O autor, 2017.

O município de Pouso Alto, por possuir uma distribuição de chuvas durante a estiagem um pouco melhor que o município de Lagoa da Prata, apresentou valores de volumes de reservatórios um pouco menores, seguindo o mesmo princípio do Método de Rippl sobre o balanço entre a produção de água pluvial e a demanda. Também é possível observar as mesmas peculiaridades quanto a grandes áreas de captação e baixas demandas, tornando dispensável o uso de um reservatório ou a utilização de um reservatório mínimo para reserva apenas da demanda diária; e também quanto a grandes demandas e pequenas áreas de captação, juntamente com a utilização de coeficientes de escoamento superficial de valor baixo, mostrando não ser um método efetivo quando há a necessidade de suprimento de água externo.

Para o município de Montes Claros, foi obtido o GRÁF. 15, quando utilizado 30% como percentual de substituição e 100 litros per capita, para 3 moradores.

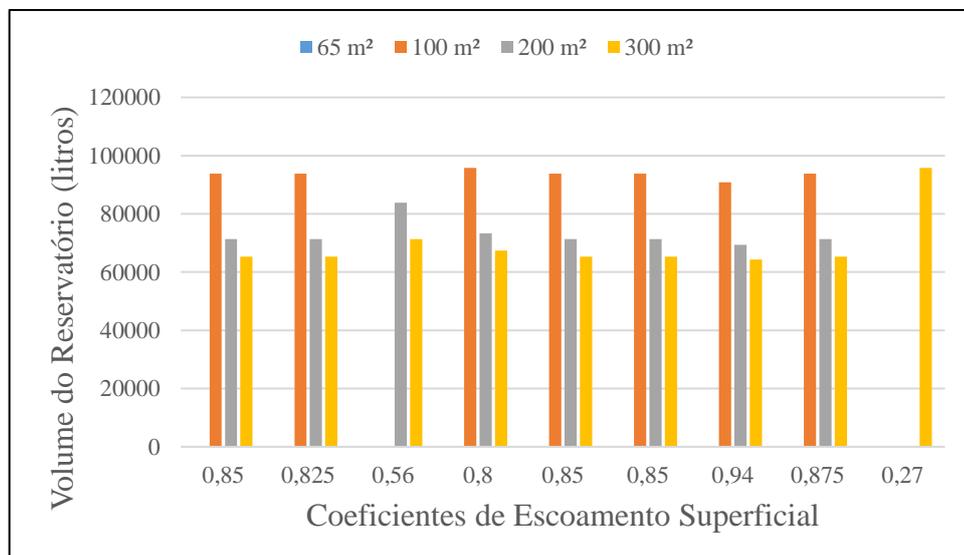
Gráfico 15 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação.



Fonte: O autor, 2017.

Para 50% de substituição da água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, no município de Montes Claros, foi obtido o GRÁF. 16, no qual estão representados os valores de volume do reservatório para esse caso.

Gráfico 16 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método da Simulação.



Fonte: O autor, 2017.

Para o município de Montes Claros, observa-se que o Método da Simulação apresenta os maiores volumes de reservatórios quando utilizado 30% de substituição da água potável pela água pluvial e 100 litros per capita se comparado com os municípios de Lagoa da Prata e Pouso Alto com as mesmas condições. Isso ocorre devido à baixa pluviosidade que ocorre no município, o menor entre os três estudados, apresentando valores bastante regulares com a variação do coeficiente de escoamento superficial.

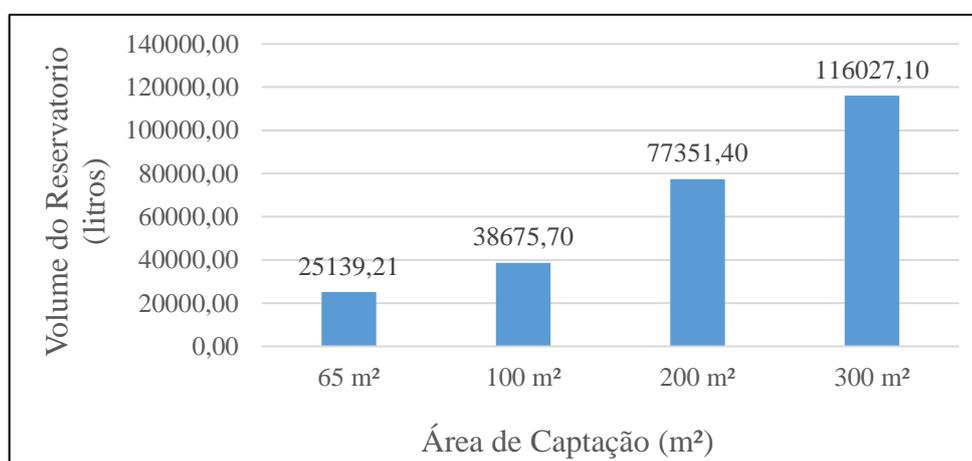
Para 50% de substituição e 300 litros per capita, também foi o que apresentou maiores valores de volume de reservatório entre os três municípios, nas mesmas condições. No caso de Montes Claros, quando utilizado 65 m<sup>2</sup> como área de captação, o Método da Simulação não se mostra efetivo em todos os coeficientes de *runoff*, uma vez que sempre será necessário o suprimento de água externo; já para área de captação de 100 m<sup>2</sup>, a não efetividade se dá apenas com os coeficientes de escoamento superficial de 0,56 e 0,27, e no caso de 200 m<sup>2</sup> de área de captação, ocorre apenas com coeficiente de 0,27. Essa característica se dá pelo fato de o volume captado não ser suficiente a ponto de excluir a necessidade de suprimento de água externo.

### 5.2.3 Método Azevedo Neto

Este método leva em consideração as médias pluviométricas em relação aos meses de pouca chuva e as áreas de captação, definindo-se os meses com pouca chuva como aqueles que apresentam menos de 85 mm de precipitação média mensal.

Para o município de Lagoa da Prata, foram obtidos os valores de volumes de reservatório apresentados no GRÁF. 17 pelo Método Azevedo Neto, em função da área de captação.

Gráfico 17 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Azevedo Neto.

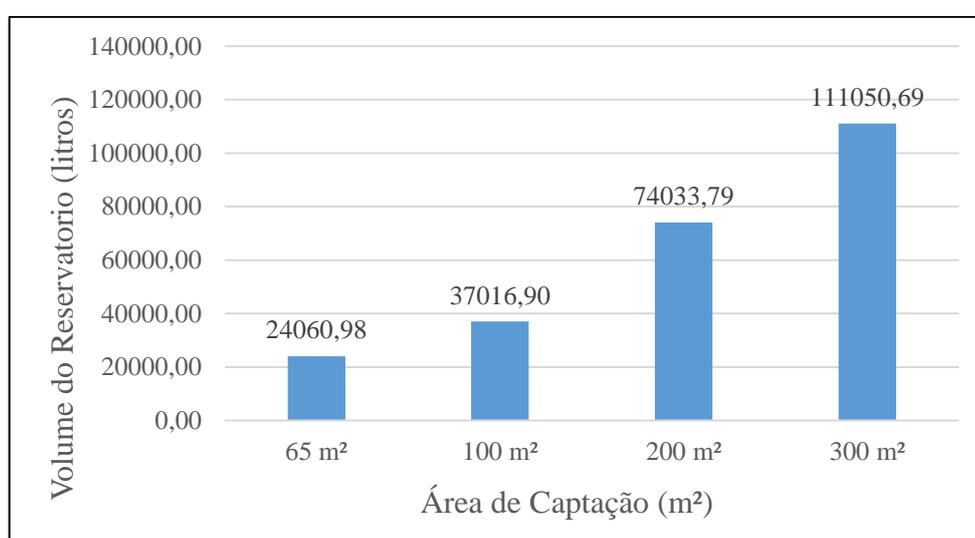


Fonte: O autor, 2017.

Por ser um método simples e bem direto, ele se mostra constante uma vez que apenas a área de captação é tida como valor variável. Apresentando o menor volume de reservatório de 25139,21 litros quando utilizando área de captação de 65 m<sup>2</sup>, e o maior volume de reservatório de 116027,10 litros quando utilizando área de 300 m<sup>2</sup>.

No GRÁF. 18 estão representados os volumes obtidos quanto ao dimensionamento do reservatório para o município de Pouso Alto, em função da área de captação.

Gráfico 18 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Azevedo Neto.

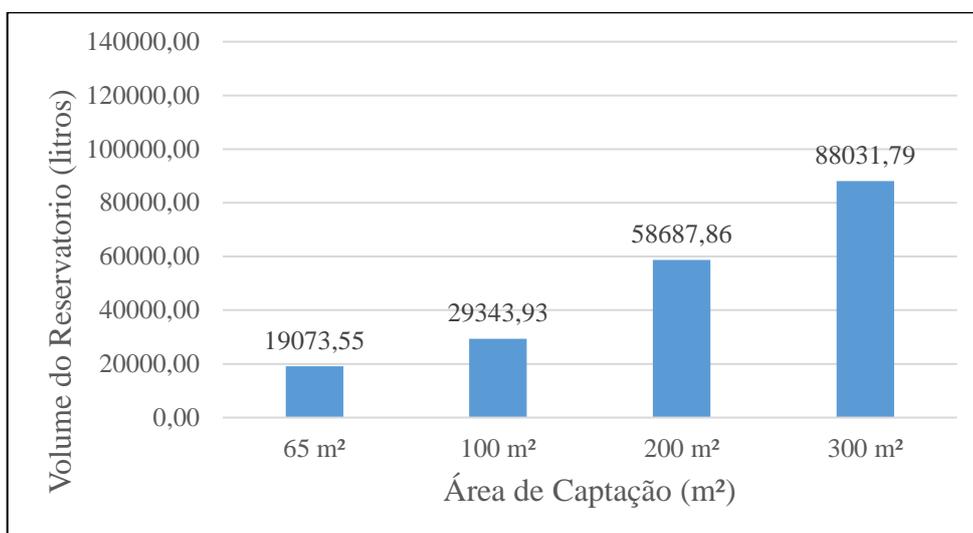


Fonte: O autor, 2017.

