

**ANA CAROLINA RODRIGUES DE SÁ SILVA**

**O nexó água-energia no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em habitações de interesse social: análise na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo**

**Ana Carolina Rodrigues de Sá Silva**

**O nexu água-energia no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em habitações de interesse social: análise na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica em Energia.

Orientador:

Prof. Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova

Coorientadores:

Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri

Prof. Dr. Alex Mendonça Bimbato

Guaratinguetá - SP

2022

M929i Silva, Ana Carolina Rodrigues de Sá Silva  
O Nexo água-energia no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em habitações de interesse social: análise na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo / Ana Carolina Rodrigues de Sá Silva – Guaratinguetá, 2022.  
126 f : il.  
Bibliografia: f. 80-94

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.  
Orientador: Prof. Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova  
Coorientadores: Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri  
Prof. Dr. Alex Mendonça Bimbato

1. Água Captação. 2. Abastecimento de água. 3. Águas pluviais.  
4. Conjuntos habitacionais. I. Título.

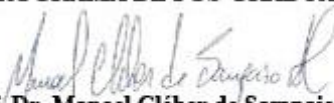
CDU 628.165(043)

**ANA CAROLINA RODRIGUES DE SÁ SILVA**

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“DOUTORA EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO: DOUTORADO**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
**Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA**

**Orientador - UNESP**

participou por videoconferência

  
**Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS**

**UNESP**

participou por videoconferência

  
**Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA**

**UNESP**

participou por videoconferência

  
**Prof. Dr. ADRIANO GONÇALVES DOS REIS**

**UNESP/SJC**

participou por videoconferência

  
**Prof. Dr. VIVIAN SILVEIRA DOS SANTOS BARDINI**

**UNICAMP**

participou por videoconferência

*JANEIRO de 2022*

## **DADOS CURRICULARES**

**ANA CAROLINA RODRIGUES DE SÁ SILVA**

**NASCIMENTO** 17.03.1990 – Itajubá / MG

**FILIAÇÃO** Teodomiro Marques da Silva  
Nair Rodrigues de Sá

**2008/2013** Curso de Graduação em Engenharia Ambiental  
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

**2014/2016** Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
Universidade Federal de Itajubá

Dedico este trabalho  
a Deus, ao meu esposo, à minha mãe e irmã.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, primeiramente, pela possibilidade de fazer o Doutorado, pela força e pela vida.

Aos meus orientadores Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova, Dr. José Antônio Perrella Balestieri, Dr. Alex Mendonça Bimbato pelos ensinamentos, paciência e oportunidade.

Ao prof. Dr. Paulo Valladares Soares e à Dra. Rachel Nunes Leal pela parceria e conhecimento.

À minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando.

Aos funcionários e professores da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, ajuda, aprendizado e incentivo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.



## RESUMO

A disponibilidade de água e energia e a questão da falta de moradia para a população de menor poder econômico são questões de interesse público. O conceito da interligação entre água e energia (nexo) pode ser utilizado no sistema de aproveitamento de água de chuva para diminuir o consumo dos recursos hídricos e energéticos. Estes fatos motivaram o desenvolvimento deste trabalho, que se propõe a investigar o nexo água-energia e avaliar as possíveis economias energéticas provenientes da instalação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (RMVPLN) em relação ao consumo energético específico dos sistemas públicos de abastecimento de água do local de estudo. Para isso, o método consiste, primeiramente, na caracterização da área de estudo, de um estudo pluviométrico, da determinação do consumo energético do sistema de abastecimento de água e das informações dos conjuntos habitacionais da área de estudo. A partir desses dados dos conjuntos habitacionais, o modelo tipo casa e tipo prédio, a população e consumo hídrico foram determinados; essas informações, juntamente com o estudo pluviométrico, foram os dados de entrada para o dimensionamento do sistema de água de chuva. Com esse dimensionamento, realizou-se a modelagem hidráulica e energética, que resultou na estimativa da economia de água, no consumo energético, e no potencial de economia de energia. Como resultado, a altura anual de precipitação variou de 1069,3 mm a 2142,3 mm, que resultou num potencial de captação de água de chuva em habitações de interesse social do tipo casa que pode suprir a necessidade de água em até 27,3% (média de 21,1 %), e nas habitações do tipo edifício, pode atender no máximo a 16,0 % (média de 4,6 %), sendo a diferença devida à verticalização das residências, por haver um maior consumo de água para usos não potáveis e menor área de captação por morador. Apesar disso, a instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva pode economizar anualmente 691.824 m<sup>3</sup> na região de estudo, que representa uma economia anual de 6,3 m<sup>3</sup> por morador da habitação de interesse social. Pelo nexo água-energia, o uso de água de chuva em vez de água potável pode gerar uma economia anual de 352,2 MWh no sistema de abastecimento de água central da RMVPLN, que representa o consumo anual de energia elétrica de 148 residências em 2020 no estado de São Paulo. Conclui-se que o sistema de aproveitamento de água de chuva é uma estratégia de economizar água e energia, como também, o sistema de captação de águas pluviais pode ser um item do projeto das habitações de interesse social para gerar economia

de água potável e obter economia de energia no sistema de abastecimento de água público.

**PALAVRAS-CHAVE:** Consumo Energético Específico. Residências Populares. Usos não potáveis.

## ABSTRACT

Water and energy availability and the issue of homelessness for the less privileged population are matters of public interest. The concept of interconnecting water and energy (nexus) is applicable to a rainwater harvesting system so as to reduce the consumption of water and energy resources. These facts contributed to the development of this work which proposes to investigate the water-energy nexus and evaluate possible energy savings from the installation of rainwater harvesting systems in public housings in the Metropolitan Region of Vale do Paraíba and the North Coast of the State of São Paulo (RMVPLN) as regards the specific energy consumption of its public water supply systems. For such a purpose, the method initially consists in characterizing the study area through a pluviometric study, determining the energy consumption of its water supply system and collecting data on housing developments in the study area. From these items of data, the profiles of housing and building types, population and water consumption were determined; such data, together with a pluviometric study, were the inputs for sizing the rainwater harvesting system. Consequently, a hydraulic and energy modeling was carried out, which resulted in an estimate of water savings, energy consumption and energy savings potential. As a result, average annual rainfall rates ranging from 1069.3 mm to 2142,3 mm were found, therefore a rainwater harvesting system in public housing facilities can provide up to 27.3 % of water supply (an average of 21.1%), and it can achieve 14.7% at the most in apartment buildings (an average of 4.6%), and such a difference is due to residential verticalization, as there is greater water consumption for non-drinking purposes and a smaller catchment area per resident. Nonetheless, the installation of a rainwater harvesting system can save 691,824 m<sup>3</sup> annually in the study region, which represents annual savings of 6.3 m<sup>3</sup> per public housing resident. Through the water-energy nexus, the use of rainwater instead of drinking water can generate annual savings of 352.2 MWh in the RMVPLN's main water supply system, which represents an annual electricity consumption of 148 households in 2020 in the state of Sao Paulo. Thus, it is found that the rainwater harvesting system is an excellent strategy to save water and energy, in addition to the fact that it can be an interesting item for public housing projects due to generating drinking water and energy savings in the public water supply system.

**KEYWORDS:** Specific energy consumption. Public Housing. Non-potable water use.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do método .....	37
Figura 2: Localização da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo .....	39
Figura 3: Acumulados totais anuais de chuva em cada estação, e média regional.....	45
Figura 4: Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva.....	50
Figura 5: Sistema de aproveitamento de chuva de uma habitação de interesse social do tipo casa .....	51
Figura 6: Sistema de aproveitamento de chuva de uma habitação de interesse social do tipo prédio (apartamentos).....	54
Figura 7: Potencial anual de captação de água de chuva e porcentagem do atendimento da necessidade de água potável por unidade habitação do tipo casa.....	65
Figura 8: Relação entre densidade demográfica (razão entre número de moradores no edifício e a área de captação de água de chuva) e o porcentagem de atendimento do consumo de água potável .....	67
Figura 9: Potencial anual de captação de água de chuva por unidade de área nos municípios da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, SP, com habitações de interesse social em 2015 .....	68
Figura 10: Porcentagem do atendimento do consumo de água do município em 2017 e a porcentagem do atendimento do consumo das habitações com sistema de aproveitamento de água de chuva pela água pluvial .....	71
Figura 11: Consumo energético específico médio dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social do tipo casa por município .....	73
Figura 12: Consumo energético específico médio dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social do tipo edifício por município.....	75
Figura 13: Estudo Pluviométrico do município de Caçapava pela estação (a) Pedregulho (2345004), (b) Cerâmica Quirino (2345008), (c) Sapé (2345012), e (d) Caçapava (2345063) da Agência Nacional das Águas .....	103
Figura 14: Precipitação mensal do município de Caraguatatuba pela estação Caraguatatuba (2345051) .....	104
Figura 15: Estudo pluviométrico para Cruzeiro pela estação Fazenda Santa Clara (2244010) localizada em Cachoeira Paulista .....	104

Figura 16: Estudo pluviométrico da estação UHE Funil Guaratinguetá (2245032) para o município de Guaratinguetá .....	105
Figura 17: Estudo pluviométrico da estação UHE Santa Branca (2345106) localizada em Jacareí – SP.....	105
Figura 18: Médias mensais de precipitação do município de Jambuí com os dados da estação pluviométrica 2345022 .....	106
Figura 19: Médias mensais de precipitação do município de Lorena com os dados da estação pluviométrica 2345020.....	106
Figura 20: Precipitação média mensal do município de Pindamonhangaba pela estação (a) Pindamonhangaba (2245048) e (b) Fazenda Sapucaia (2245035) .....	107
Figura 21: Precipitação média mensal do município de Santa Branca pela estação pluviométrica 2345071 .....	107
Figura 22: Estudo Pluviométrico do município de São José dos Campos pela estação 2345164 da Agência Nacional das Águas .....	108
Figura 23: Estudo pluviométrico para o município de Taubaté, SP, baseado nas estações 2345001 (Taubaté), 2345062 (Taubaté), 2345159 (Fazenda São João) e 2345161 (Remédios) da Agência Nacional das Águas .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores socioeconômicos em 2010 da RMVPLN.....	39
Tabela 2: Cidades que apresentavam conjuntos habitacionais no ano de 2015 .....	40
Tabela 3: Base de dados e fontes de informações .....	41
Tabela 4: Características das Estações Pluviométricas .....	46
Tabela 5: Estatísticas do consumo <i>per capita</i> de água e do consumo energético específico dos municípios da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte em 2017 .....	48
Tabela 6: Parâmetros para o cálculo da altura manométrica em habitação de interesse social do tipo casa .....	52
Tabela 7: Dimensões dos tubos de PVC não plastificado, em milímetros .....	52
Tabela 8: Parâmetros para o cálculo da altura manométrica em habitação de interesse social do tipo apartamento .....	54
Tabela 9: Eficiência média de moto-bombas, conforme faixa de potência.....	60
Tabela 10: Altura de chuva média anual no município .....	64
Tabela 11: Economia anual de água por município .....	70
Tabela 12: Economia anual de energia por município .....	76
Tabela 13: Estações bases e auxiliares .....	99
Tabela 14: Datas cuja soma das precipitações diárias não está correta.....	100
Tabela 15: Regressão linear da estação base 2244010 com a estação auxiliar 2244162 .....	102

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
RMVPLN	Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte
SAAC	Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UH	Unidade Habitacional

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	área de captação de água de chuva ( $m^2$ );
AG006	volume de água produzido durante o ano ( $1000 m^3 \cdot ano^{-1}$ );
AG018	volume de água tratada importado durante o ano ( $1000 m^3 \cdot ano^{-1}$ );
AG028	consumo total de energia elétrica nos sistemas de água durante o ano ( $1000 kWh \cdot ano^{-1}$ );
C	coeficiente de escoamento superficial (-);
D	diâmetro interno da tubulação (m);
D(t)	necessidade ou consumo de água não potável no tempo t ( $m^3$ );
EI <sub>MP</sub>	consumo energético específico do sistema bomba ( $kWh \cdot m^{-3}$ );
f	fator de atrito de Darcy (-);
g	aceleração da gravidade ( $m \cdot s^{-2}$ );
h <sub>A</sub>	perda de carga por atrito (m);
h <sub>G</sub>	altura geométrica (m);
h <sub>L</sub>	perda de carga localizada (m);
H	altura manométrica (m);
IN058	índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( $kWh \cdot m^{-3}$ );
k	coeficiente adimensional que depende da geometria da conexão, do número de Reynolds, da rugosidade da parede e das condições do escoamento (-);
L	comprimento da tubulação (m);
P <sub>MB</sub>	potência de entrada do motor (W);
P(t)	altura da precipitação no tempo t (m);
r	rugosidade relativa (-);
R(t)	volume de chuva aproveitável no tempo t ( $m^3$ );
Re	número de Reynolds (-);
S(t)	volume de água no reservatório inferior no tempo t ( $m^3$ );
Q	vazão ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );
v	velocidade média ( $m \cdot s^{-1}$ );
V	volume do reservatório inferior ( $m^3$ ).
ε	rugosidade absoluta (mm);



$\eta_M$	eficiência do motor (-);
$\eta_P$	eficiência da bomba (-);
$\rho$	massa específica do líquido ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );
$\mu$	viscosidade dinâmica ( $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ );
$\nu_{cn}$	viscosidade cinemática ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ).