Os resultados para o município de Pouso Alto foram bastante semelhantes aos do município de Lagoa da Prata, mostrando a mesma característica de aumento do volume do reservatório à medida que aumentou a área de captação, porém obtendo-se valores um pouco mais baixos devido à menor precipitação média anual apresentada pelo município de Pouso Alto.

Os volumes de reservatório obtidos através do Método Azevedo Neto, para o município de Montes Claros, em função da variação da área de captação são demonstrados no GRÁF. 19.

Gráfico 19 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Azevedo Neto.



Fonte: O autor, 2017.

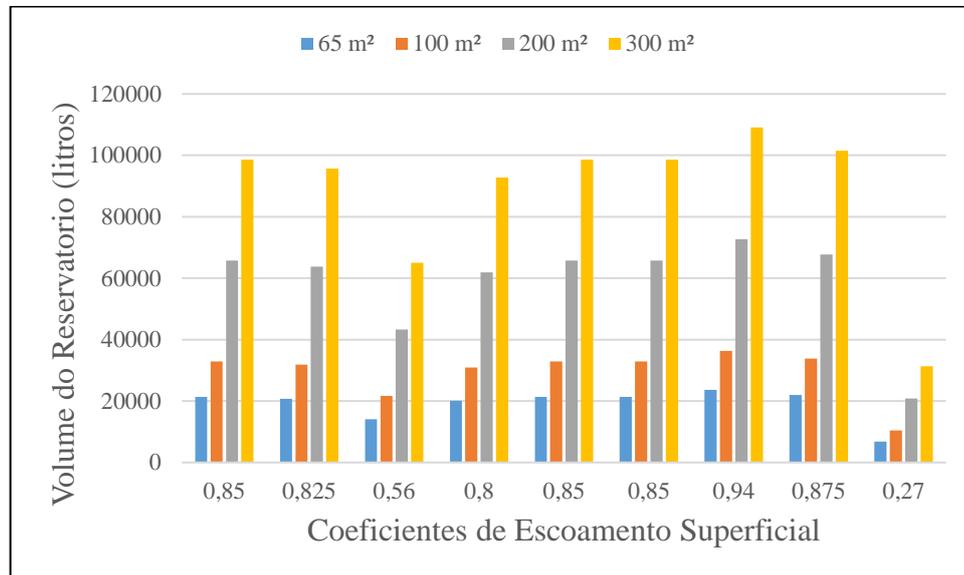
Por possuir o menor índice pluviométrico anual entre os três municípios, Montes Claros obteve os menores valores de volumes de reservatório, uma vez que o Método Azevedo Neto não considera demanda como fator para o cálculo.

Neste método, observa-se que o comportamento dos valores obtidos é o inverso para os métodos de Rippl e da Simulação, já que à medida que a área de captação aumenta, o volume do reservatório também aumenta, por se considerar apenas o volume aproveitável de água da chuva, sendo assim pouco eficiente para pequenas áreas de captação, pois não há a possibilidade de comprovação de suficiência do reservatório quanto à demanda necessária.

#### 5.2.4 Método Azevedo Neto Adaptado

Para o município de Lagoa da Prata, foram obtidos os valores de volumes de reservatório apresentados no GRÁF. 20 pelo Método Azevedo Neto adaptado, em função dos coeficientes de escoamento superficial.

Gráfico 20 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função dos diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado.

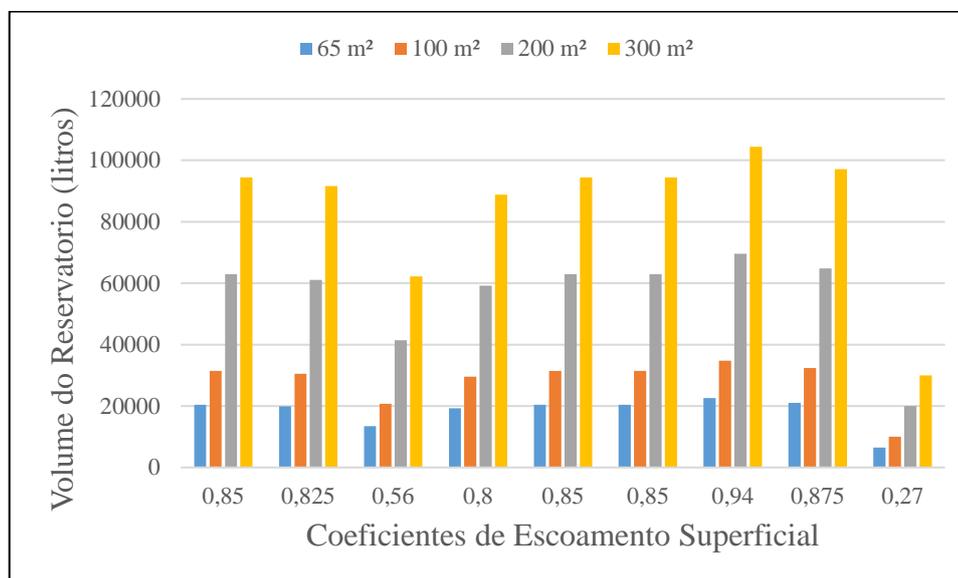


Fonte: O autor, 2017.

Pode ser observado que aplicando os coeficientes de escoamento superficial como variável utilizável para os cálculos, o Método Azevedo Neto adaptado apresenta valores semelhantes ao método original, seguindo o padrão do aumento do volume de reservatório equivalente ao aumento da área de captação, apresentando como única diferença a redução dos volumes de reservatório proporcionalmente ao valor do coeficiente de escoamento.

No GRÁF. 21, estão representados os volumes obtidos quanto ao dimensionamento do reservatório para o município de Pouso Alto, em função dos coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado.

Gráfico 21 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função dos diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado.

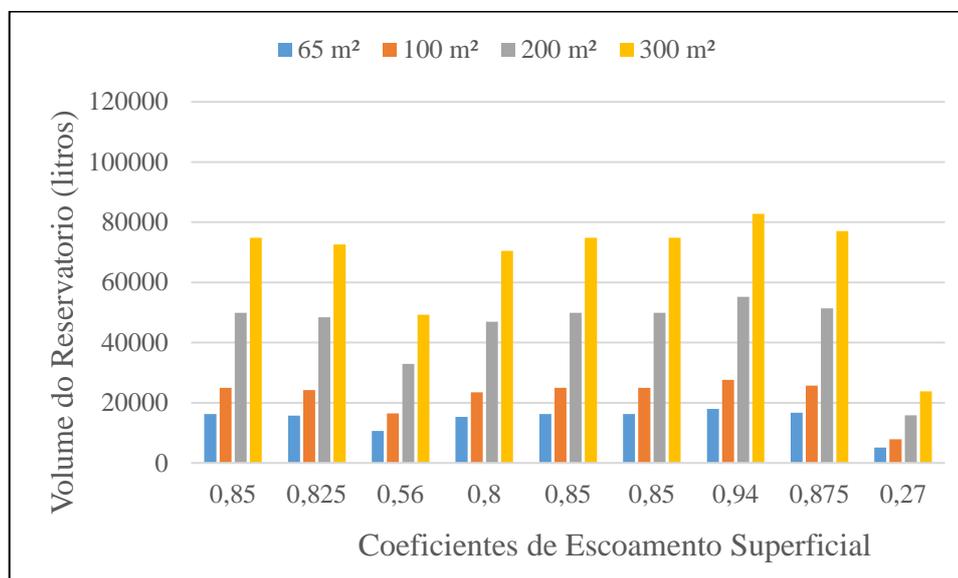


Fonte: O autor, 2017.

Para o município de Pouso Alto, o GRÁF. 21 apresenta valores semelhantes aos do município de Lagoa da Prata, apresentando as mesmas características, diferenciando-se apenas nos volumes dos reservatórios, devido ao município de Pouso Alto possuir pluviosidade anual média inferior se comparado ao município de Lagoa da Prata. O Método Azevedo Neto adaptado acaba gerando valores menores, pois leva esse parâmetro em consideração para os cálculos. Apresenta também a proporcionalidade dos volumes de reservatório devido ao coeficiente de escoamento superficial, sendo os menores valores de volume de reservatório obtidos para o menor coeficiente de escoamento superficial.

Os volumes de reservatório obtidos através do Método Azevedo Neto adaptado, para o município de Montes Claros, em função da variação dos coeficientes de escoamento superficial estão demonstrados no GRÁF. 22.

Gráfico 22 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função dos diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Azevedo Neto adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

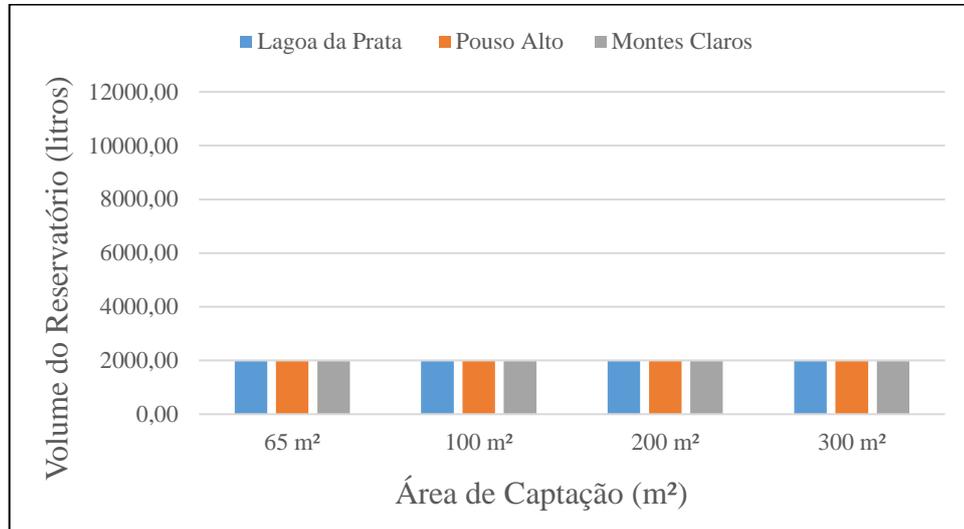
Por ser o município que apresenta o menor valor de precipitação anual média, Montes Claros foi o que apresentou os menores resultados de volume do reservatório. No entanto, ainda apresentou as características observadas anteriormente para os outros municípios, quanto a proporcionalidade devido aos coeficientes de escoamento superficial e a as áreas de captação, já que estas são inerentes ao método.

Considerando-se os coeficientes de escoamento superficial como variável no cálculo foi possível observar que os valores de volume de reservatório são proporcionais aos coeficientes, de modo a apresentar os maiores volumes de reservatório quando utilizado o coeficiente de escoamento superficial igual a 0,94, e os menores volumes quando utilizado 0,27 como coeficiente.

### 5.2.5 Método Prático Alemão

O GRÁF. 23 apresenta os volumes de reservatório obtidos por meio do Método Prático Alemão, para os municípios de Lagoa da Prata, Pouso Alto e Montes Claros, com 30% de substituição da água potável por água pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

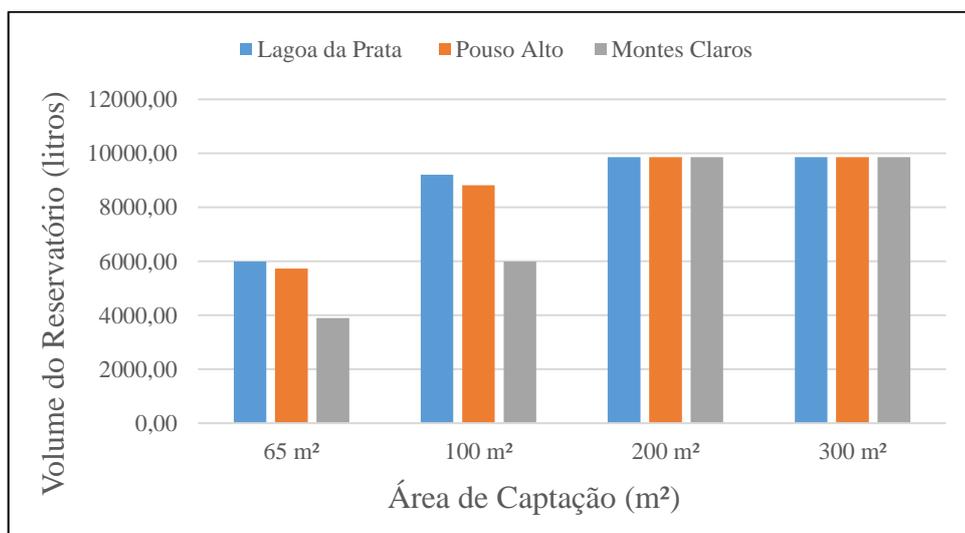
Gráfico 23 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, Pouso Alto – MG e Montes Claros – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, pelo Método Prático Alemão.



Fonte: O autor, 2017.

Já o GRÁF. 24 apresenta os volumes de reservatório, quando utilizando 50% de substituição da água potável por água pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, também para os municípios de Lagoa da Prata, Pouso Alto e Montes Claros.

Gráfico 24 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, Pouso Alto – MG e Montes Claros – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, pelo Método Prático Alemão.



Fonte: O autor, 2017.

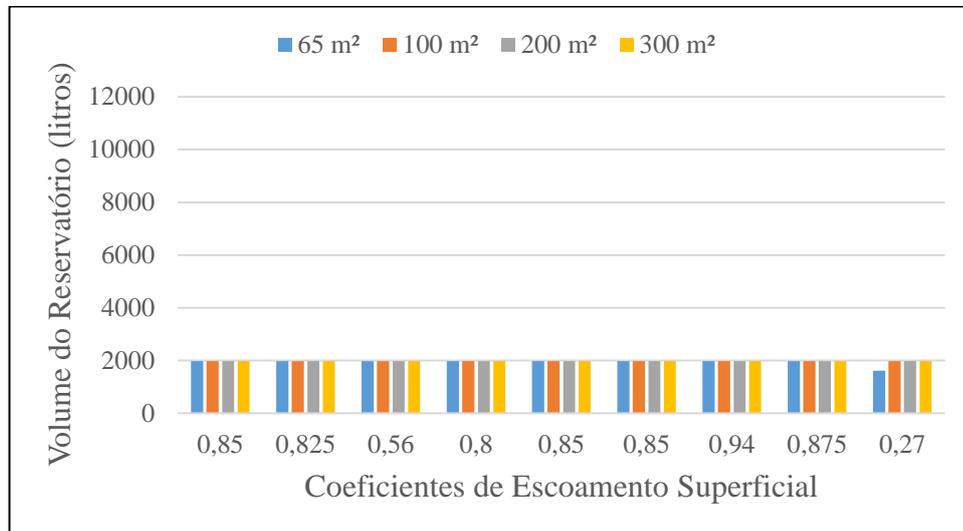
O Método Prático Alemão utiliza como princípio de cálculo o valor mínimo entre a demanda anual de água pluvial e o volume de água pluvial aproveitável, estipulando como valor do volume do reservatório 6% deste valor mínimo. Entendendo isso, é possível perceber que no GRÁF. 23 todos os valores foram iguais, mesmo variando área de captação e precipitações médias anuais, pois a demanda era igual entre eles e de valor inferior ao volume de água pluvial aproveitável.

Já para o apresentado no GRÁF. 24, como a demanda é maior, é possível notar a variação dos volumes de reservatório, uma vez que o método utiliza o valor do volume de água pluvial aproveitável por ser inferior a demanda quando utilizado 65 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup>. Assim, tem-se que os valores obtidos por este método são proporcionais às precipitações médias anuais (quando utilizado o volume de água aproveitável no cálculo), onde Lagoa da Prata apresenta o maior índice pluviométrico, apresentando o maior volume de reservatório, e o município de Montes Claros com o menor índice pluviométrico, apresentando o menor volume de reservatório. Com a área de captação de 200 m<sup>2</sup> e 300m<sup>2</sup>, o método se comporta de forma uniforme, onde a demanda possui valor inferior aos volumes de chuva aproveitável dos três municípios, sendo assim, o parâmetro utilizado para o cálculo do reservatório.

#### **5.2.6 Método Prático Alemão Adaptado**

O GRÁF. 25 apresenta os volumes de reservatório obtidos para o município de Lagoa da Prata, quando utilizado 30% como fator de substituição da água potável por água pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

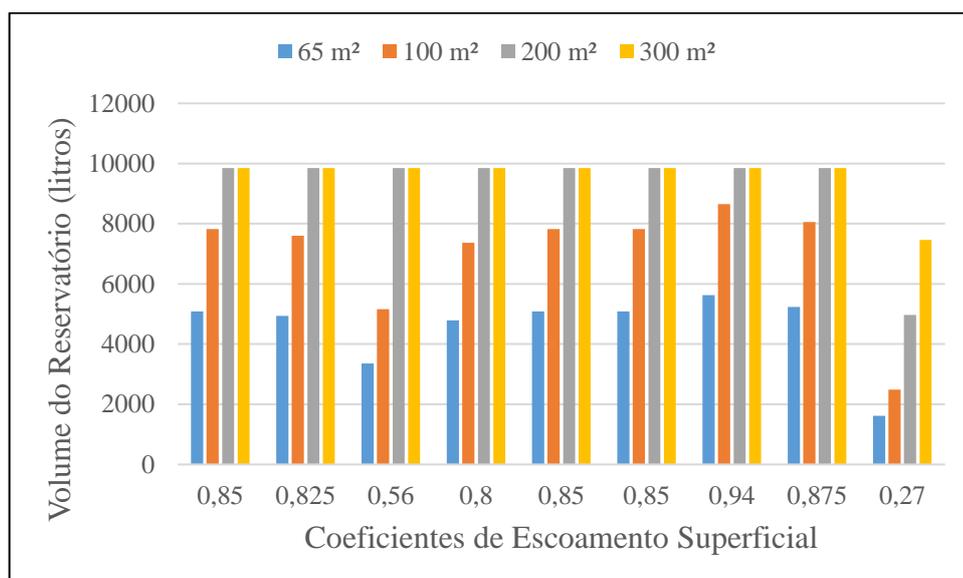
Gráfico 25 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

Já utilizando 50% como fator de substituição de água potável por água pluvial, 300 litros per capita, para 3 moradores, foram obtidos os volumes de reservatório apresentados no GRÁF. 26.