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVOS.....	20
1.2	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO .....	20
1.3	IMPACTOS DA PESQUISA E CONTRIBUIÇÕES DA TESE.....	23
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>24</b>
2.1	BASES METODOLÓGICAS PARA A REALIZAÇÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.2	HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL.....	24
2.3	PERFIL DE CONSUMO – DEFINIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL E NÃO POTÁVEL .....	26
2.4	GESTÃO DO USO DA ÁGUA E DA ENERGIA.....	27
2.5	NEXO ÁGUA-ENERGIA.....	29
2.6	SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	31
<b>2.6.1</b>	<b>Componentes de sistemas de aproveitamento de água de chuva.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Consumo energético.....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>37</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.2	BASE DE DADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO UTILIZADAS.....	40
<b>3.2.1</b>	<b>Programas habitacionais vigentes no Estado de São Paulo e identificação dos conjuntos habitacionais da área de estudo.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Estudo pluviométrico.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Consumo <i>per capita</i> de água e índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Estimativa da parcela de consumo de água não potável a partir do consumo.....</b>	<b>49</b>
3.3	MODELAGEM DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVAS.....	49
<b>3.3.1</b>	<b>Modelo de casa padrão.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Modelo de prédio/apartamentos padrão.....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Quantificação do volume de água aproveitável.....</b>	<b>55</b>

3.4	MODELAGEM HIDRÁULICA.....	56
3.4.1	Altura manométrica do sistema de aproveitamento de água de chuva.....	56
3.4.2	Vazão de bombeamento de água de chuva.....	59
3.4.3	Conjunto moto-bomba.....	60
3.5	CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO.....	61
3.5.1	Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva.....	61
3.5.2	Sistema Público de Abastecimento: consumo energético específico de referência.....	62
3.6	ECONOMIA DE ÁGUA E ENERGIA.....	62
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>64</b>
4.1	PLUVIOMETRIA E POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA .....	64
4.1.1	Potencial de captação em unidades tipo casa.....	64
4.1.2	Potencial de captação em unidades tipo apartamento.....	66
4.1.3	Potencial de captação na RMVPLN.....	68
4.2	ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL.....	69
4.2.1	Economia de água potável em unidades tipo casa.....	69
4.2.2	Economia de água potável em unidades tipo apartamento.....	70
4.2.3	Economia de água potável na RMVPLN.....	70
4.3	ECONOMIA DE ENERGIA.....	72
4.3.1	Economia de energia em unidades tipo casa.....	72
4.3.2	Economia de energia em unidades tipo apartamento.....	73
4.3.3	Economia de energia na RMVPLN.....	75
5	<b>CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A: CONJUNTOS HABITACIONAIS DO TIPO CASA NA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE B: CONJUNTOS HABITACIONAIS DO TIPO APARTAMENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE C: PREENCHIMENTO DAS FALHAS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....</b>	<b>99</b>

<b>APÊNDICE D: ESTUDO PLUVIOMÉTRICO.....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE E: POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA E ECONOMIA DE ÁGUA: CASAS.....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE F: POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA E ECONOMIA DE ÁGUA: APARTAMENTOS.....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE G: MODELAGEM ENERGÉTICA: CASAS.....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE H: MODELAGEM ENERGÉTICA: EDIFÍCIO.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO A: CONSUMO MÉDIO <i>PER CAPITA</i> DE ÁGUA E INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE 2017 EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO B: VALORES DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL DA EQUAÇÃO DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR TIPO DE ACESSÓRIO.....</b>	<b>126</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso sustentável da água impacta positivamente as áreas social, econômica e ambiental, da mesma forma que influencia a saúde humana, o desenvolvimento industrial e urbano, e a disponibilidade de alimentos e energia (SILVA; GHISI, 2016). Há uma interdependência – referida na literatura como *nexo* - entre água e energia: os recursos hídricos são utilizados na geração de energia, na extração das fontes energéticas, no resfriamento de centrais termelétricas, assim como a energia é requerida para a captação, limpeza, tratamento, distribuição, armazenamento e coleta de água, tratamento e disposição do esgoto (GJORGIEV; SANSAVINI, 2017; LUBEGA; FARID, 2014). Concluindo, a água e a energia apresentam uma interdependência nas suas disponibilizações, nas suas distribuições e nos seus consumos (SANTHOSH; FARID; TOUMI, 2014).

Apesar do reconhecimento da existência do *nexo água-energia*, o gerenciamento desses dois recursos ainda é feita de maneira independente (ZHANG; VESSELINOV, 2016). Para tornar esse gerenciamento mais eficiente, é necessário considerar a interdependência entre esses dois recursos, avaliando-se quanto e como o uso de um deles impacta a disponibilidade do outro. Por exemplo, no Brasil, em 2020, as prestadoras de serviço de saneamento consumiram 12,4 TWh com o abastecimento de água, e 1,5 TWh com os serviços de esgoto (SNIS, 2021).

A necessidade por água e energia tende a crescer, devido ao aumento populacional, ao crescimento industrial, às mudanças do padrão de vida e à degradação da qualidade da água. Portanto, torna-se imprescindível o uso de tecnologias sustentáveis que permitam minimizar a exploração das fontes convencionais de recursos hídricos e energéticos, reduzindo, consequentemente, seus efeitos deletérios sobre o meio ambiente e a sociedade. Nesse contexto, o aproveitamento de água de chuva é uma ação promissora, que permite diminuir a necessidade de água de mananciais superficiais e subsuperficiais e de energia (SILVA; GHISI, 2016). Este fato motivou o desenvolvimento da presente tese, que se propõe a investigar o *nexo água-energia* em sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social.

O gerenciamento (disponibilidade) dos recursos hídricos e energéticos e a falta de moradia para a população mais pobre são questões de interesse público (VIEIRA; GHISI, 2016). No Estado de São Paulo, a Política Estadual de Habitação, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 53.823/2008 (SÃO PAULO, 2008), estabelece fundos para moradias da

população de baixo poder aquisitivo, com renda mensal de até 5 (cinco) salários mínimos. Esse tipo de moradia é construído, cada vez mais, com inovações tecnológicas, como, por exemplo, o aquecimento solar (SÃO PAULO, 2017), possuindo, portanto, potencial estratégico para a instalação de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Esta tese pretende contribuir com o entendimento do nexo água-energia, com o estudo do uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (RMVPLN).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é avaliar as possíveis economias energéticas provenientes da instalação de sistemas de captação de água de chuva em residências de interesse social da RMVPLN, em relação ao consumo energético específico ( $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ ) dos sistemas públicos de abastecimento de água da região. Essa avaliação permitirá concluir se a utilização desses sistemas, para as condições da área de estudo, é uma alternativa sustentável ou não, em termos de economia de água potável e de energia elétrica em escala regional.

São objetivos específicos da pesquisa:

- Determinar as características pluviométricas da área de estudo para a avaliação do potencial de captação de água de chuva;
- Modelar um sistema básico de coleta e aproveitamento de água de chuva para habitações de interesse social;
- Analisar o consumo energético específico do sistema de captação e aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis;
- Comparar o consumo energético específico da água produzida a partir da captação de chuva e distribuída pelos provedores de serviços de saneamento da RMVPLN.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O uso e a disponibilidade da água e da energia estão sujeitos às pressões globais, combinadas com as mudanças climáticas e crescimento demográfico (UPSHAW; RHODES;

WEBBER, 2017). Estima-se que haverá no mundo um aumento de 50 % no consumo de energia até 2030 (ZHANG; VESSELINOV, 2016). Por sua vez, o uso de água tem aumentado a uma taxa superior ao dobro da taxa de aumento da população no século XX (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED, 2012). Há projeções para 2050 de que a população mundial irá atingir 9,8 bilhões de habitantes, sendo que 70 % destes viverão em áreas urbanas (HAQUE; RAHMAN; SAMALI, 2016; UNITED NATIONS, 2017). Isso implica em uma necessidade crescente por água e energia pela população, pela indústria e pela agricultura, podendo agravar a crise hídrica e energética (VALEK; SUŠNIK; GRAFAKOS, 2017).

Há esforços anteriores e atuais para a preservação e a manutenção dos suprimentos de água e de energia, mas de maneira separadas (THIEDE et al., 2016). Portanto, uma abordagem denexo, que considere a inter-relação existente entre esses recursos, ganha um maior destaque, auxiliando o desenvolvimento mais sustentável dos recursos hídricos e energéticos de forma integrada, pois a gestão de maneira separada pode ser ineficaz (ZHANG; VESSELINOV, 2016).

Considerando-se que grandes quantidades de energia elétrica são utilizadas para a captação, tratamento e distribuição de água em sistemas públicos de abastecimento (majoritariamente no bombeamento de água nestas etapas) e a quantidade de energia utilizada para o tratamento do lodo nas estações de tratamento de água (ETA) uma forma de reduzir o consumo de água proveniente da rede pública e, conseqüentemente, o uso de energia no sistema de abastecimento de água, é a captação e utilização da água de chuva em edificações. O uso da água da chuva pode reduzir a retirada direta de água dos rios e reduzir os esforços para construção de novas infraestruturas para o abastecimento público e manutenção da rede existente (SILVA; GHISI, 2016); além disso, o uso da água de chuva em vez da água potável pode diminuir um passivo ambiental pela diminuição da geração de lodo na estação de tratamento de água.

Em termos energéticos, a hipótese testada na presente pesquisa é a de que, *ao se captar água de chuva em uma edificação, e posteriormente utilizá-la para fins não potáveis, ocorre uma redução significativa da energia elétrica utilizada para a disponibilização de cada unidade volumétrica de água ( $kWh \cdot m^{-3}$ ), em comparação à energia elétrica utilizada para a captação, tratamento e distribuição da mesma quantidade de água a partir de um sistema público*. Esta hipótese se baseia nos seguintes elementos:

- ao se captar água de chuva em telhados de edificações, deixa-se de consumir energia elétrica na fase de captação de um sistema público, seja a partir de um manancial superficial ou subterrâneo;
- ao se utilizar a água de chuva captada para um fim não potável, deixa-se de consumir energia elétrica para o tratamento e potabilização da água proveniente do sistema público;
- a energia elétrica utilizada em um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis decorre, basicamente, da energia necessária para o bombeamento de água de um reservatório inferior de armazenamento, até o reservatório elevado de distribuição da edificação. Na hipótese testada, as características físicas (desníveis, comprimentos de tubulações, dentre outras) influentes sobre a energia consumida por um sistema de aproveitamento de água de chuva são bastante inferiores àquelas de sistemas públicos, resultando, dentre outros, em menores perdas de carga e, conseqüentemente, em um menor consumo energético por unidade de água produzida.

A possível redução do consumo de energia elétrica atribuída ao uso do sistema de aproveitamento de águas pluviais pelo nexos água-energia pode ser uma das maneiras de diminuir os impactos ambientais (LO, 2016), uma vez que o consumo energético específico é fator importante para a viabilidade ambiental do sistema de aproveitamento de águas pluviais, pois o aproveitamento da água da chuva pode trazer benefícios energéticos e a redução da emissão de carbono em comparação ao sistema público central (VIEIRA et al., 2014).

A delimitação da presente pesquisa no contexto das habitações de interesse social se deve à lacuna de estudos com foco nesse tipo de habitação, e ao contexto sustentável no qual ele se insere. Além dos aspectos/benefícios ambientais que essa tecnologia pode proporcionar a qualquer tipo de edificação, o impacto econômico da sua utilização em habitações de interesse social exige um melhor entendimento, por exemplo, o menor dispêndio de recursos financeiros por parte das famílias para o pagamento de serviços relativos ao uso de água, ou, por outro lado, o aumento da conta de energia em função do bombeamento de água de chuva. Esse entendimento pode, por exemplo, subsidiar políticas públicas voltadas às habitações de interesse social, assim como pode ajudar os tomadores de decisão a definir opções mais sustentáveis.



### 1.3 IMPACTOS DA PESQUISA E CONTRIBUIÇÕES DA TESE

Quando se utiliza o conceito do nexo água-energia, pode-se considerar um planejamento de longo prazo para atendimento da necessidade de água e energia (KITESSA et al., 2021). Portanto, essa pesquisa pode impactar ao longo prazo na disponibilidade dos recursos hídricos e energéticos, como também pode impactar no planejamento das futuras habitações de interesse social e na implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva nas habitações de interesse social construídas.

Há vários estudos que trabalham com o nexo água-energia, ou seja, que associam o consumo de energia e o abastecimento de água; porém, poucos estudos que quantificam a economia de energia elétrica obtida pela economia de água potável em edificações (CUREAU; GHISI, 2020). Portanto, este trabalho contribui na quantificação da energia economizada pela economia de água potável com a utilização de um sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC). Além disso, o trabalho contribui no estudo do SAAC como uma estratégia de economia de água e energia, no entendimento do nexo água-energia, no planejamento das futuras habitações de interesse social, e na sustentabilidade nas construções.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A tese foi estruturada em quatro capítulos, da seguinte forma:

- Capítulo 2: apresenta a fundamentação teórica mostrando o estado da arte sobre o nexo água-energia e sistemas de aproveitamento de água de chuva;
- Capítulo 3: neste capítulo são apresentadas as características da área de estudo e o método do trabalho;
- Capítulo 4: apresenta os resultados e sua respectiva discussão de acordo com a literatura;
- Capítulo 5: neste capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações para o desenvolvimento de futuros trabalhos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será apresentada uma fundamentação teórica sobre os assuntos relevantes a esta tese, identificando os principais pontos presentes no estado da arte e os pontos que deram subsídios ao desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 BASES METODOLÓGICAS PARA A REALIZAÇÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, a revisão sistemática da literatura dos temas de maior importância para subsidiar a pesquisa é apresentada. A revisão foi feita através de livros, base de periódicos e páginas governamentais da internet. As principais bases consultadas foram: *ScienceDirect*, *Scielo*, *Scopus*, e Periódicos CAPES.

O método de pesquisa baseou-se em pesquisar palavras-chave nas bases consultadas. As palavras foram “nexo”, “energia”, “água”, “chuva”, “armazenamento”, “aproveitamento”, “casa popular”, “edificação”, “água não potável”, e os conectivos “e/ou”. Essas palavras foram pesquisadas individualmente ou em combinações. Combinações como: i) nexo, energia e água; ii) nexo, armazenamento e chuva; iii) aproveitamento, chuva, edificações; iv) água não potável e nexo.

Os trabalhos foram classificados de acordo com a sua relevância, dos mais relevantes, foram selecionados os trabalhos mais atuais (últimos 10 anos). Após isso, os trabalhos foram selecionados de acordo com cada tópico que foi trabalhado na revisão bibliográfica.

### 2.2 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Habitação popular é o termo genérico para as moradias destinadas à população de baixa renda. Outros sinônimos para esse termo são habitação subnormal, habitação de interesse social, habitação social, habitação de baixo custo e habitação para população de baixa renda (ABIKO, 1995). O termo habitação de interesse social foi utilizado pelo extinto Banco Nacional da Habitação (BNH) para moradias financiadas pelo programa para a faixa de menor renda (ABIKO, 1995).

As habitações de interesse social são financiadas pelo poder público e destinadas à população de baixa renda (renda mensal de até três salários mínimos (SILVA, 2013)). No

Estado de São Paulo, pelo Decreto Estadual nº 53.823/2008, a população de baixa renda é aquela com renda mensal de até cinco salários mínimos vigentes no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2008).

O Estado de São Paulo participa do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) por meio do Conselho Estadual de Habitação, Conselho do Fundo Garantidor Habitacional e Conselho Gestor do Fundo Paulista de Habitação de Interesse Social. Esse último aprovou o programa Casa Paulista, que fomenta e executa programas e ações na área de habitação de interesse social em São Paulo (Estado). Além disso, existe o programa do Governo Federal, denominado Programa Minha Casa, Minha Vida, instituído em 2009 pela Lei nº 11.977/09, que subsidia casas populares (SÃO PAULO, 2018a).

A NBR 12721/2006 define três modelos de habitações de interesse social (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006; GIANNETTI et al., 2018):

- Residência Popular com dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro, com área de 39,56 m<sup>2</sup>;
- Projeto de Interesse Social com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. O projeto é de apartamento com área de 49,57 m<sup>2</sup>;
- Prédio Popular: apartamento com 88,44 m<sup>2</sup> com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço.

Triana, Lamberts e Sassi (2015) estudaram habitações do Programa Minha Casa, Minha Vida. Os autores encontraram uma área variando de 37,84 m<sup>2</sup> a 54,57 m<sup>2</sup> (média de 43,36 m<sup>2</sup>). Tubelo et al. (2018) mencionaram que a área mínima interna é de 36 m<sup>2</sup> para uma casa de um pavimento e dois quartos. Na região central do Brasil, próximo à Brasília, as residências de interesse social unifamiliares (dois quartos, cozinha, sala e banheiro) foram construídas com área interna de 48 m<sup>2</sup> (PAULSEN; SPOSTO, 2013). Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) estudaram habitações de interesse social da cidade de Palhoça (sul do Brasil) com área de captação de chuva (telhado) de 80 m<sup>2</sup>.

Na maioria dos casos das habitações construídas pelo programa Minha Casa Minha Vida, as construções do tipo casa têm um pavimento e as do tipo apartamento apresentam quatro pavimentos (TUBELO et al., 2018). De acordo com a CAIXA (2012), há duas tipologias de habitações no Programa Minha Casa, Minha Vida:

- Tipologia 1, de casa térrea com área de 35 m<sup>2</sup> e;
- Tipologia 2, de apartamento com área de 42 m<sup>2</sup> para as habitações destinadas às famílias com renda mensal de até 3 salários mínimos.

No Programa Casa Paulista, também há duas tipologias de habitações de interesse social: casa e apartamento. As duas tipologias são construídas com uma sala, dois quartos, cozinha, banheiro e área de serviço, com área útil de 43 m<sup>2</sup>. A cobertura das habitações é feita em telhas cerâmicas, de concreto ou de fibrocimento, mas há sempre laje nas construções (SÃO PAULO, 2014), e essas habitações são dimensionadas para quatro pessoas.

### 2.3 PERFIL DE CONSUMO – DEFINIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL E NÃO POTÁVEL

Segundo a Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), água potável é definida como águas que atendem os padrões de potabilidade (parâmetros da qualidade da água definidos nessa portaria) e não ofereça riscos à saúde humana. Essas águas se destinam à ingestão humana, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal.

Água não potável é aquela que não atende os padrões de potabilidade da Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007; BRASIL, 2021). Os usos para água não potáveis incluem descargas de vasos sanitários, irrigação, lavagem de calçadas, quintais, automóveis, limpeza de terraços (DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; KHASTAGIR; JAYASURIYA, 2010).

Muitos estudos concordam que a porcentagem de usos domésticos da água que não precisa ser água potável é alta (DOMÍNGUEZ et al., 2017). Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) estudaram vinte habitações de interesse social da cidade de Palhoça (sul do Brasil) para estimar o consumo final de água e encontraram um consumo médio de água para usos não potáveis (descarga, torneira externa, torneira da lavanderia) de 33 %, variando de 9 % a 50 % de toda a água consumida. Entretanto, os usos finais da água dependem de fatores socioeconômicos, etnia, tipo de residência, cultura, clima, padrão de vida, renda (PROENÇA; GHISI, 2010; RATHNAYAKA et al., 2017). A utilização de água não potável (descarga, lavagem de roupa, irrigação de jardim, limpeza de chão, lavagem de automóveis e usos externos) pode representar de 80 % a 90 % do consumo total residencial (CAMPISANO et al., 2017).

No estudo de Lopes et al. (2017) realizado em Montes Claros (norte de Minas Gerais), a fração do consumo de água destinada aos usos não potáveis foi de 50 %; os autores ressaltaram que a porcentagem se encontra no intervalo das residências ao redor do mundo. Os autores mencionam ainda que a porcentagem do consumo utilizado para usos não potáveis no Brasil varia de 44 a 72%. No caso da Colômbia, essa porcentagem pode ser de aproximadamente 71% (DOMÍNGUEZ et al., 2017).

Um estudo realizado em duas residências em Palhoça, Santa Catarina, o uso não potável (sanitário e lavagem de roupa) representou 36,6% na primeira casa e na segunda, 33,8% do uso total de água (GHISI; OLIVEIRA, 2007). A avaliação do uso de água não potável (descarga, lavagem de roupa e limpeza) em três condomínios em Florianópolis, SC, variou de 39,2 a 42,7% do uso de água total (GHISI; FERREIRA, 2007).

Mehrabadi, Saghafian e Fashi (2013) estudaram três cidades do Irã com climas diferentes: úmido, árido e Mediterrâneo. A necessidade de água não potável foi assumida com um valor de 60 a 180 litros por pessoa por dia. No trabalho de Hammes, Thives e Ghisi (2018) no Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, o consumo de água não potável foi considerado de 69% do total. O uso de água não potável nos Estados Unidos representou 43% do total (THOMAS et al., 2014).

No trabalho de Santos e Taveira-Pinto (2013) em Porto, Portugal, os autores consideraram um consumo de água não potável de 48% do consumo total (28% banheiro, 5% lavagem de pavimentos, 7% irrigação e 8% máquina de lavar).

Deoreo et al. (2016) indicaram no estudo feito em 23 locais dos Estados Unidos (aproximadamente 1000 residências unifamiliares de cada local) que o maior consumo de água no interior das residências é do banheiro com descargas, que representa 24% do consumo total de água.

Na norma técnica NBR 5626 - Instalação predial de água fria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), a vazão de projeto da bacia sanitária é de  $1,85 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (caixa com a válvula de descarga), mictório de  $0,15 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (ou  $0,5 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  com sifão integrado), torneira de jardim ou lavagem em geral, de  $0,2 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## 2.4 GESTÃO DO USO DA ÁGUA E DA ENERGIA

A água é um recurso renovável, mas sua disponibilidade é limitada para a sociedade (VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013). Há uma crescente escassez de água

doce que motiva os governantes e autoridades a terem uma gestão do recurso mais sustentável para atender a necessidade de água potável (UMAPATHI; CHONG; SHARMA, 2013).

A escassez de água também afeta o setor energético, pois a água é utilizada para a extração, transporte e processamento de fontes de energia fósseis, para a irrigação de culturas que são matérias-primas utilizadas para produzir biocombustíveis, e para a geração de energia nas hidrelétricas. Assim, os sistemas de energia enfrentam uma crescente vulnerabilidade à disponibilidade e à qualidade das águas (GUERRA; REKLAITIS, 2018). Essa vulnerabilidade pode ser diminuída por uma gestão eficaz da água, sendo que a gestão do recurso hídrico de maneira eficiente, eficaz e sustentável se torna um desafio (GUERRA; REKLAITIS, 2018; STAVENHAGEN; BUURMAN; TORTAJADA, 2018).

Atualmente, a gestão da água e da energia em todas as esferas governamentais é feita de maneira segregada. Em uma das diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) é mencionado que a gestão do recurso hídrico deve ser integrada com a gestão ambiental, mas não deixa clara a integração entre as gestões de energia e água, considerando a influência que a gestão energética tem na gestão dos recursos hídrico, e vice-versa.

Não há, normalmente, avaliações dos impactos da ação de um setor sobre os outros (HOWELLS; ROGNER, 2014). Entretanto, uma série de fatores como o consumo crescente por água e energia, a urbanização crescente, o mercado de carbono e as mudanças climáticas, torna o nexo entre água e energia uma ferramenta operacional necessária para a gestão conjunta dos recursos e para políticas mais sustentáveis (SCOTT; PASQUALETTI, 2010). Além disso, a gestão conjunta dos dois recursos traz o benefício de minimizar o impacto indireto, não contabilizado, de um recurso no outro (ENGSTRÖM et al., 2017; WANJIRU; XIA, 2017).

A abordagem de água e energia de maneira integrada, considerando seu nexo, envolve de uma maneira mais holística, sistêmica e ambiental, a questão de gerenciamento dos recursos, considerando diferentes dimensões, não priorizando um recurso em relação ao outro, e antecipando as potenciais sinergias (VENGHAUS; HAKE, 2018).

Os serviços de abastecimento de água podem desempenhar um papel importante na economia de água e na conservação de energia, pois a gestão hídrica atual das cidades apresenta um consumo energético significativo (LAM; KENWAY; LANT, 2017; SCOTT; PASQUALETTI, 2010).

## 2.5 NEXO ÁGUA-ENERGIA

A relação ou interdependência entre água e energia não se deve apenas ao fato de que um recurso necessita do outro para a sua materialização, mas também, devido às inter-relações na produção e no consumo de produtos (CHEN; CHEN, 2016). A água e a energia são complementares e insumos para a produção de alimentos e outras atividades produtivas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2015).

O nexo água-energia se torna mais importante com o crescimento populacional urbano, com a busca pela melhoria da qualidade de vida, com o crescimento do consumo *per capita* de água e de energia em função de mudanças no modo de vida das pessoas, dentre outros. Há um crescente número de estudos focados nessa inter-relação entre água e energia em diversas escalas, como a regional, a urbana, e a de projeto (DUAN; CHEN, 2017). Pelo nexo água-energia, as restrições de água tornam-se restrições de energia, e vice-versa, de modo que o uso racional de água impacta positivamente na disponibilidade de energia (LUBEGA; FARID, 2014; TAJCHMAN, 2017).

Normalmente, o nexo é visto como a interligação em termos de uso dos recursos, por isso, é normalmente caracterizado em termos de eficiência de uso de água e de energia, ou seja, a quantidade de água necessária em metros cúbicos (m<sup>3</sup>) para gerar um quilowatt-hora (kWh) de energia elétrica, ou a quantidade de energia consumida em quilowatt-hora (kWh) por metro cúbico de água (m<sup>3</sup>) fornecida (SCOTT et al., 2011).

Segundo Nair et al. (2014), os sistemas de abastecimento de água e esgoto estão associados a uma grande quantidade de energia consumida e emissões de gases do efeito estufa. Estima-se que aproximadamente 7% da energia elétrica gerada globalmente seja consumidas em sistemas de abastecimento de água, tratamento, captação e distribuição de água potável e tratamento das águas residuais (WAKEEL et al., 2016).

A compreensão do nexo água-energia pode minimizar o consumo de energia e de água e reduzir as emissões de gases dos efeitos estufa (FANG; CHEN, 2017; WAKEEL et al., 2016). O Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta seis pilares envolvendo o nexo água-energia (ABEGAZ; DATTA; MAHAJAN, 2018; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014):

- melhorar a eficiência do uso de água na produção, na geração e no uso final da energia;
- melhorar a eficiência do uso de energia no gerenciamento, no tratamento, na distribuição e

no uso final da água;

- melhorar a confiabilidade e resiliência dos sistemas de energia e de água;
- explorar as sinergias de produção entre os sistemas de energia e água;
- aumentar a segurança e a produtividade de fontes de água não tradicionais e
- promover operações energéticas responsáveis em relação à qualidade da água, ao ecossistema e aos impactos sísmicos.

Um sistema de aproveitamento de águas pluviais pode contemplar o conceito de interdependência entre água e energia. Jiang, Li e Ma (2013) estudaram a economia de água potável e de energia pelo uso desse sistema, sendo a água da chuva utilizada para uso doméstico e produção agrícola em regiões áridas e semiáridas no Planalto do Loess, China. Através da análise de ciclo de vida do sistema de captação e aproveitamento de água de chuva, o consumo de energia do sistema foi determinado. Esse consumo foi comparado com o consumo de energia do sistema público de abastecimento de água para o mesmo volume de água, para verificar o efeito positivo ou negativo na conservação de energia pelo uso do sistema de aproveitamento de água de chuva. Como resultado, houve uma economia de energia de 58,3 % (a intensidade energética do SAAC foi de  $25,96 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{ano}^{-1}$  e do sistema central, de  $62,25 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) para suprir o solicitado pelo sistema de captação de água pluvial em comparação ao sistema público. Os autores concluíram que a coleta da água da chuva se mostrou muito útil para a conservação de energia. Esse trabalho não se restringiu somente a economia de água, mas também determinou a economia de energia, porém, os autores não mencionaram as características do motor-bomba e foi um estudo para as condições climáticas da China.