Gráfico 26 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Lagoa da Prata – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

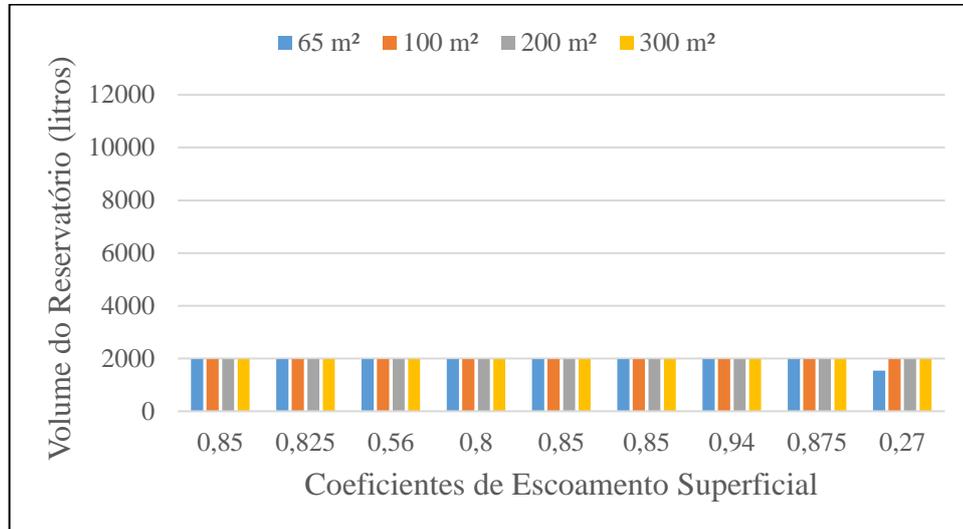
Conforme o Método Prático Alemão, esse método adaptado também utiliza o valor mínimo entre a demanda anual de água pluvial e o volume de água pluvial aproveitável, estipulando como valor do volume do reservatório 6% deste valor mínimo, porém, calculando o volume de água pluvial aproveitável levando em consideração o coeficiente de escoamento superficial para o cálculo.

Pode-se observar, no GRÁF. 25, que para baixas demandas, o método apresenta valores iguais para todas as áreas de captação, que se dá em função da demanda ser menor que o volume de água pluvial aproveitável, exceto para a área de captação de 65 m<sup>2</sup> utilizando coeficiente de escoamento superficial igual 0,27. Esse comportamento acontece devido ao fato de a demanda ser maior que o volume de água aproveitável por causa do coeficiente de escoamento, que reduz o volume de água aproveitável consideravelmente.

Já para grandes demandas, o método apresenta valores mais variados à medida que aumenta a área de captação, já que o volume de água aproveitável é menor que a demanda para as áreas de captação de 65 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup> para todos os coeficientes de escoamento. Para as áreas de captação de 200 m<sup>2</sup> e 300 m<sup>2</sup>, apenas para o coeficiente de 0,27 que o volume de água pluvial aproveitável é menor que a demanda, assim apresentando um valor menor do que para os outros coeficientes que apresentam valores constantes por causa do volume de água aproveitável ser maior que a demanda, como representado no GRÁF. 26.

Para o município de Pouso Alto, foram obtidos os valores de volume de reservatório apresentados no GRÁF. 27, quando utilizado 30% como fator de substituição da água potável por água pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

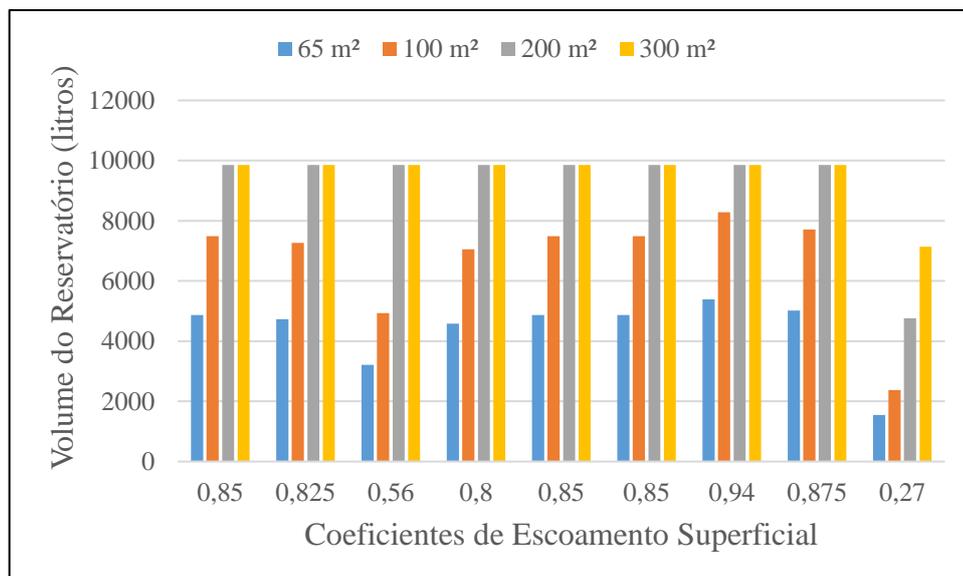
Gráfico 27 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Pouso Alto – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

Já quando utilizado 50% como fator de substituição da água potável por água pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, foram obtidos os volumes de reservatório apresentados no GRÁF. 28.

Gráfico 28 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Pouso Alto – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado.

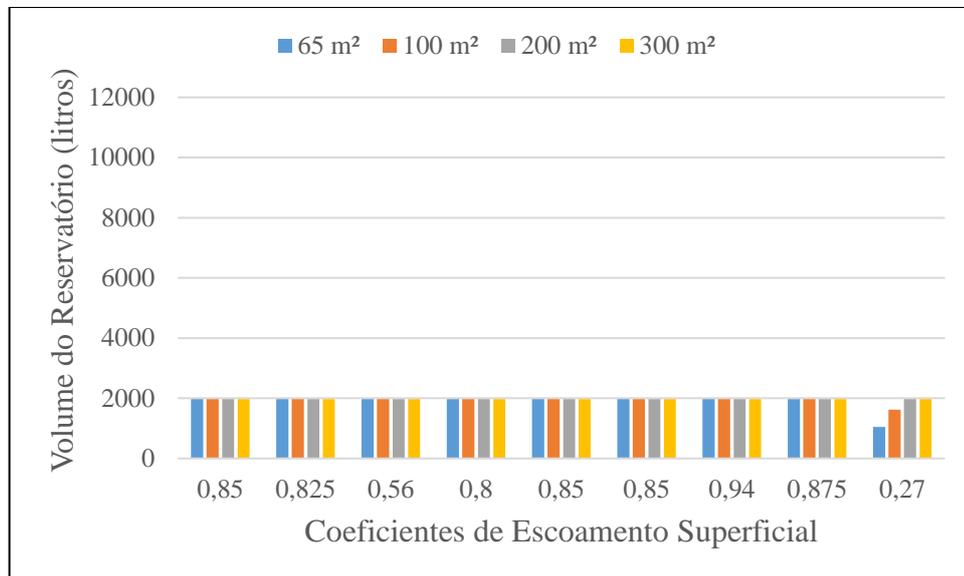


Fonte: O autor, 2017.

Por possuir pluviosidade anual média semelhante ao município de Lagoa da Prata, os resultados para volumes de reservatório obtidos, tanto para baixas demandas quanto grandes demandas, para o município de Pouso Alto foram similares aos de Lagoa da Prata.

Já para o município de Montes Claros, os volumes de reservatório obtidos, quando utilizado 30% como fator de substituição da água potável por água pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores, são apresentados no GRÁF. 29.

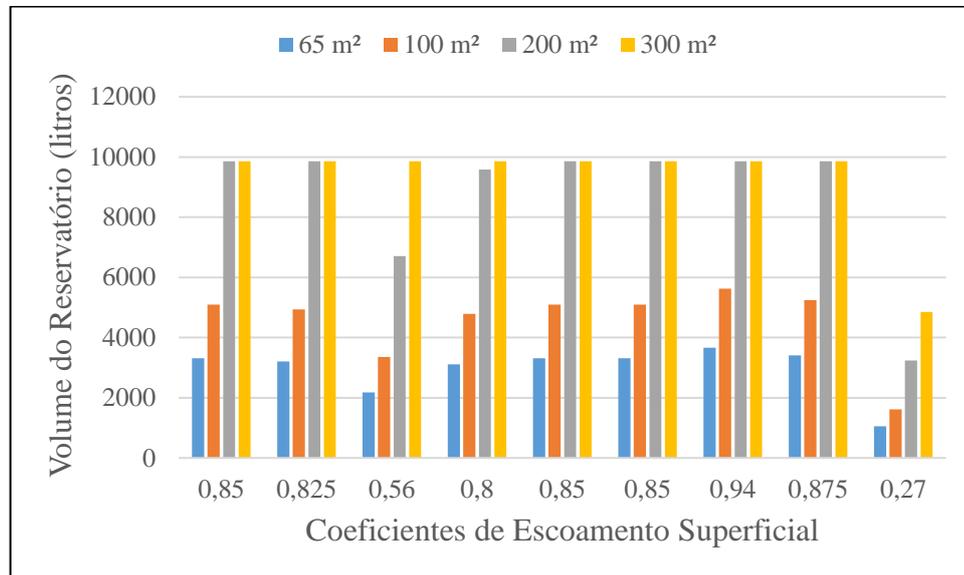
Gráfico 29 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Montes Claros – MG, para 30% como fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

Quando utilizado 50% como fator de substituição da água potável por água pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, os volumes de reservatório obtidos são apresentados no GRÁF. 30.

Gráfico 30 – Volumes de reservatórios de água para os municípios de Montes Claros – MG, para 50% como fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Alemão adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

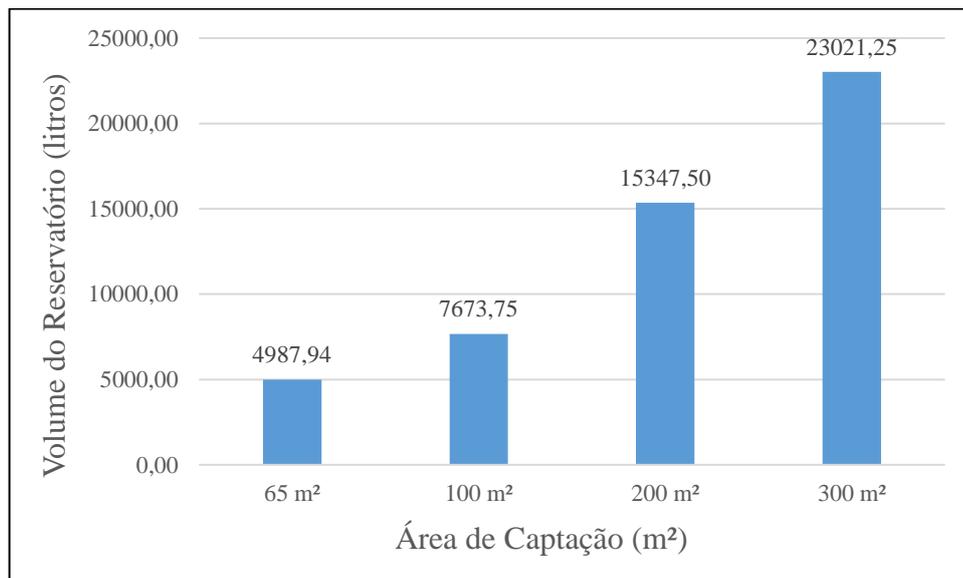
Para o município de Montes Claros, os valores de volumes de reservatório para baixas demandas se mostraram similares, para todos os coeficientes de escoamento, aos outros dois municípios, conforme apresentado no GRÁF. 29.

Já para grandes demandas, como pode ser observado no GRÁF. 30, o volume de água pluvial aproveitável é inferior à demanda, do mesmo modo que os municípios de Lagoa da Prata e Pouso Alto, porém, por possui menor precipitação anual média, nesse caso, os volumes dos reservatórios para as áreas de captação de 65 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup>, para todos os coeficientes, foram obtidos por meio do volume pluvial aproveitável e, diferente dos outros municípios, também se obteve volume de reservatório por meio do volume pluvial aproveitável para a área de captação igual a 200 m<sup>2</sup> e coeficiente de escoamento superficial de 0,56 e 0,8.

### 5.2.7 Método Prático Inglês

Esse método apresenta sua base de cálculo utilizando a precipitação média anual e a área de captação. No GRÁF. 31 são apresentados os valores de volume do reservatório para o município de Lagoa da Prata, em função da área de captação.

Gráfico 31 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Prático Inglês.

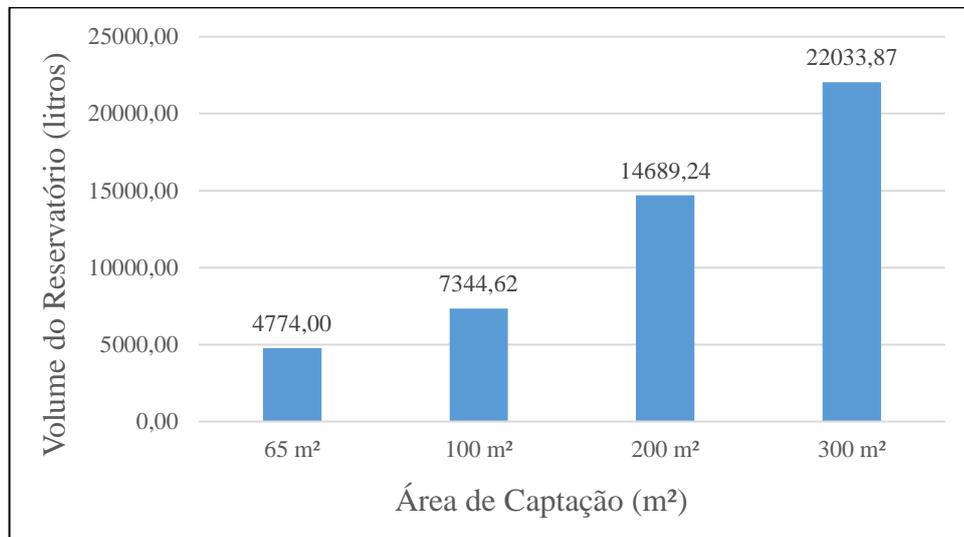


Fonte: O autor, 2017.

Observa-se que o maior volume de reservatório de 23021,25 litros ocorreu quando se utilizou a maior área de captação, de 300 m<sup>2</sup>. Já para a menor área de captação, de 65 m<sup>2</sup>, obteve-se o menor valor de reservatório de 4987,94 litros.

Os valores de volume de reservatório, em função da área de captação, utilizando o Método Prático Inglês, para o município de Pouso Alto, estão representados no GRÁF. 32.

Gráfico 32 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Prático Inglês.

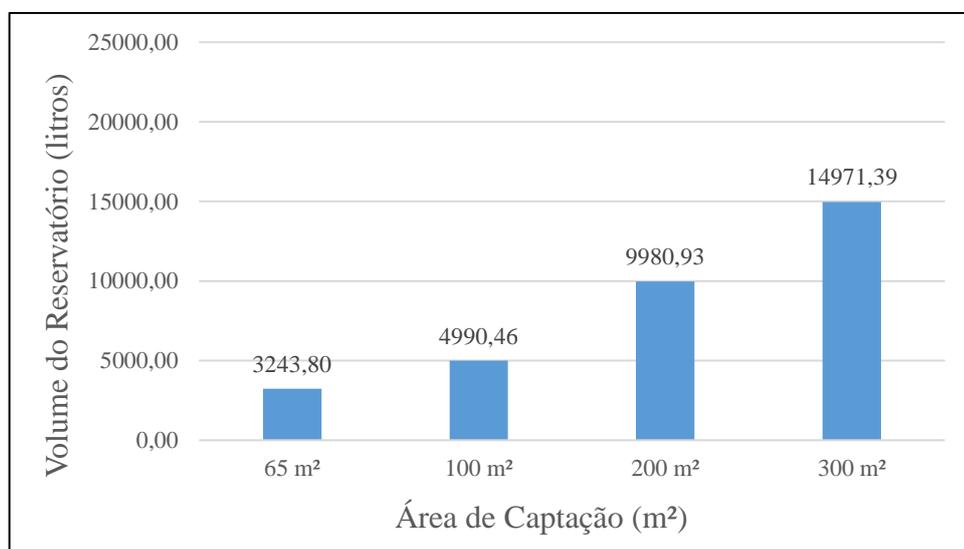


Fonte: O autor, 2017.

Para Pouso Alto, obtiveram-se valores semelhantes aos de Lagoa da Prata, uma vez que os dois municípios apresentam precipitações médias anuais próximas. Também apresenta o menor valor de volume de reservatório para a menor área de captação e o maior volume de reservatório para a maior superfície de captação.

No GRÁF. 33 são mostrados os volumes de reservatório quando utilizado o Método Prático Inglês, em função das áreas de captação, para o município de Montes Claros.

Gráfico 33 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função de diferentes áreas de captação, pelo Método Prático Inglês.



Fonte: O autor, 2017.

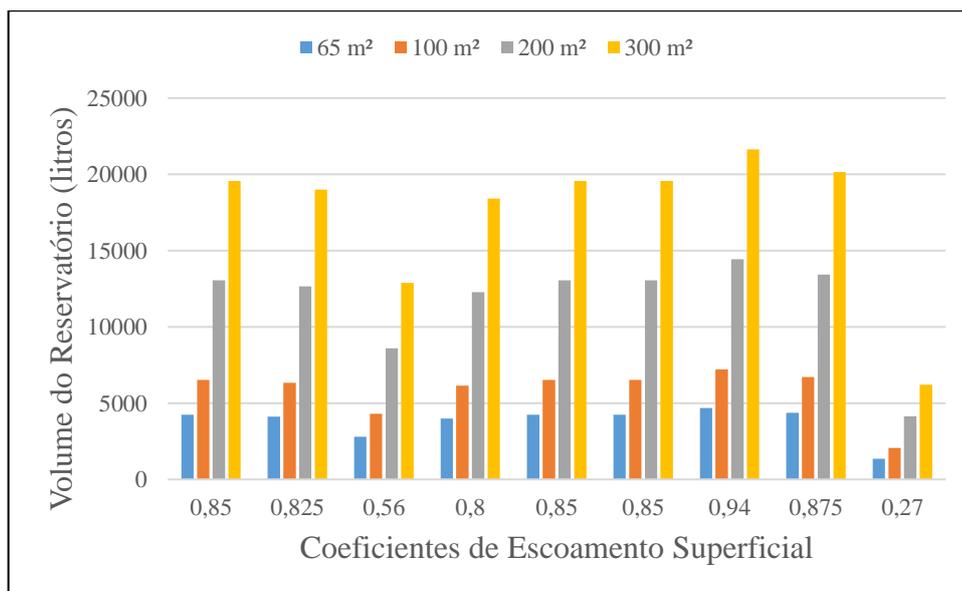
Já para Montes Claros, os valores de volumes de reservatório foram significativamente inferiores aos valores de Lagoa da Prata e Pouso Alto, em função de sua menor pluviosidade média anual. Apesar dos valores inferiores, eles seguiram o mesmo padrão apresentado anteriormente, onde o menor volume de reservatório se deu pela menor área de captação e o maior volume de reservatório pela maior área de captação.