Chiu, Tsai e Chiang (2015) realizaram simulações em sistema de informações geográficas (GIS) em um estudo de caso baseado em oito comunidades localizadas em colinas no norte de Taiwan, para encontrar o volume ótimo do reservatório de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, e para determinar a economia de água potável e energia proveniente destes sistemas. Como resultado, houve uma economia anual de água de  $75,8 \text{ m}^3$  por família, e uma economia de energia de  $138,6 \text{ kWh}$  (21,3%) por ano e por família. Chiu, Tsai e Chiang (2015) concluíram que o sistema de aproveitamento de águas pluviais pode ser uma alternativa renovável para economizar água e energia. O estudo considerou a escala da cidade, considerando somente as cidades em colinas.



## 2.6 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Os sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais são provavelmente o modo mais antigo para suprir a necessidade de água no mundo (CAMPISANO et al., 2017). Esses sistemas podem ser utilizados tanto em áreas rurais quanto urbanas, como uma fonte para o suprimento de água, adicionando flexibilidade e robustez aos sistemas de água (LOPES et al., 2017).

A utilização da água de chuva para consumo humano e higiene pessoal é proibida pela legislação francesa (VIALLE et al., 2015). No Japão, Estados Unidos, Alemanha e Austrália, a legislação permite o uso da água da chuva para fins não potáveis (PACHECO et al., 2017). No Brasil, o uso dessa água é indicado, também, para fins não potáveis de acordo com a NBR 15527:2019, que define os requisitos para o aproveitamento de água de chuva. Nessa norma, os parâmetros mínimos foram definidos para a qualidade da água da chuva: contagem de coliformes menor que 200 em um volume de 100 mL de água, o valor máximo de turbidez deve ser menor que 5 uT (unidade de turbidez) em todas as amostras, e o pH deve estar no intervalo de 6,0 a 9,0 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Além da norma brasileira de regulamentação do aproveitamento de água de chuvas, em nível federal, há também um projeto de lei que estabelece uma Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais. Essa política, dentro de seus objetivos, cria incentivos para o aproveitamento de águas pluviais e incentiva a conservação e o uso racional da água (BRASIL, 2014; PACHECO et al., 2017).

O aproveitamento de água de chuva visa reduzir o consumo de água potável proveniente da rede pública, podendo gerar uma redução no consumo de energia elétrica e postergar a necessidade de construção de novas infraestruturas da rede pública de água (CAMPISANO et al., 2017). Na região Sudeste, há uma estimativa de que haveria 48% de economia de água com o aproveitamento da água da chuva (GHISI, 2006; GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007). O sistema doméstico de captação de águas pluviais pode gerar uma redução no uso de água potável de 30% a 92% com uma média de 69% (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010).

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial apresentam vantagens como economia de água potável, poder melhorar a segurança hídrica urbana pelo fato de haver um consumo mais sustentável da água, mitigação de inundações em bacias urbanas e de extensas áreas impermeáveis, aumento da vida útil da infraestrutura de distribuição de água centralizada pela

redução do consumo, economia de energia no sistema de captação, no tratamento e na distribuição de água e no sistema de coleta, de recalque e de tratamento de esgoto (JIANG; LI; MA, 2013; MAKKI et al., 2013; TOMAZ, 2010; VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013). Segundo Vargas-Parra, Villalba e Gabarrell (2013), o sistema de aproveitamento de águas pluviais é uma medida atrativa como fonte de água, pois apresenta um custo de instalação baixo, construção simples, baixo consumo de energia durante o estágio de uso, baixo tratamento para utilização da água, os materiais do sistema não são escassos e a água resultante do sistema pode ser utilizada em jardins, lavagem de carro e descargas de banheiro (usos não potáveis).

Além disso, a captação e retenção de água de chuva promovida pelo sistema de aproveitamento de água pluvial pode promover a redução da velocidade de escoamento de água de chuvas em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem, controlar a ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheias, contribuir para a redução de consumo e o uso adequado da água potável tratada (SÃO PAULO, 2007). O sistema é considerado uma fonte alternativa ao abastecimento de água centralizado, estando essa tecnologia presente no mundo inteiro em áreas rurais e urbanas (KARIM; BASHAR; IMTEAZ, 2015).

Dallman et al. (2016) estudaram o uso do sistema de aproveitamento de águas pluviais na bacia densamente urbanizada no sul da Califórnia. Os autores encontraram a máxima economia de água potável de 2,74 milhões de metros cúbicos. Esse valor foi calculado a partir da multiplicação de três valores: número de construções com o sistema, a área média das construções e a precipitação média anual durante o período considerado no estudo. De acordo com Chiu, Liaw e Chen (2009), a coleta de água da chuva é um sistema economicamente viável, principalmente quando se considera a economia de energia e de água potável. Entretanto, o modelo de bomba para o sistema de aproveitamento de água pluvial deve ser cuidadosamente considerado de acordo com os usos finais que lhe serão aplicados para a melhor relação custo-benefício da instalação, pois pode haver uma defasagem entre o ponto ótimo de trabalho das bombas e a vazão de água necessária para suprir os usos finais pelo sistema (SIEMS; SAHIN, 2016).

Há vários benefícios com a implantação de um sistema de aproveitamento, como economia de água potável, conseqüentemente, economia nas contas de água, economia de energia, de produtos químicos e diminuição da vazão de pico do escoamento superficial. A implantação do sistema em nível doméstico apresenta algumas limitações, como materiais de

baixa qualidade nos telhados, alto custo de investimento de implantação e manutenção do sistema, conhecimento limitado sobre o potencial dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, espaço para implantação, falta de financiamento e regulamentação, e águas pluviais, que podem ser de má qualidade (BALOGUN; SOJOBI; OYEDEPO, 2016; DOMÍNGUEZ et al., 2017).

### **2.6.1 Componentes de sistemas de aproveitamento de água de chuva**

Um sistema de aproveitamento de água de chuva consiste na coleta, armazenamento e tratamento de águas pluviais dos telhados, terraços, superfícies impermeáveis para uso no local (CAMPISANO et al., 2017). A configuração do sistema de aproveitamento de águas pluviais apresenta um tanque de armazenamento de águas, um sistema de tratamento da água, um sistema de bombeamento, tubulações, bem como um *backup* com o sistema de rede pública (SIEMS; SAHIN, 2016; VIALLE et al., 2015; WANJIRU; XIA, 2017). É importante ressaltar que esse *layout* básico pode ser alterado em função das características do projeto, da área de coleta e, também, das aplicações para as quais a água da chuva será destinada.

De modo geral, o sistema de aproveitamento de água de chuva apresenta três estruturas: a captação, o tanque de armazenamento e o sistema de distribuição. A captação precisa ser de um local impermeável que não contamine a água da chuva. O sistema de distribuição, normalmente, consiste em um conjunto de tubulação e calhas (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010).

O funcionamento do sistema de aproveitamento consiste na captação da água da chuva, que deve ter o escoamento inicial descartado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007; HASHIM et al., 2013) devido à grande concentração de poluentes que pode ser removida do telhado no início do evento pluviométrico. Após isso, a água da chuva é coletada em uma cisterna, para, posteriormente, ser bombeada para um tanque de armazenamento superior que fará a sua distribuição aos pontos de uso, podendo ou não passar por um tratamento. Um dos tratamentos usuais da água da chuva é a utilização de um sistema de lâmpadas ultravioletas (ROSE; UPSHAW; WEBBER, 2018). O tanque de armazenamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais pode ser alocado no subsolo, acima ou abaixo do telhado (VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013).

Os componentes desse sistema no trabalho de Vieira e Ghisi (2016) foram: reservatório de armazenamento ao nível do solo, reservatório superior para fornecimento de

água pela gravidade, conjunto moto bomba para bombear do primeiro reservatório para o segundo, dispositivo de descarte do escoamento inicial, sistema de desinfecção ultravioleta, válvulas de retenção, válvula boia, controladores dos sistemas de bombeamento e desinfecção, condutores verticais e horizontais e outras tubulações e conexões.

O dimensionamento desse tanque de armazenamento pode ser feito de várias maneiras, dentre elas, através do programa Neptune, como nos trabalhos de Ghisi, Bressan e Martini (2007); Proença e Ghisi (2013); Vieira e Ghisi (2016), Dumit Gómez e Teixeira (2017). O programa apresenta como dados de entrada: consumo diário de água potável *per capita*, série histórica da precipitação diária, a área coberta por habitação, coeficiente de escoamento (proporção da água da chuva que pode ser utilizada, ou seja, a proporção de água que não é descartada, para limpeza do telhado e por evaporação), número de pessoas por habitação, a capacidade do tanque de águas pluviais e o consumo de água pluvial por habitação (GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007; GÓMEZ; TEIXEIRA, 2017; VIEIRA; GHISI, 2016).

A melhoria do sistema de armazenamento também pode ser feita com uma simulação de balanço de água, com métodos probabilísticos ou com abordagens hidrológicas (HASHIM et al., 2013). Além disso, a norma técnica ABNT NBR 15527:2007 propõe alguns métodos de dimensionamento do reservatório: método de Rippl, Método Prático Inglês, Método Prático Alemão, Método Prático Australiano, Método da Simulação e/ou pelo Método Azevedo Neto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). Por exemplo, Okoye, Solyali e Akintuğ (2015) melhoram o sistema utilizando programação linear, baseada nos dados de precipitação, área do telhado, consumo *per capita* de água e número de residentes.

### **2.6.2 Consumo energético**

A quantidade de energia consumida por unidade de volume de água disponibilizado (intensidade energética ou consumo energético específico) é um parâmetro fundamental para analisar a viabilidade ambiental do sistema de aproveitamento de água de chuva (VIEIRA et al., 2014). O formato da construção tem grande influência no desempenho energético do sistema de aproveitamento de águas pluviais (ŞAHIN; MANIOĞLU, 2019). A determinação da intensidade energética pode ser feita por estudos empíricos e teóricos.

Chiu, Liaw e Chen (2009) utilizaram um método teórico desenvolvido por Cheng (2002) para a determinação da intensidade energética de um sistema de aproveitamento de águas pluviais de uma comunidade alta de Taipei, Taiwan. A intensidade energética foi de

0,06 kWh·m<sup>-3</sup> para o consumo de energia de uma bomba de rotação constante.

A determinação da intensidade energética pelo método teórico pode ser feita pelas equações (1) e (2) (VIEIRA et al., 2014):

$$P_{MB} \geq \frac{\rho g H Q}{\eta_M \eta_p} \quad (1)$$

Sendo:

- $P_{MB}$  potência de entrada do motor (W);
- $\rho$  massa específica do líquido (kg·m<sup>-3</sup>);
- $g$  aceleração da gravidade (m·s<sup>-2</sup>);
- $H$  altura manométrica (m);
- $Q$  vazão (m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>);
- $\eta_M$  eficiência do motor (-);
- $\eta_p$  eficiência da bomba (-).

$$EI_{MP} = \frac{P_{MB}}{Q} \quad (2)$$

Em que:

- $EI_{MP}$  consumo energético específico do sistema moto-bomba (kWh·m<sup>-3</sup>);
- $P_{MB}$  potência de entrada da bomba (kW);
- $Q$  vazão (m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>).

Outro trabalho que utilizou o método teórico foi dos autores Ward, Butler e Memon (2012), que analisaram o ciclo de vida de um sistema de aproveitamento de águas pluviais do Centro de Inovação da Universidade de Exeter, Inglaterra. A intensidade energética encontrada foi de 0,54 kWh·m<sup>-3</sup> com uma bomba de rotação constante.

Há estudos que utilizam o método empírico como o trabalho de Talebpour et al. (2011). Os autores monitoraram cinco sistemas de armazenamento de água de chuva em Gold Coast, Austrália, medindo o consumo energético específico variando de 1,0 a 1,7 kWh·m<sup>-3</sup> com uma bomba de rotação constante.