O Método Prático Inglês se assemelha ao Método Azevedo Neto, já que os dois têm como base a precipitação média anual e a área de captação, assim, apresentaram resultados com o mesmo padrão, apesar da discrepância dos seus resultados quando se compara os dois métodos. Assim, da mesma forma como no Método Azevedo Neto, não é possível garantir a eficiência do Método Prático Inglês para atender à demanda necessária, já que o método não considera a demanda como um parâmetro.

### 5.2.8 Método Prático Inglês Adaptado

No GRÁF. 34 são apresentados os valores de volume do reservatório para o município de Lagoa da Prata em função dos coeficientes de escoamento superficial.

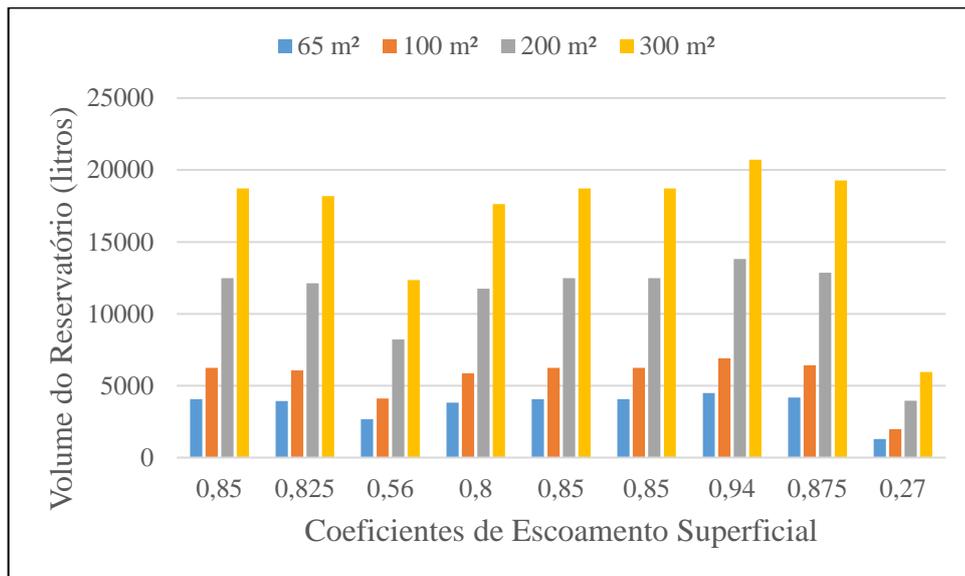
Gráfico 34 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, em função de diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Prático Inglês adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

Os valores de volume de reservatório, em função dos coeficientes de escoamento superficial, utilizando o Método Prático Inglês adaptado, para o município de Pouso Alto, estão representados no GRÁF. 35.

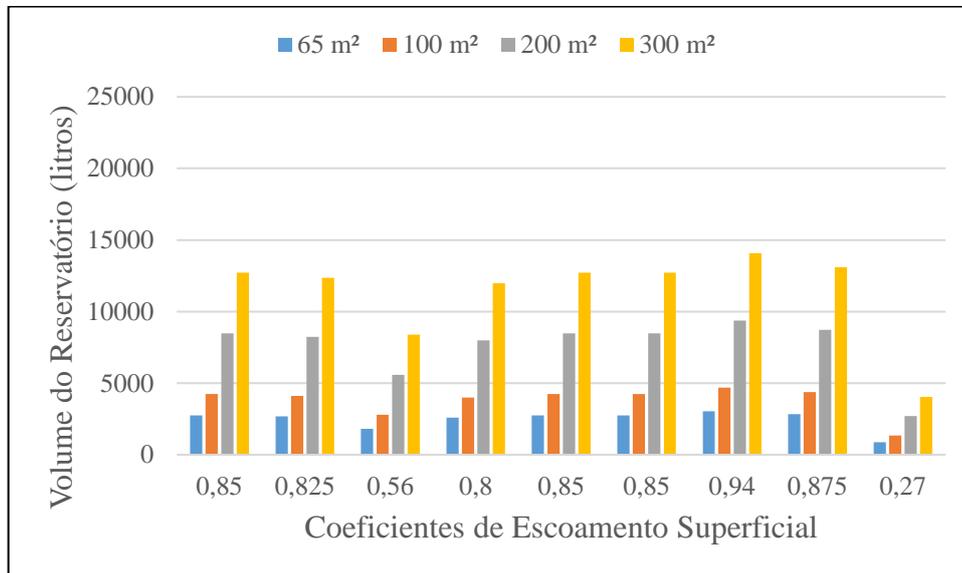
Gráfico 35 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, em função de diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Prático Inglês adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

E no GRÁF. 36 são mostrados os volumes de reservatório quando utilizado o Método Prático Inglês adaptado, em função dos coeficientes de escoamento superficial, para o município de Montes Claros.

Gráfico 36 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, em função de diferentes coeficientes de escoamento superficial, pelo Método Prático Inglês adaptado.



Fonte: O autor, 2017.

Para os três municípios, pode ser observado que o Método Prático Inglês adaptado apresentou valores semelhantes aos do método original, de modo a ser proporcional aos valores da área de captação da precipitação média anual, porém, diferindo do Método Prático Inglês, a partir da utilização dos coeficientes de escoamento superficial.

No GRÁF. 34 e no GRÁF. 35, estão representados os volumes de reservatório para os municípios de Lagoa da Prata e de Pouso Alto, respectivamente, sendo os valores obtidos semelhantes devido às precipitações médias anuais entre os dois municípios serem próximas. Têm-se os maiores valores quando utilizado a área de captação de 300 m<sup>2</sup> e o maior valor de coeficiente de escoamento superficial, igual a 0,94, pois os valores de coeficiente de escoamento são diretamente proporcionais aos valores do volume do reservatório.

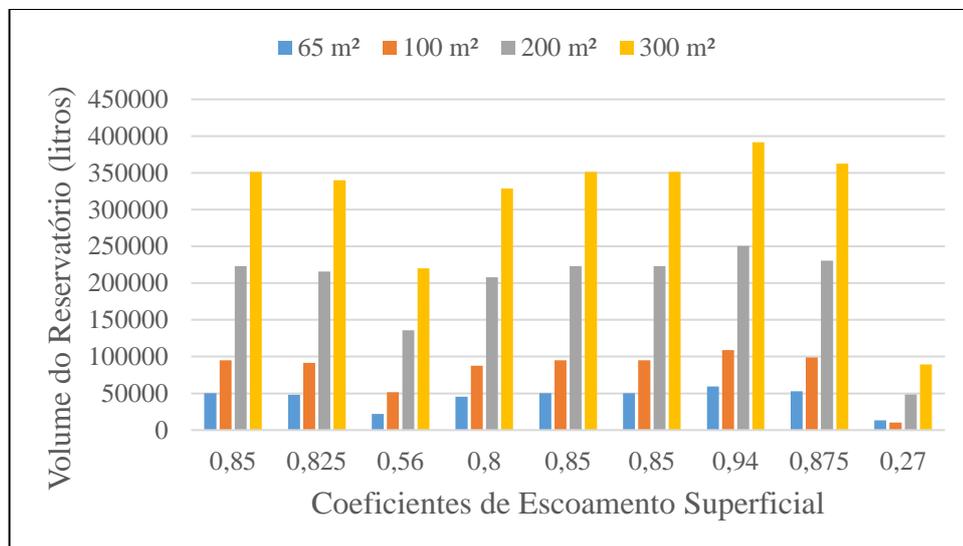
Já para o município de Montes Claros, pode ser observado, no GRÁF. 36, que os volumes de reservatório obtidos são consideravelmente inferiores aos de Lagoa da Prata e Pouso Alto devido a seu índice pluviométrico médio anual menor quando comparado aos dos outros dois municípios.

Assim como no método original, o Método Prático Inglês adaptado não garante a eficiência de seus volumes de reservatório obtidos para atender a demanda necessária, já que o método não a considera como um parâmetro.

### 5.2.9 Método Prático Australiano

No Método Prático Australiano, a obtenção dos volumes de reservatório foi feita por meio de tentativas, visando atingir 100 % como valor de confiança. Seguido esse parâmetro, o GRÁF. 37 apresenta os volumes obtidos para o município de Lagoa da Prata, quando utilizado 30% para a substituição de água potável por pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

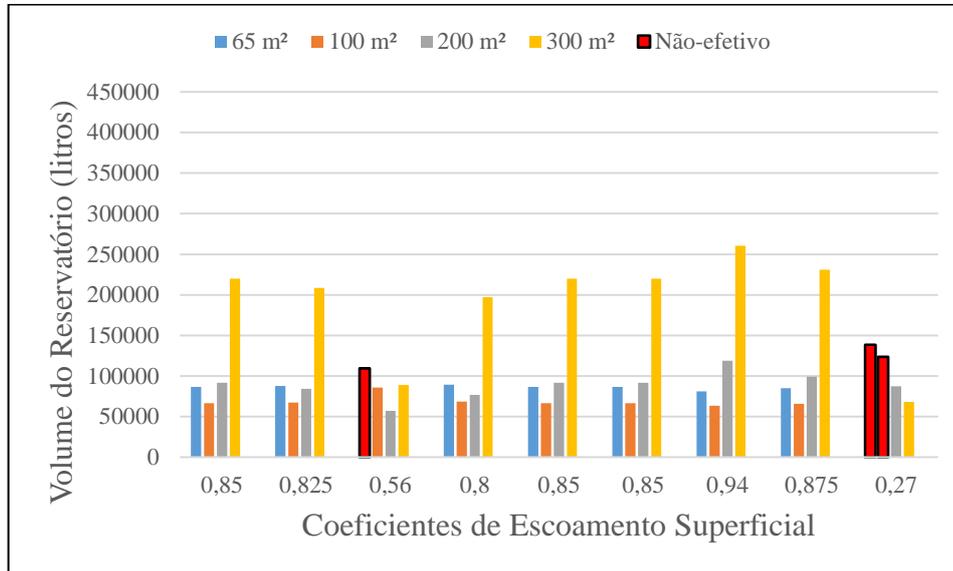
Gráfico 37 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano.