Retamal et al. (2009) determinaram a intensidade energética pelo método teórico e

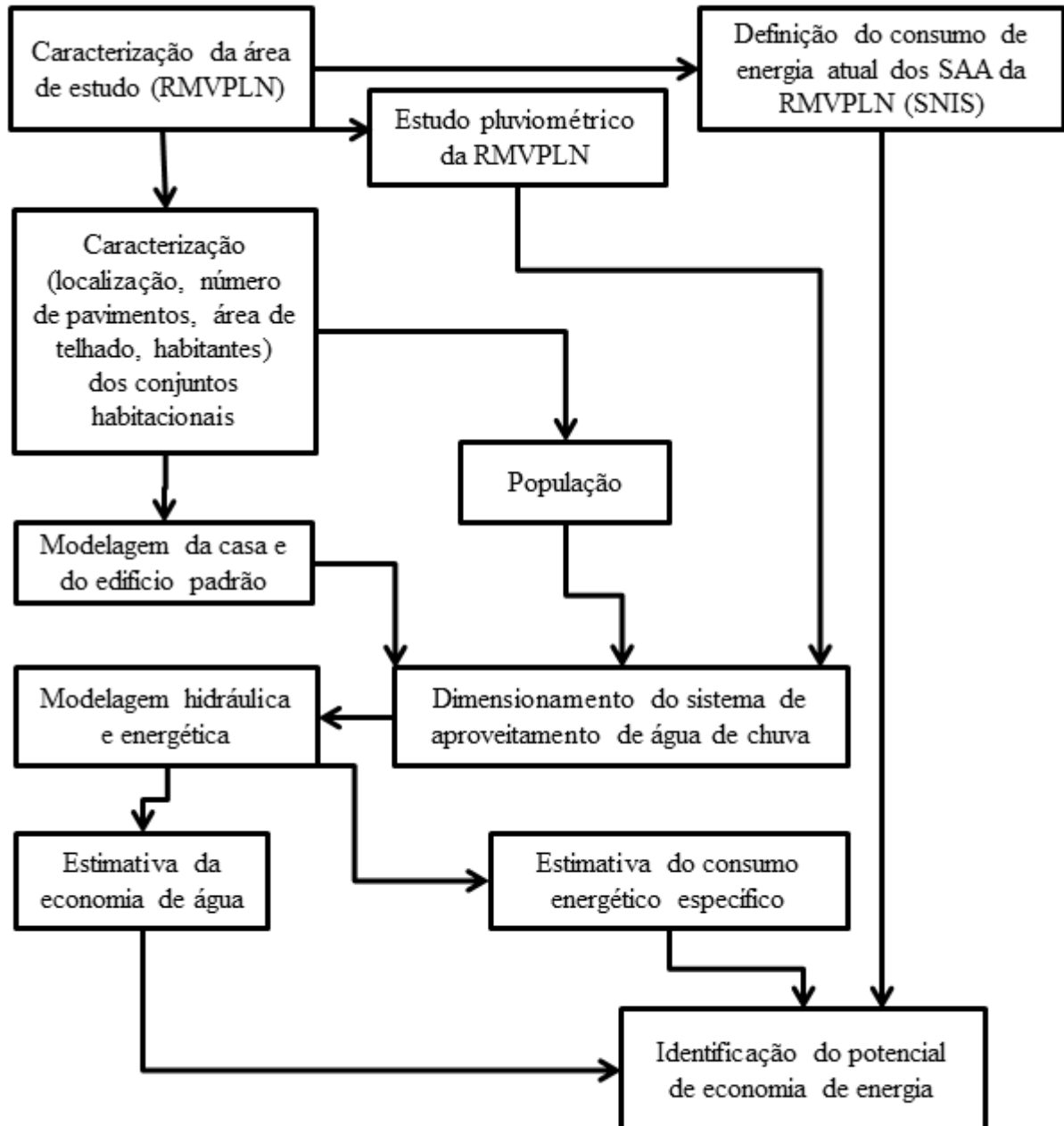
empírico. Este último foi feito para validar a análise teórica. Na análise empírica, os autores monitoraram dez residências em Sydney, Austrália, utilizando bombas com rotação constante, rotação variável e submersas. O sistema de utilização de bomba do tipo Venturi (incomum para esta finalidade) teve intensidade energética de  $4,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ . O sistema com velocidade fixa variou de 0,9 a  $2,3 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ . O consumo energético específico de um sistema com bomba de velocidade variável foi de  $2,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ . Os autores ressaltaram que o consumo energético específico é uma função da eficiência energética de um sistema de águas pluviais, da natureza dos usos finais e da eficiência do uso da água no local.

O sistema de aproveitamento de águas pluviais pode trazer economia de energia e de água (CHEN et al., 2012), mas essa economia depende do dimensionamento do sistema, dos conjuntos moto-bomba, da necessidade de água pluvial, da área do telhado e do padrão de precipitação da região.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

A Figura 1 apresenta um resumo do método da pesquisa.

Figura 1: Fluxograma do método



RMVPLN: Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte

SAA: Sistema de Abastecimento de Água

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Fonte: Produção do próprio autor.

Conforme a Figura 1, o método consiste nas seguintes etapas: (1) estudo pluviométrico para a determinação dos padrões de chuva na RMVPLN; (2) identificação e caracterização

dos conjuntos habitacionais da RMVPLN; (3) modelagem da residência e apartamento padrão para a modelagem do sistema de captação de água de chuva; (4) estimativa dos potenciais de captação de água de chuva nos conjuntos habitacionais; (5) modelagem do consumo de energia elétrica dos sistemas de captação propostos; (6) comparação do consumo de energia elétrica dos sistemas de captação de água de chuva com o consumo de energia dos sistemas públicos.

A primeira etapa da pesquisa consistiu na caracterização da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), com a pesquisa de dados demográficos (por exemplo, número de habitantes, taxa de crescimento e de urbanização), identificação dos conjuntos habitacionais da região, dados pluviométricos, e dados referentes aos serviços de abastecimento de água - dentre eles, consumo energético específico e o consumo de água potável *per capita* dos municípios da RMVPLN. A partir da identificação e caracterização dos conjuntos habitacionais da RMVPLN (que envolveu a determinação da localização e tipo de moradia, o número de pavimentos, a área de captação de água de chuva), foi realizada a modelagem de uma casa padrão e de um edifício padrão representativos das características reais dos conjuntos habitacionais, que permitiram realizar a modelagem hidráulica do sistema de aproveitamento de água de chuva. Essa modelagem incluiu a proposição dos componentes hidráulicos, cálculo das perdas de carga e altura de elevação das bombas.

A partir das estações pluviométricas existentes na área de estudo e das características das casas e edifícios padrão, estimou-se o volume de água de chuva aproveitável, que foi comparado com o volume de água consumido para fins não potáveis, comparação essa que permitiu estimar a economia de água potável propiciada pelos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Por fim, por meio da modelagem hidráulica e energética, obteve-se o consumo energético específico ( $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ ) dos SAACs, que foi comparado com o valor deste indicador referente ao sistema de abastecimento de água do município em questão; esta comparação permitiu avaliar o impacto energético dos SAACs na RMVPLN.

As etapas do método aqui resumidas são detalhadas nas próximas seções.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

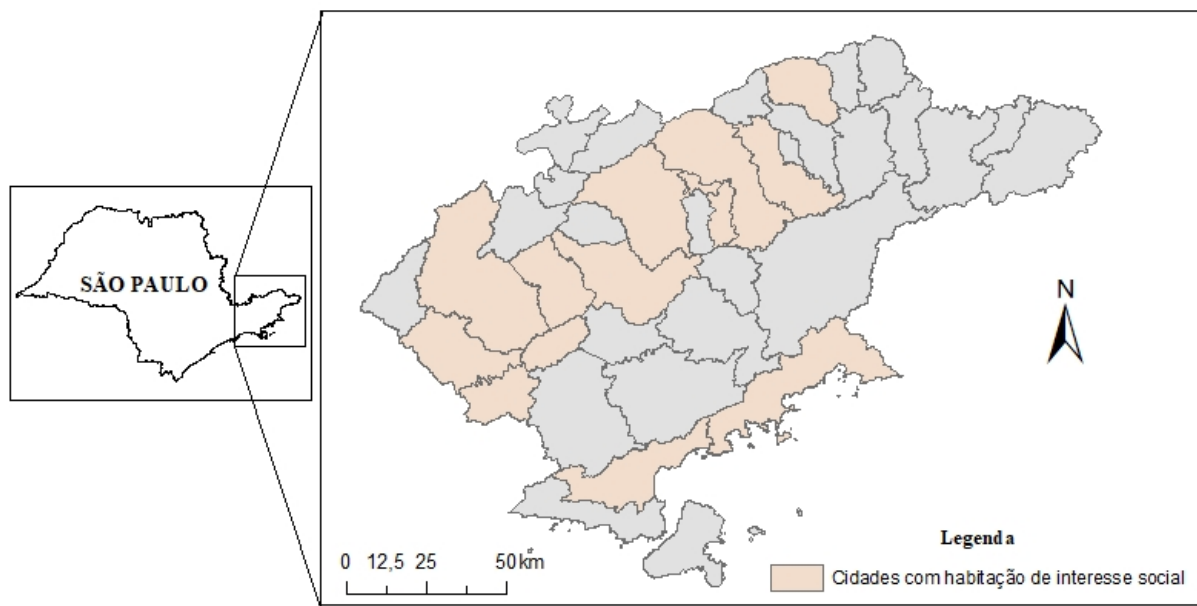
A pesquisa foi desenvolvida na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) (Figura 2), que é composta por 39 municípios (EMPLASA, 2016). Essa



região possuía uma população de 2.262.723 habitantes em 2010, ano do último censo realizado pelo IBGE, com uma taxa geométrica de crescimento anual de 1,28% entre 2000 e 2010, o que indica um crescimento populacional na região durante esse período. A área de estudo possui uma taxa de urbanização de 94,2 % em 2010 (SÃO PAULO, 2012).

Os indicadores socioeconômicos da RMVPLN em 2010 são apresentados na Tabela 1. O PIB da RMVPLN representa 3,7% do total do Estado de São Paulo, e a porcentagem da população da região de estudo considerada pobre (renda mensal domiciliar *per capita* igual ou inferior a R\$140,00) em 2010 foi de 5,67%. A densidade demográfica da RMVPLN era de 140 hab·km<sup>-2</sup> em 2010, valor superior à densidade demográfica do ano de 2000 (123,1 hab·km<sup>-2</sup>), devido à taxa de crescimento da população entre 2000 e 2010 ter sido de 1,37% ao ano (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2015).

Figura 2: Localização da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo



Fonte: Adaptado de EMPLASA (2016).

Tabela 1: Indicadores socioeconômicos em 2010 da RMVPLN

PIB (bilhões de reais)	45,8
Porcentagem da população que recebeu até três salários mínimos (%)	83,6
Porcentagem da população considerada pobre (%)	5,67
Densidade demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	140

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2015).

O consumo *per capita* médio de água no ano de 2020 para a RMVPLN foi de

194 L·hab<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>, e variou de 130,9 L·hab<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup> em Queluz a 474,2 L·hab<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup> em Areias no mesmo ano (SNIS, 2022). O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de abastecimento de água na RMVPLN foi de 0,74 kWh·m<sup>-3</sup> em 2020, valor que variou de 0 kWh·m<sup>-3</sup> em São José do Barreiro a 4,3 kWh·m<sup>-3</sup> em Tremembé (Anexo A) (SNIS, 2022).

Na RMVPLN, 14 municípios apresentavam conjuntos habitacionais no ano de 2015, conforme Tabela 2 e Figura 2.

Tabela 2: Cidades que apresentavam conjuntos habitacionais no ano de 2015

<b>Município</b>	<b>n° de conjuntos habitacionais</b>	<b>n° de unidades</b>	<b>Casa</b>	<b>Apart.</b>	<b>Possui estação pluviométrica?</b>
Aparecida	1	512	-	512	Sim
Caçapava	3	1242	1042	200	Sim
Caraguatatuba	3	1950	1950	-	Sim
Cruzeiro	10	1394	756	638	Não
Guaratinguetá	10	1833	625	1208	Sim
Jacareí	15	3188	400	2788	Sim
Jambeiro	1	71	71	-	Sim
Lorena	3	439	375	64	Sim
Pindamonhangaba	6	2980	580	2400	Sim
Potim	1	40	40	-	Não
Santa Branca	1	28	28	-	Sim
São José dos Campos	48	9402	2524	6878	Sim
Taubaté	20	4554	455	4099	Sim
Ubatuba	2	38	-	38	Sim

Fonte: Adaptado de ANA (2018); EMPLASA (2015).

### 3.2 BASE DE DADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO UTILIZADAS

Os dados e informações utilizados na pesquisa, com suas respectivas fontes e períodos de disponibilidade, são apresentados na Tabela 3, sendo eles: características dos conjuntos habitacionais (localização, tipo e quantidade), dados pluviométricos (séries históricas de chuva), consumo de água e consumo energético específico dos municípios da área de estudo. Esses dados são descritos detalhadamente na sequência deste capítulo.

Os dados e as informações das habitações de interesse social e da precipitação foram consolidados no final de 2019, sendo os dados mais recentes disponíveis são referentes ao ano de 2015 para as habitações de interesse social. Os dados de consumo per capita de água e índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água foram

atualizados em 2022 com dados mais recentes para o ano de referência de 2020 (Tabela 3).

Tabela 3: Base de dados e fontes de informações

<b>Dados e/ou indicadores</b>	<b>Fonte</b>	<b>Período Base</b>
Habitações de interesse social (localização, tipo e número de andares)	EMPLASA (2015)	2015
Precipitação	ANA (2018)	07/1929 a 08/2018*
Consumo de água potável <i>per capita</i> Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água	(SNIS, 2022)	2020

Fonte: Produção do próprio autor.

\*Período variável para cada estação pluviométrica, conforme Tabela 4.

### 3.2.1 Programas habitacionais vigentes no Estado de São Paulo e identificação dos conjuntos habitacionais da área de estudo

Na RMVPLN, há programas habitacionais federais, como o “Minha Casa, Minha Vida”, e estaduais, como o “Morar Bem, Viver Melhor”.

O Programa “Minha Casa, Minha Vida” é um Programa do Governo Federal para subsidiar moradias para a população de baixa renda, o programa foi criado em 2009 e baseado em um Sistema Nacional de Habitação (SNH) (ALVARENGA; RESCHILIAN, 2018; BRASIL, 2009), que tem como objetivo diminuir o déficit habitacional e como agente financiador a Caixa Econômica Federal (SÃO PAULO, 2012). As moradias subsidiadas por esse programa têm duas categorias distintas: casas térreas e apartamentos, e essas construção são adequadas para um perfil de família composta por um casal e duas crianças (BRASIL, 2018; CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012; MESQUITA; KÓS, 2017).