Fonte: O autor, 2017.

Para a utilização de 50% de substituição da água potável por pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, foram obtidos os resultados demonstrados no GRÁF. 38.

Gráfico 38 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Lagoa da Prata – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano.



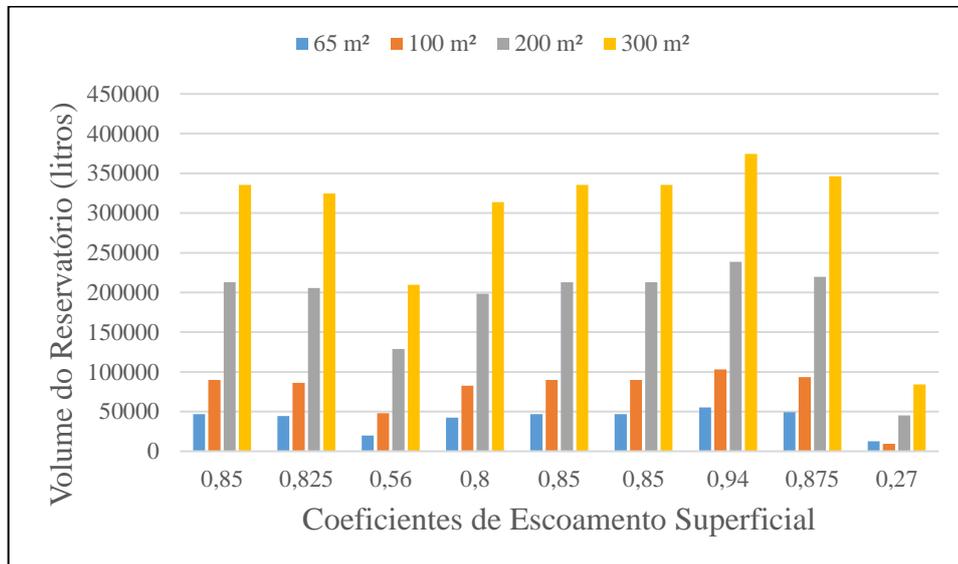
Fonte: O autor, 2017.

Pode-se observar que, para baixas demandas e grandes áreas de captação, o Método Prático Australiano apresenta os maiores resultados, sendo o maior quando o coeficiente de escoamento superficial é igual a 0,94 e área de captação igual a 300 m<sup>2</sup>, conforme apresentado no GRÁF. 37. Já o menor volume de reservatório foi alcançado quando o coeficiente de escoamento superficial foi igual a 0,27 e área de captação igual a 100 m<sup>2</sup>.

Já para grandes demandas, o método apresenta um comportamento diferente, como pode ser observado no GRÁF. 38, onde o maior volume de reservatório ainda é para o coeficiente de escoamento superficial de 0,94, porém, o menor volume de reservatório também foi determinado para um coeficiente de escoamento superficial de 0,94, só que ao se considerar uma superfície de captação de 100 m<sup>2</sup>.

Quando foi feita a combinação de 65 m<sup>2</sup> para área de captação e coeficiente de *runoff* igual a 0,56, o Método Prático Australiano obteve valor não-efetivo, uma vez que, para que o método funcionasse nessa combinação, seria preciso um volume inicial de água, fornecido por fonte potável, maior do que o volume máximo obtido pelos cálculos, de modo a se conseguir um balanço positivo durante todo o ano. Isso ocorreu para que fosse possível alcançar valor de confiança igual a 100%. O mesmo ocorre quando utilizado o coeficiente de escoamento superficial igual a 0,27 para áreas de captação igual a 65 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup>, ou seja, situações de baixa produção de água pluvial. Para o município de Pouso Alto, foi obtido o GRÁF. 39, quando utilizado 30% como percentual de substituição e 100 litros per capita, para 3 moradores.

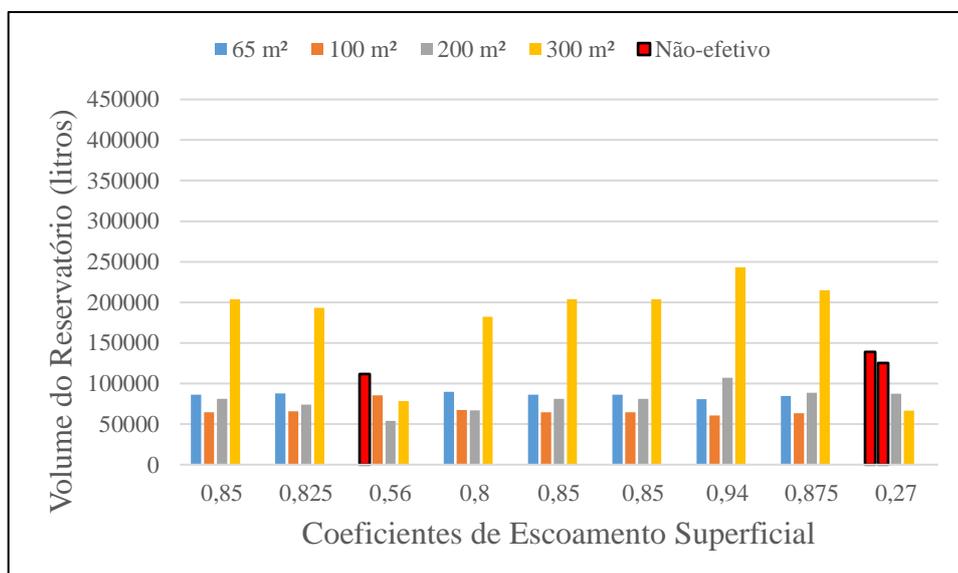
Gráfico 39 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano.



Fonte: O autor, 2017.

Quando utilizado 50% como percentual de substituição da água potável pela água pluvial e 300 litros per capita, para 3 moradores, foram obtidos os volumes de reservatório apresentado no GRÁF. 40.

Gráfico 40 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Pouso Alto – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano.

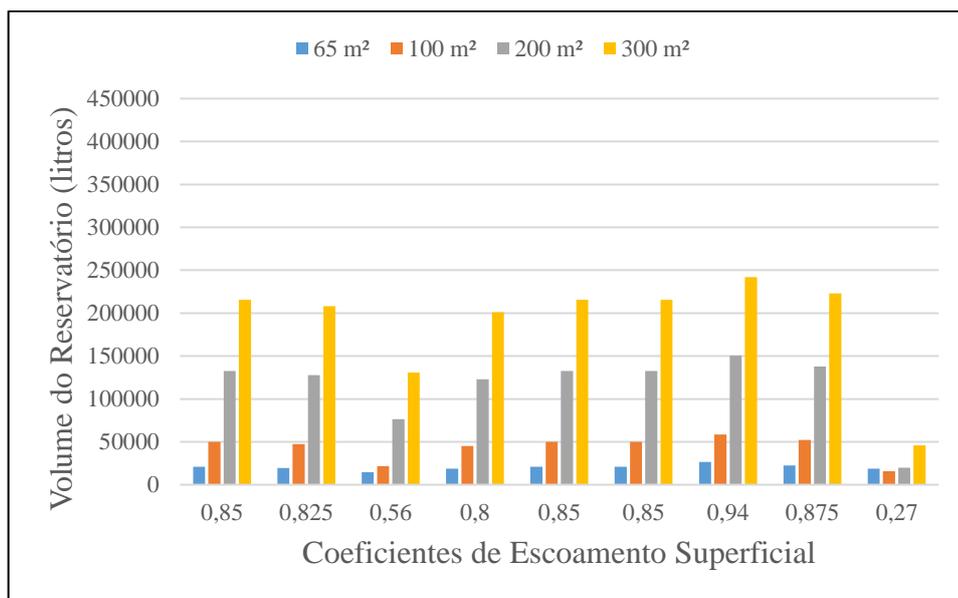


Fonte: O autor, 2017.

Por possuir índice pluviométrico médio anual semelhante ao de Lagoa da Prata, os resultados obtidos para o município de Pouso Alto foram similares em todas as combinações de coeficientes de escoamento superficial, inclusive a não efetividade atingida a fim de se alcançar confiança de 100% nas combinações de grande demanda com 65 m<sup>2</sup> e coeficiente de escoamento superficial de 0,56; 65 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup> com coeficiente de escoamento superficial igual a 0,27.

Para o município de Montes Claros, foram obtidos os volumes de reservatório apresentados no GRÁF. 41, quando utilizado 30% como percentual de substituição de água potável por pluvial e 100 litros per capita, para 3 moradores.