Os programas “Casa Paulista” e “Parceria Público-Privada (PPP)” fazem parte do programa “Morar Bem, Viver Melhor” (SÃO PAULO, 2018b). Dentro do Programa Casa Paulista, há o Programa Servidor Público Estadual, que consiste em uma linha de crédito individual para servidores estaduais com renda familiar de até R\$ 5.280,00 (SÃO PAULO, 2018c). Habitações no âmbito do Programa “Servidor Público Estadual” não foram consideradas nesta pesquisa, uma vez que não possuem um padrão construtivo.

As informações dos empreendimentos desses programas, localizados na RMVPLN, foram obtidas no Sistema de Informações Metropolitanas (<https://sim.emplasa.sp.gov.br/Mapa>) para o ano de 2015. As informações e indicadores obtidos nesta base foram:

- identificação do empreendimento;
- localização;
- número de unidades habitacionais.

Com a localização dos empreendimentos, foi possível utilizar o aplicativo Google Earth Pro (GOOGLE, 2019) para estimar a área de telhado, tipo de residência e número de pavimentos. Essas informações foram necessárias para modelar os sistemas de aproveitamento de água de chuva viáveis para cada instalação, conforme descrito na Seção 3.3.

O banco de dados consolidado, com as informações dos conjuntos habitacionais da RMVPLN, é apresentado nos Apêndices A e B. Foram inventariados e descritos 124 conjuntos habitacionais, num total de 27.671 unidades habitacionais. Assumindo que cada unidade é habitada por quatro pessoas, a população total considerada na pesquisa é da ordem de 110.684 habitantes, cerca de 5% da população total da RMVPLN com base no Censo 2010.

#### 3.2.1.1 Número de pavimentos

Para a modelagem hidráulica e energética dos SAAC, foi necessário definir o número de pavimentos dos edifícios dos conjuntos habitacionais, para posterior determinação da altura de elevação das bombas. Na modelagem hidráulica (seção 3.4), a altura geométrica foi referenciada ao número de pavimentos.

O número de pavimentos de cada conjunto habitacional foi determinado através das seguintes procedimentos:

1. Uso da ferramenta *Street View*: quando disponível, a ferramenta de visualização panorâmica do aplicativo Google Earth Pro foi utilizada para a obtenção visual do número de pavimentos de cada empreendimento.
2. Consultas à internet: foram consultadas páginas das construtoras, das prefeituras municipais, dentre outras, para a obtenção de informações textuais, tabulares e/ou imagens para a determinação do número de pavimentos dos edifícios dos conjuntos.
3. Estimativa do número de pavimentos: não sendo possível aplicar os dois primeiros

procedimentos descritos, a estimativa do número de pavimentos foi feita pela determinação do número de unidades habitacionais por pavimento, ou seja, dividindo-se a área total do edifício (obtida no aplicativo Google Earth) pela área padrão de uma unidade habitacional (42 m<sup>2</sup>). Calculado o número de apartamentos por pavimento, dividiu-se o número total de unidades do edifício pelo número de apartamentos por pavimento. A área padrão de uma unidade habitacional, de 42 m<sup>2</sup>, é definida pela Caixa Econômica Federal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012).

A altura entre os pisos de dois pavimentos consecutivos em um edifício foi considerada de 2,68 m, sendo 2,60 m de pé direito (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO, 2008) e 0,08 m de espessura de laje (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

#### 3.2.1.2 Área de telhado/captação

O volume de água de chuva que pode ser captado depende da área de cobertura (área de captação). Para a determinação desta área nos conjuntos habitacionais estudados, foi utilizada a ferramenta de “polígono” Google Earth Pro, que fornece automaticamente a área da figura geométrica desenhada. As áreas dos polígonos resultam em uma estimativa de boa qualidade da área real dos telhados. Esta estimativa foi, então, arredondada para valores próximos, típicos da construção civil.

No caso de residências térreas, nas quais não foi possível diferenciá-las<sup>1</sup> para criar um polígono, uma área de captação de 58,8 m<sup>2</sup> (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2007) foi considerada para cada casa: 42 m<sup>2</sup> de área construída e uma extensão do telhado (beiral) de 0,6 m nos quatro lados.

### 3.2.2 Estudo pluviométrico

A altura de chuva [mm] e a variabilidade da chuva ao longo do ano hidrológico são parâmetros fundamentais para a determinação do volume de água pluvial disponível para captação.

---

<sup>1</sup> Por causa da resolução espacial das imagens do Google Earth, ao se aproximar da imagem dos conjuntos habitacionais do tipo casa para criar o polígono, a nitidez da imagem fica prejudicada.

Os dados de precipitação foram obtidos na plataforma Hidroweb ([http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)), da Agência Nacional das Águas (ANA). As séries históricas disponibilizadas pela Hidroweb são compostas de alturas de chuva acumuladas diárias [mm], além de suas somatórias que resultam em acumulados mensais e anuais.

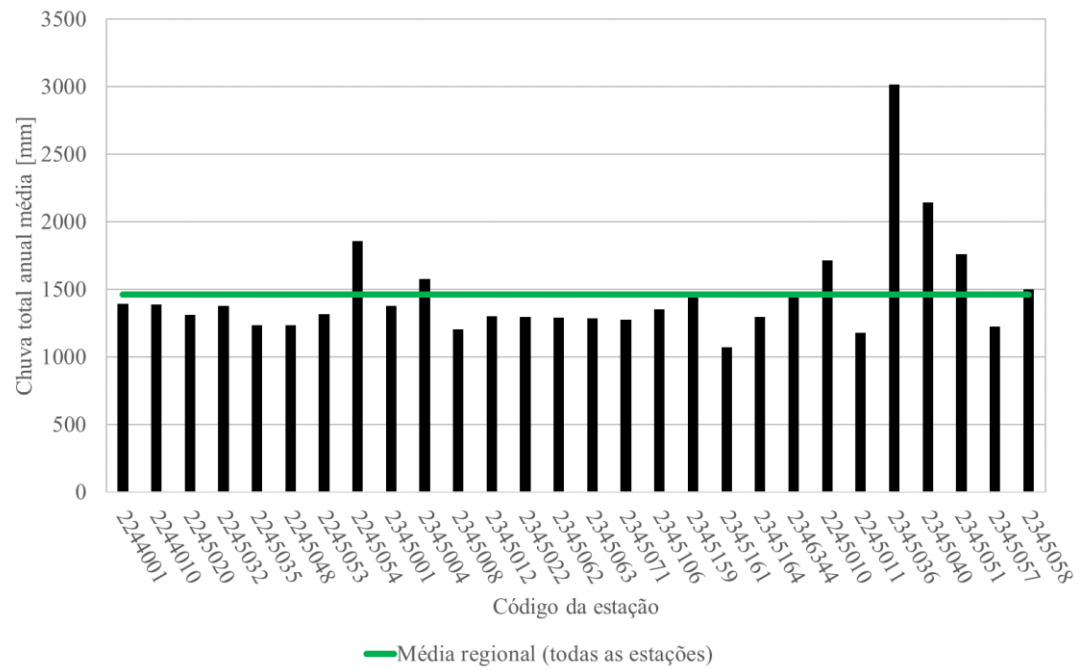
A partir dos dados obtidos nessa plataforma, os valores médios anuais e mensais de chuva nas cidades analisadas foram calculados, e o volume de água de chuva aproveitável foi determinado conforme a norma ABNT NBR 15527:2019 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) que aborda o aproveitamento de água de chuva em coberturas de áreas urbanas para fins não potáveis.

Na Hidroweb, estações pluviométricas de referência foram selecionadas para cada cidade da RMVPLN considerada no estudo. Como referência inicial para a escolha das estações, foram considerados os trabalhos de Neves (2016), para a área do Vale do Rio Paraíba, e de Vilanova (2015), para a área da Serra da Mantiqueira. Para as cidades do Litoral Norte, foram selecionadas estações diretamente na Hidroweb, que apresentaram mais de 30 anos de dados, incluindo dados de períodos mais recentes (últimos dez anos).

Depois de selecionadas as estações pluviométricas para cada cidade, suas séries históricas de dados tiveram as falhas preenchidas, utilizando estações auxiliares, conforme procedimentos descritos no Apêndice C. A Figura 3 e a Tabela 4 apresentam as principais características das estações base selecionadas.

A média anual de chuva na área de estudo é de 1459 mm, variando de 1069 mm (estação 2345161, localizada em Taubaté) a 3013 mm (estação 2345036, localizada em Ubatuba).

Figura 3: Acumulados totais anuais de chuva em cada estação, e média regional



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 4: Características das Estações Pluviométricas

							(continua)
<b>Código</b>	<b>Nome da Estação</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude [m]</b>	<b>Período de dados</b>	<b>Integridade (%)*</b>
2244001	Queluz	Queluz	S 22° 32' 26.16''	W 44° 46' 24.96''	500	01/1943 a 08/2018	92,3
2244010	Fazenda Santa Clara	Cachoeira Paulista	S 22° 41' 30.84''	W 44° 58' 30.00''	550	12/1935 a 03/2018	98,3
2245020	Lorena	Lorena	S 22° 44' 0.00''	W 45° 5' 0.00''	540	07/1957 a 11/2014	99,1
2245032	UHE Funil Guaratinguetá	Guaratinguetá	S 22° 48' 32.04''	W 45° 12' 2.88''	558	08/1930 a 04/2013	100,0
2245035	Fazenda Sapucaia	Pindamonhangaba	S 22° 49' 0.12''	W 45° 22' 0.12''	540	10/1957 a 08/2010	95,0
2245048	Pindamonhangaba	Pindamonhangaba	S 22° 54' 39.96''	W 45° 28' 9.84''	524	01/1932 a 03/2018	98,4
2245053	Bonfim	Aparecida	S 22° 57' 0.00''	W 45° 15' 0.00''	690	09/1957 a 01/2011	94,9
2245054	Monteiro Lobato	Monteiro Lobato	S 22° 56' 0.00''	W 45° 50' 0.00''	680	06/1939 a 11/2014	97,7
2345001	Taubaté	Taubaté	S 23° 2' 0.00''	W 45° 34' 0.12''	610	06/1963 a 04/2012	95,1
2345004	Pedregulho	Caçapava	S 23° 2' 0.00''	W 45° 47' 0.00''	580	09/1969 a 12/2007	98,5
2345008	Cerâmica Quirino	Caçapava	S 23° 5' 0.00''	W 45° 40' 0.12''	580	01/1958 a 11/2014	97,4
2345012	Sapé	Caçapava	S 23° 8' 0.00''	W 45° 43' 0.12''	620	10/1942 a 11/2014	98,2
2345022	Jambeiro	Jambeiro	S 23° 15' 0.00''	W 45° 41' 0.00''	700	01/1943 a 06/2012	77,7
2345062	Taubaté	Taubaté	S 23° 2' 21.84''	W 45° 33' 34.92''	586	08/1937 a 03/2018	99,6
2345063	Caçapava	Caçapava	S 23° 4' 40.08''	W 45° 42' 41.04''	545	07/1929 a 02/2018	96,5
2345071	Santa Branca	Santa Branca	S 23° 22' 9.12''	W 45° 54' 1.08''	573	06/1952 a 03/2018	96,7
2345106	UHE Santa Branca	Jacareí	S 23° 22' 23.16''	W 45° 52' 9.84''	599	11/1955 a 12/2012	95,6
2345159	Fazenda São João	Taubaté	S 23° 12' 0.00''	W 45° 28' 0.12''	660	01/1954 a 11/2014	97,8
2345161	Remédios	Taubaté	S 23° 4' 0.12''	W 45° 30' 0.00''	600	06/1957 a 12/2014	92,5
2345164	Pararangaba	São José dos Campos	S 23° 11' 0.00''	W 45° 48' 0.00''	570	02/1960 a 10/2014	99,5
2346344	Igaratá	Igaratá	S 23° 12' 0.00''	W 46° 9' 0.00''	780	09/1972 a 11/2014	99,6
2245010	Fazenda da Guarda	Campos do Jordão	S 22° 41' 20.04''	W 45° 28' 53.04''	1501	01/1941 a 11/2017	96,3
2245011	São Bento do Sapucaí	São Bento do Sapucaí	S 22° 41' 22.92''	W 45° 43' 48.00''	895	01/1941 a 01/2018	94,9
2345036	Mato Dentro	Ubatuba	S 23° 23' 0.00''	W 45° 7' 0.00''	220	05/1956 a 10/2014	91,0



Tabela 4: Características das Estações Pluviométricas

<b>Código</b>	<b>Nome da Estação</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude [m]</b>	<b>Período de dados</b>	<b>Integridade (%)*</b>
2345040	Ubatuba	Ubatuba	S 23° 25' 59.16''	W 45° 4' 5.88''	1	09/1945 a 09/2014	82,5
2345051	Caraguatatuba	Caraguatatuba	S 23° 38' 0.00''	W 45° 26' 0.00''	20	04/1943 a 07/2012	98,0
2345057	São Francisco	São Sebastião	S 23° 46' 0.00''	W 45° 25' 0.00''	20	04/1943 a 07/2014	95,1
2345058	Ilhabela	Ilhabela	S 23° 47' 0.00''	W 45° 21' 0.00''	10	04/1943 a 11/2014	92,7

Fonte: Adaptado de ANA (2018); Neves (2016); Vilanova (2015).

\* A integridade corresponde à porcentagem entre a quantidade de dados (tamanho da amostra) existentes na série, no período analisado, e a quantidade de dados no mesmo período, caso a série fosse completa (sem falhas).

### 3.2.3 Consumo *per capita* de água e índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água

O consumo *per capita* de água (utilizado para estimar o consumo de água não potável) foi obtido no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), que possui informações sobre serviços de água, de esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos brasileiros. Essas informações são anuais, públicas e disponibilizadas em <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica>.