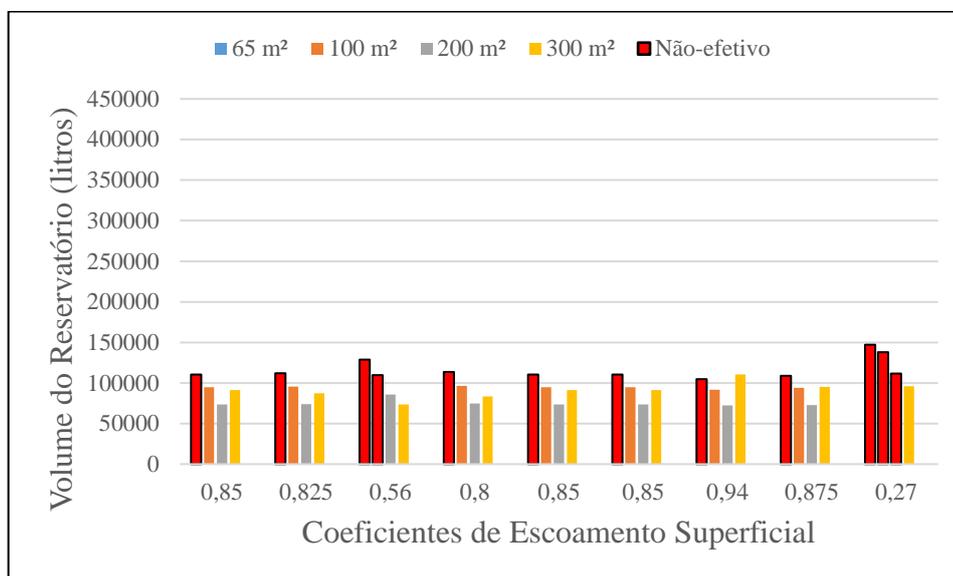
Gráfico 41 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 30% fator de substituição e 100 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano.



Fonte: O autor, 2017.

Quando utilizado 50% como percentual de substituição e 300 litros per capita, para 3 moradores, foram obtidos os valores de volume do reservatório apresentado no GRÁF. 42.

Gráfico 42 – Volumes de reservatório de água pluvial para o município de Montes Claros – MG, para 50% fator de substituição e 300 L per capita, em função dos diferentes coeficientes de escoamento, pelo Método Prático Australiano.



Fonte: O autor, 2017.

No município de Montes Claros, pode-se observar que, para baixas demandas, o Método Prático Australiano apresenta o mesmo padrão apresentado para os municípios de Lagoa da Prata e Pouso Alto, porém apresenta valores de volume de reservatório menores devido à sua baixa precipitação média anual.

Já para grandes demandas, o método apresenta um comportamento diferente, onde os maiores volumes de reservatório são obtidos com a menor área de captação, sendo essa 65 m², e os maiores volumes não ocorrem com o maior coeficiente de escoamento superficial, e sim com o menor coeficiente, sendo esse 0,27. No entanto, todas as combinações feitas com 65 m² se mostram não-efetivas; sendo assim, apresentados os valores de volume inicial e não do volume máximo do reservatório, de maneira a se conseguir um balanço positivo durante todo o ano para se atingir confiança de 100%. O mesmo ocorre quando utilizado 100 m² para os coeficientes de 0,56 e 0,27, e para 200 m² de área de captação e coeficiente igual a 0,27.

O Método Prático Australiano busca definir um balanço entre a demanda e o volume pluvial captado mensalmente, de maneira a definir o melhor volume do reservatório. Ao se buscar confiança máxima, observa-se que, para cada combinação de variáveis, o método não apresenta um padrão definido de comportamento.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível realizar a comparação entre os métodos de dimensionamento de reservatório de águas pluviais para os municípios de Lagoa da Prata, Pouso Alto e Montes Claros, verificando-se resultados diferentes.

Após a determinação das precipitações médias mensais e anuais dos municípios estudados, verificou-se que Montes Claros foi o município que apresentou a menor precipitação média mensal e anual e o município de Lagoa da Prata foi o que apresentou a maior precipitação média mensal e anual.

Analisando os métodos individualmente e verificando seus padrões, o Método de Rippl, por levar em consideração fatores como a demanda mensal e o volume captado de água pluvial, aplicando-se a este o coeficiente de escoamento superficial, gerou valores de volumes de reservatório mais confiáveis e constantes em todas as situações. Para baixos índices pluviométricos, como no município de Montes Claros, o método de Rippl, se mostrou o mais viável tecnicamente ao atender as necessidades determinadas com os menores valores de reservatório. Em função dos coeficientes de escoamento superficial, constatou-se que, para os maiores coeficientes, o método de Rippl gera valores de volume de reservatório ainda menores, pois assim há um volume aproveitável de água pluvial maior, o qual é possível realizar o balanço com a demanda necessitando de um reservatório menor, facilitando assim a implantação de um reservatório.

Já para os municípios de Lagoa da Prata e Pouso Alto, que possuem similaridades que ocorrem pelo fato de apresentarem pluviosidades médias semelhantes, foram observados volumes de reservatórios mais satisfatórios tecnicamente quando utilizado o método de Rippl, devido à disponibilidade maior de água pluvial a ser captada, exceto quando utilizado coeficientes de escoamento superficial maiores, como 0,94. Para baixas demandas, o método mostra não ser necessário o uso de reservatório, uma vez que o volume captado mensalmente é muito maior que a demanda, sendo suficiente a utilização de um reservatório mínimo para retenção apenas da demanda diária.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15.527/2007 **Água de chuva** - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8p.
- \_\_\_\_\_. NBR 10.844/1989. **Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1989. 13 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) – Ministério do Meio Ambiente. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo, 2005. 150p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Brasil. **HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso: em 10 ago. 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.
- BUCCHERI FILHO, A. T. **Qualidade ambiental no Bairro Alto da XV**, Curitiba/PR. 2006. 80 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006.
- BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. Ecosystem services in urban areas. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 293-301, 1999.
- CETEM. **Aproveitamento de água de chuva**. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/images/sustentavel/sustentabilidade/pdf/Reaproveitamento\\_agua/Aproveitamento\\_de\\_agua\\_de\\_chuva\\_EcoCasa\\_Construcao\\_Sustentavel.pdf](http://www.cetem.gov.br/images/sustentavel/sustentabilidade/pdf/Reaproveitamento_agua/Aproveitamento_de_agua_de_chuva_EcoCasa_Construcao_Sustentavel.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9, Bahia, Brasil. 2008a.
- COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e utilização de água pluvial em residências para população de baixa renda em áreas urbanas: estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9, Bahia, Brasil. 2008b.
- CUNLIFFE, D. A., Guidance on the use of Rainwater tanks – National Environmental Health Forum Monographs, **Water Series**, n. 3, Australia, 1998.
- DACACH, N. G. **Saneamento básico**. 3 ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1990. 293p.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 219 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FONTANELA, L. **Avaliação de metodologias para dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial**. 2010. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC. 2010.

GONÇALVES, R. F (Coord.). **Uso Racional da água em edificações**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352 p.

GOUVÊA, C. A. K.; RADAVELLI, A. C. M. A.; HURTADO, A. L. B. Viabilidade de Implantação de Cisternas para Captação de Água de Chuva: Caso Joinville. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PROPRIEDADE INTELECTUAL: DESAFIOS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO NA CONSOLIDAÇÃO DO BRASIL NO CENÁRIO ECONÔMICO MUNDIAL, 31., 2011, **Anais...** Belo Horizonte. 2011.

HERRMANN, T., SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects, **Urban Water**, n. 1, p. 307-316, 1999.

HOUGH, M. **Naturaleza y ciudad**: planificación urbana y procesos ecologicos. Barcelona: G. Gilli, 1998. 315 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. **Lagoa da Prata**. 2010a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2017

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. **Montes Claros**. 2010b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2017

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. **Pouso Alto**. 2010c. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2017

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Séries Históricas e Estatísticas. 2010d. **Taxa de Urbanização**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2017.

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

MINIKOWISKI, M.; MAIA, A. G. Sistemas de aproveitamento de água de chuva no município de Irati (PR). **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. Curitiba, v. 7, n. 2, p. 181-188, abr./jun. 2009.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 353 p.

- NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). 2 ed. Curitiba: O Autor, 2008. 150p. Disponível em:  
<[http://www.labs.ufpr.br/site/arquivos/qldade\\_amb\\_aden\\_urbano.pdf](http://www.labs.ufpr.br/site/arquivos/qldade_amb_aden_urbano.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p.
- SAFE RAIN. **A revolutionary product in water diverter technology**. Disponível em:  
<<http://saferain.com.au/gallery.html>>. Acesso em 20 mar. 2017
- SOARES, D. A. F.; SOARES, P. F.; PORTO, M. F. do A. Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 12, Porto Alegre: ABRH, 1999.
- SPERANCETTA, D.; ALVES, J. V.; KRÜGER, C. M. Captação de águas pluviais para abastecimento residencial. **da Vinci**, v. 1, n. 1, p. 29-42, 2004.
- SPIRN, A. W. **O Jardim de granito**: A Natureza no Desenho da Cidade. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 1995. 360 p.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.
- TOMAZ, P. **Conservação da água**. Digihouse Editoração Eletrônica, São Paulo; 1998. 294p.
- TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. **Inundações urbanas da América do Sul**. 1 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2003. 150 p.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1997. 943 p.
- VALASKI, S. **Avaliação da qualidade ambiental em condomínios residenciais horizontais com base nos princípios do planejamento da paisagem**. Estudo de caso: bairro Santa Felicidade. Curitiba/PR. 2008. 138p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- VILLIERS, M. de. **Água**: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002. 457 p.
- VIOLA, H. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas**: O estudo de caso da cidade do samba [Rio de Janeiro]. 2008. 384p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- WATERFALL, P. H., **Harvesting Rainwater for Landscape Use**, University Arizona Cooperative, 1998. Disponível em:  
<<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1052.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2017.

WERNECK, G. A. M. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações:** O estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Pirai. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 2006. 283p.