A partir desta plataforma, os dados de consumo médio *per capita* de água, como também, o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento ( $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de água para cada cidade (Anexo A) foram obtidos, e posteriormente esses dados foram utilizados para a determinação da necessidade de água para usos não potáveis e para estimar o potencial de economia de energia elétrica do sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) para as cidades da RMVPLN. O valor do consumo energético específico de cada sistema de aproveitamento de águas pluviais foi comparado como o mesmo indicador referente aos sistemas públicos de abastecimento da cidade em que cada SAAC proposto se localiza.

O consumo de água médio nos municípios da área de estudo em 2020 foi de  $194,5 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ , o consumo máximo foi de  $474,2 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ , e o consumo mínimo foi de  $130,9 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$  (Tabela 5). O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água médio em 2020 nos municípios da RMVPLN é de  $0,74 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , e o consumo máximo e mínimo, de  $4,27 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  e de  $0,00 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5: Estatísticas do consumo *per capita* de água e do consumo energético específico dos municípios da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte em 2020

	<b>Médio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desvio padrão</b>
Consumo de água dos municípios ( $\text{L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ )	194,5	474,18 (Areias)	130,89 (Queluz)	71,6
Índice de consumo de energia elétrica dos municípios ( $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ )	0,74	4,27 (Tremembé)	0,00 (São José do Barreiro)	0,72

Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

### 3.2.4 Estimativa da parcela de consumo de água não potável a partir do consumo

O consumo anual de água [m<sup>3</sup>] de cada unidade habitacional (casa ou apartamento) foi calculado pela multiplicação do consumo *per capita* de água [m<sup>3</sup>·habitante<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>] da cidade que se encontra a habitação (Anexo A) pelo número de habitantes padrão (quatro habitantes) e pelo número médio de dias de um ano (365 dias).

A necessidade de água não potável foi estimada para cada conjunto habitacional a partir do consumo de água potável. Em função da indisponibilidade de dados particionados de consumo de água para fins potáveis e não potáveis específicos para os conjuntos habitacionais e mesmo para as cidades estudadas, um valor médio de uso não potável (em relação ao consumo total) foi considerado com base na literatura. Dessa forma, o consumo não potável foi considerado como sendo de 37% em relação ao consumo total de água, esse valor foi uma média dos valores indicados em estudos realizados no Brasil (GHISI; FERREIRA, 2007; GHISI; OLIVEIRA, 2007; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018).

## 3.3 MODELAGEM DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVAS

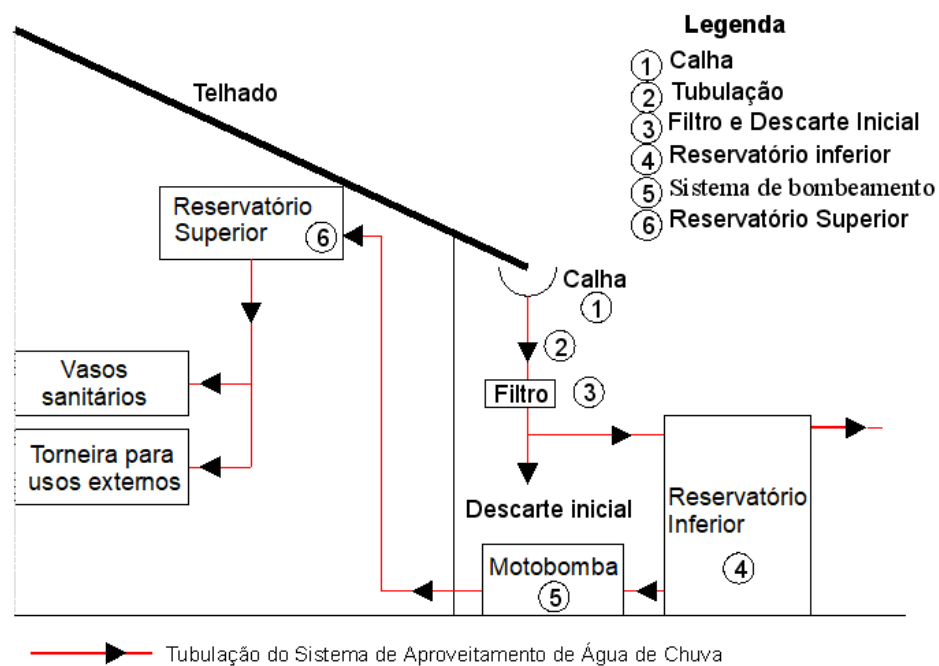
Algumas condições foram assumidas para a modelagem dos SAAC. Inicialmente, considera-se que a água proveniente do SAAC será utilizada, somente, para fins não potáveis. Quando a água deste sistema não for suficiente para atender a necessidade de água não potável, o sistema de abastecimento público fornecerá a parcela complementar.

A estrutura proposta para os SAACs (Figura 4) é constituída de (1) calhas para coletar a água de chuva do telhado até a (2) tubulação, na qual existem grades e telas para a contenção de folhas e resíduos de maior dimensão. A água da chuva passa por um (3) filtro com sistema de descarte inicial da primeira precipitação, sendo este descarte considerado de dois milímetros de chuva (valor recomendado pela NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007)). Após esse descarte inicial, a água de chuva é armazenada em um (4) reservatório inferior. No Brasil, geralmente, há um (5) sistema de bombeamento de água do reservatório inferior para um (6) reservatório superior, e deste, por gravidade, a água é distribuída para os usos finais (VIEIRA et al., 2014).

Tendo em vista a indisponibilidade dos projetos de todos os conjuntos habitacionais (o que impede a definição de todos os detalhes construtivos de casas e apartamentos), para

viabilizar a simulação hidráulica e energética dos SAAC, foram propostos modelos de casa e prédio padrão, cujos modelos seguiram padrões definidos pela Caixa Econômica Federal (2007, 2012). As concepções dos modelos de residência padrão e de prédio padrão foram estabelecidas nas seções 3.3.1 e 3.3.2. Para cada conjunto habitacional foi dimensionado um sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) que depende do tipo de unidade habitacional: casa ou apartamento. Nestes dois modelos, o arranjo geral (projeto e componentes) é padronizado, variando em dimensões (diâmetros de tubulação, modelos de bomba, comprimentos de tubulações, dentre outros) de caso a caso em função das variáveis de cada conjunto modelado (consumo *per capita* e padrão de precipitação de cada município, número de pavimentos dos prédios, dentre outros).

Figura 4: Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva



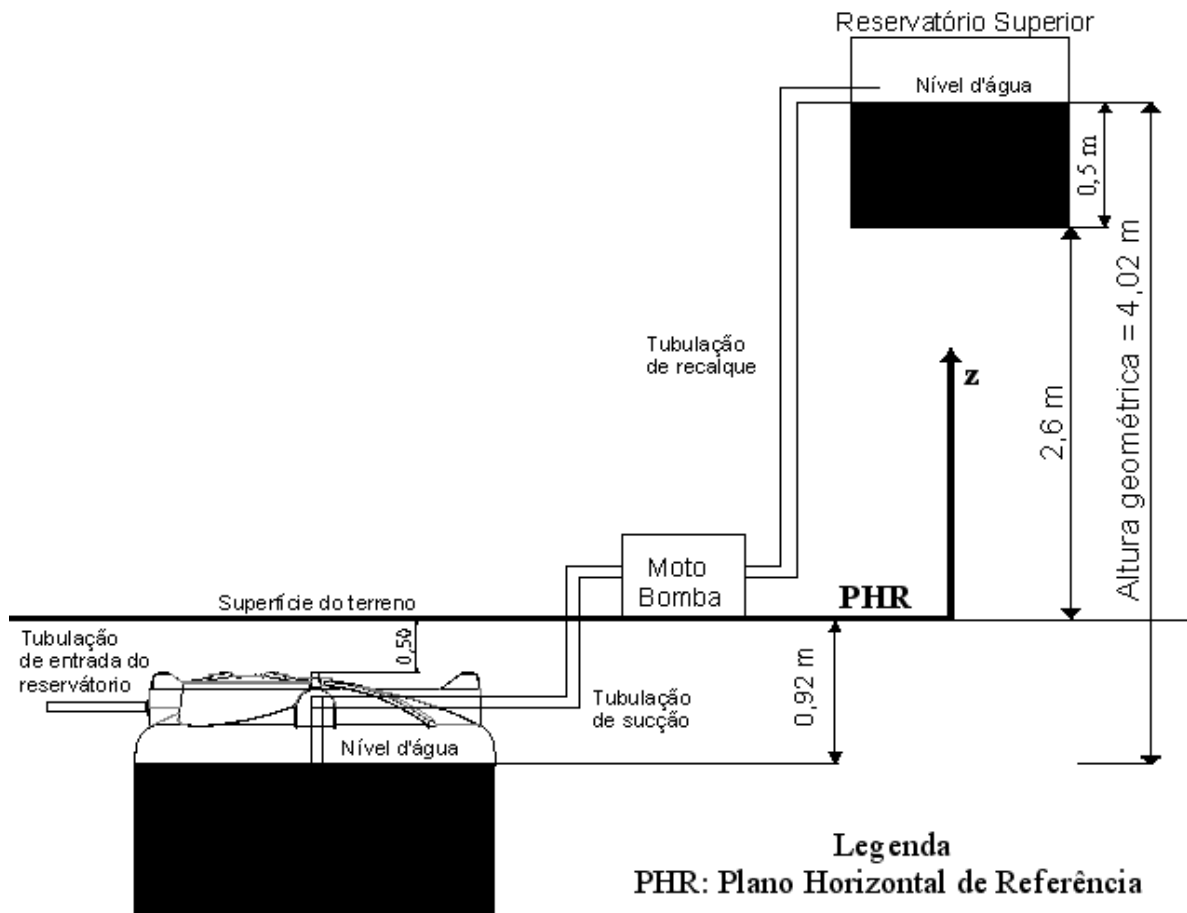
Fonte: Adaptado de Campisano et al. (2017); Vieira; Ghisi (2016).

### 3.3.1 Modelo de casa padrão

Um dos componentes do SAAC para residências de interesse social para o tipo casa é o reservatório inferior (Figura 5), que, neste estudo, baseou-se em uma cisterna da marca Fortlev (FORTLEV, 2020). No manual de instalação dessa cisterna, a parte superior do reservatório deve estar no mínimo 50 cm abaixo do nível do solo e a altura do tampo é de 42 cm para uma cisterna de 5 m<sup>3</sup>; assim, o nível da água dentro da cisterna (reservatório

inferior) foi de  $-0,92$  m em relação ao nível do solo (Figura 5). Outro componente do SAAC é o sistema de bombeamento, que conduz a água do reservatório inferior para um reservatório superior. Neste estudo, o reservatório superior, que está localizado a  $2,6$  m acima do nível do solo, ao lado do reservatório de água potável existente no modelo de casa padrão da CAIXA (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2007), tendo sido considerada uma caixa d'água de  $250$  L e as dimensões referentes a um modelo da marca Fortlev (FORTLEV, 2019), com nível d'água fixo a  $0,50$  m acima do fundo. Para as mudanças de direções, duas curvas de  $90^\circ$  na tubulação de sucção e mais cinco curvas de  $90^\circ$  na tubulação de recalque foram utilizadas (Figura 5 e Tabela 6).

Figura 5: Sistema de aproveitamento de chuva de uma habitação de interesse social do tipo casa



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 6: Parâmetros para o cálculo da altura manométrica em habitação de interesse social do tipo casa

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor/quantidade</b>
Nível de superfície livre do reservatório superior (em relação ao solo)	3,1 m
Nível de superfície livre do reservatório inferior (em relação ao solo)	- 0,92m
Comprimento da tubulação	9,8 m
Material da tubulação	PVC
Curvas de 90° (conexões)	7
Registro de gaveta aberto	1

Fonte: Produção do próprio autor.

O sistema de bombeamento do SAAC segue a normativa NBR 5226, conforme recomendado na NBR 15527 que fornece os requisitos sobre o aproveitamento de água de chuvas para fins não potáveis (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). Os diâmetros foram dimensionados para limitar a velocidade média do escoamento em  $3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , para evitar ruídos e golpe de aríete, conforme a NBR 5626:2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020a). Além disso, a NBR 12214:2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020b) recomenda que a velocidade no barrilete de sucção seja entre  $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , e no barrilete de recalque, entre  $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020b). Por isso, para reduzir as perdas de carga, o diâmetro foi dimensionado para uma velocidade de  $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , através da equação (3). Após determinar o valor do diâmetro, escolheu-se um diâmetro comercial superior ou igual ao calculado, conforme a Tabela 7.

$$D = \left( \frac{4 Q}{\pi v} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Em que,

- D diâmetro interno do tubo (m);  
 Q vazão ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ );  
 v velocidade média do escoamento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Tabela 7: Dimensões dos tubos de PVC não plastificado, em milímetros

<b>Diâmetro nominal DN</b>	<b>Diâmetro externo DE</b>	<b>Espessura</b>	<b>Diâmetro interno</b>
15	20	1,5	17,0
20	25	1,7	21,6

(continua)

Tabela7: Dimensões dos tubos de PVC não plastificado, em milímetros

<b>Diâmetro nominal DN</b>	<b>Diâmetro externo DE</b>	<b>Espessura</b>	<b>Diâmetro interno</b>
25	32	2,1	27,8
32	40	2,4	35,2
40	50	3,0	44,0
50	60	3,3	53,4
65	75	4,2	66,6
75	85	4,7	75,6
100	110	6,1	97,8

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira De Normas Técnicas (2018).

### 3.3.2 Modelo de prédio/apartamentos padrão

Outro tipo de unidade habitacional de interesse social considerada no estudo são os edifícios de apartamentos. No projeto do SAAC, o pé-direito de 2,60 m (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO, 2008), entre um andar e outro, há a laje de entrepiso, que, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), as lajes de piso não em balanço têm espessura mínima de 8 cm, por isso, considerou-se a altura entre os pavimentos de 2,68 m, e a cobertura do prédio de telha fibrocimento (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012). Após isso, os parâmetros como número de pessoas, altura geométrica e consumo de água não potável foram baseados no número de pavimentos de cada prédio nos conjuntos habitacionais de acordo com Apêndice B.

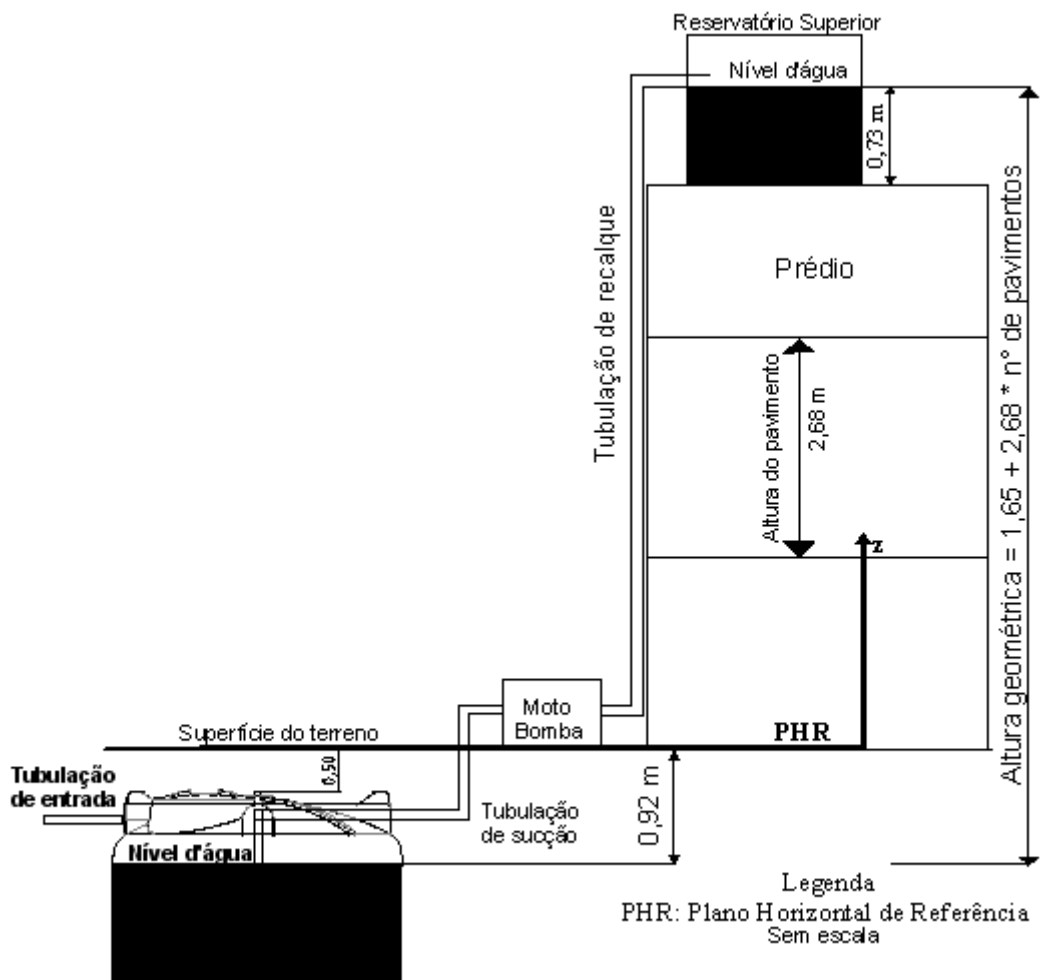
O SAAC para residências de interesse social para o tipo apartamento é composto de um reservatório inferior, o qual foi enterrado próximo à base do prédio. Esse reservatório tem nível de água de -0,92 m (Figura 6, reservatório inferior está enterrado a 50 cm de superfície do terreno e o tampo tem 42 cm) em relação ao nível do solo, a água desse reservatório é conduzida pelo sistema de bombeamento até o reservatório superior, localizado acima do prédio, o reservatório superior foi considerado de 750 L e as dimensões consideradas foram de uma caixa d'água da marca FortLev, por isso, o nível de água dentro desse reservatório foi de 0,73 m (FORTLEV, 2019). Para as mudanças de direção, uma curva de 90° na parte de sucção e mais quatro curvas de 90° na parte de recalque foram utilizadas. As informações do sistema de aproveitamento de água de chuva para habitação do tipo prédio estão na Tabela 8.

Tabela 8: Parâmetros para o cálculo da altura manométrica em habitação de interesse social do tipo apartamento

Parâmetro	Valor/quantidade
Nível de superfície livre do reservatório superior (em relação ao solo) [m]	$(0,73 + 2,68 * n^{\circ} \text{ de pavimentos})$
Nível de superfície livre do reservatório inferior (em relação ao solo) [m]	0,92
Desnível entre pavimentos [m]	2,68
Comprimento da tubulação [m]	$(7,20 + 2,68 * n^{\circ} \text{ de pavimentos})$
Material da tubulação	PVC
Curvas de 90° (conexões) [unidades]	5
Registro de gaveta aberto [unidades]	1

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 6: Sistema de aproveitamento de chuva de uma habitação de interesse social do tipo prédio (apartamentos)



Fonte: Produção do próprio autor.



### 3.3.3 Quantificação do volume de água aproveitável

O volume de chuva aproveitável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) foi definido pela equação (4).

$$R_{(t)} = C \cdot P_{(t)} \cdot A \cdot \eta \quad (4)$$

Em que,

- R(t) volume de chuva disponível anualmente (m<sup>3</sup>);
- C coeficiente de escoamento superficial (-);
- P(t) altura da precipitação anual (m);
- A área de captação de água de chuva (m<sup>2</sup>).
- η eficiência de captação (-).

Em algumas cidades da área de estudo, há mais de uma estação pluviométrica, tendo sido utilizada aquela com a menor altura de precipitação anual para o cálculo do volume de chuva disponível anualmente, assumindo-se, portanto, um cenário conservador de disponibilidade hídrica pluvial.

Como os telhados das unidades habitacionais são feitos de telha cerâmica (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2007, 2012), devido a perdas por absorção e evaporação na superfície destes materiais, o coeficiente de escoamento para esse material varia de 0,56 a 0,90 (ROCHA, 2009; VIEIRA, 2012); neste trabalho, o valor adotado foi de 0,80 como em outros estudos (PALLA; GNECCO; LANZA, 2011; VIEIRA, 2012).

A eficiência de captação (η) depende do descarte de sólidos e do desvio do escoamento inicial, o valor indicado na ABNT 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) é de 0,85 na falta de dados, por isso, o valor adotado para a eficiência de captação foi de 0,85.

A área de telhado/captação de cada unidade habitacional do tipo casa é de 58,8 m<sup>2</sup>. Considerando a área construída de 42 m<sup>2</sup> e uma extensão do telhado (beiral) de 0,6 m nos quatro lados (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2007), obtém-se a área de captação de 58,8 m<sup>2</sup>. No caso de unidades do tipo prédio, a área do telhado de cada prédio foi obtida pela ferramenta de polígono do Google Earth.

A parcela da necessidade de água que o SAAC pode atender foi determinada pela

divisão do volume de água chuva disponível anualmente pela necessidade de água da unidade habitacional ou do edifício (seção 3.2.4). Essa parcela deve ser inferior ou igual à parcela de água para usos não potáveis, determinada na seção 3.2.4; caso seja maior, considerou-se que o SAAC pode fornecer, somente, a parcela de água destinada a usos não potáveis, 37% da necessidade de água da unidade habitacional.

### 3.4 MODELAGEM HIDRÁULICA

O SAAC foi dimensionado para todos os conjuntos habitacionais da RMVPLN (Tabela 2). Para se obter a potência dos conjuntos moto-bomba e, posteriormente, avaliar o consumo de energia nos sistemas, foi realizada uma modelagem hidráulica para a determinação da altura total de elevação de cada conjunto habitacional, conforme descrito a seguir.

#### 3.4.1 Altura manométrica do sistema de aproveitamento de água de chuva

A altura total de elevação para cada conjunto habitacional foi obtida conforme equação (5) (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018; PORTO, 2006):

$$H = h_G + h_A + h_L \quad (5)$$

Em que,

- H altura manométrica (m);
- $h_G$  altura geométrica (diferença de elevação entre o nível de superfície livre da água armazenada nos reservatórios de sucção e de recalque) (m);
- $h_A$  perda de carga distribuída (m);
- $h_L$  perda de carga localizada (m);

Para conjuntos habitacionais do tipo casa, as perdas de carga foram calculadas com base no modelo de sistema de aproveitamento de água de chuva da Figura 5 e os parâmetros apresentados na Tabela 6. Foram considerados fixos os níveis d'água de sucção e recalque.

Para cada edifício, a altura manométrica foi calculada baseada na Figura 6 e com os

parâmetros da Tabela 8, sendo os níveis d'água de sucção e recalque, também, considerados fixos para esse cálculo.

A velocidade da água na tubulação de recalque neste sistema deve ficar no intervalo de  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$  a  $3 \text{ m.s}^{-1}$  conforme NBR 12214 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Por isso, a tubulação e a vazão foram dimensionadas para proporcionar velocidades nesse intervalo, Dessa forma, o volume total bombeado foi em função do consumo, e a vazão foi definida pelo tempo de bombeamento e pelas velocidades de recalque.

#### 3.4.1.1 Perdas de carga

A perda de carga por atrito (distribuídas) foi calculada por meio da equação (6):

$$h_A = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Em que:

- $h_A$  perda de carga por atrito (m);
- $f$ : fator de atrito de Darcy (-);
- $L$  comprimento da tubulação (m);
- $D$  diâmetro hidráulico da tubulação (m);
- $v$  velocidade média do escoamento ( $\text{m.s}^{-1}$ );
- $g$  aceleração da gravidade ( $\text{m.s}^{-2}$ ).

Para a determinação da perda de carga distribuída, o valor do fator de atrito de Darcy adotado foi obtido no diagrama de Moody (1944), considerando a rugosidade da tubulação e o número de Reynolds.

O número de Reynolds foi calculado por intermédio da equação (7):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu_{cn}} \quad (7)$$

Em que,

- $Re$  número de Reynolds (-);

$\rho$	massa específica do líquido ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );
$v$	velocidade média do escoamento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ );
$D$	diâmetro interno da tubulação (m);
$\mu$	viscosidade dinâmica ( $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ );
$\nu_{cn}$	viscosidade cinemática ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Considerando uma temperatura média da água de 20 °C, o valor da viscosidade cinemática adota foi de  $1,007 \times 10^{-6} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018).

A rugosidade relativa foi calculada pela divisão da rugosidade absoluta ( $\epsilon$ ), em milímetros, pelo diâmetro interno da tubulação ( $D$ ), em milímetros.

O coeficiente de atrito foi determinado pelo Diagrama de Moody e pelo equacionamento de Haaland (1983); esse é demonstrado pela equação (8). Essa equação tem precisão de  $\pm 2\%$  e foi utilizada para auxiliar na interpolação dos valores no diagrama; como isso, possibilitou que o valor ficasse com um número maior de algarismos significativos.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[ \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \quad (8)$$

$$\text{Para } 10^{-6} \leq \frac{\epsilon}{D} \leq 5 \cdot 10^{-2} \text{ e } 4 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^8$$

Em que:

$f$	fator de atrito de Darcy (-);
$\epsilon$	rugosidade absoluta (mm);
$D$	diâmetro interno da tubulação (m);
$Re$	número de Reynolds (-).

A tubulação adotada foi de PVC rígido, um dos materiais indicados na NBR 10844 sobre instalações prediais de águas pluviais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989). Por isso, a rugosidade absoluta adotada foi de 0,0050 mm (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018).

A velocidade de recalque recomendada pela NBR 12214 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) é de  $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

A velocidade foi definida pela equação (9)

$$v = Q / \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) \quad (9)$$

Em que:

- v velocidade média do escoamento ( $m \cdot s^{-1}$ );
- D diâmetro da tubulação (m);
- Q vazão ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ).

A perda de carga devido à presença dos acessórios (como curvas, registros, cotovelos) na tubulação, perda localizada, foi determinada pela equação (10):

$$h_L = k \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Em que,

- $h_L$  perda de carga localizada (m);
- k coeficiente adimensional que depende da geometria da conexão, do número de Reynolds, da rugosidade da parede e das condições do escoamento (-);
- v velocidade média de referência ( $m \cdot s^{-1}$ );
- g aceleração da gravidade ( $m \cdot s^{-2}$ ).

Os valores do coeficiente adimensional foram obtidos da tabela fornecida por Porto (2006) (Anexo B).

### 3.4.2 Vazão de bombeamento de água de chuva

Para cada casa e para cada edifício, há um sistema de moto-bomba para recalcar o volume de água necessário para atender o consumo de água diário para usos não potáveis, do reservatório inferior para o superior. Esse volume é determinado pela multiplicação da parcela de água que o SAAC pode fornecer (seção 3.3.3) multiplicada pelo consumo *per capita* de água do município que se encontra o SAAC e por quatro habitantes para as habitações do tipo casa ou pelo número de unidades habitacionais vezes quatro habitantes

para os edifícios.

Assume-se que o conjunto moto-bomba opera uma vez por dia, por no máximo 3 horas, como indicado na NBR 5626:2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020a). Conforme inicialmente descrito na seção 3.4.1, a vazão desse sistema foi calculada pela razão entre o volume recalcado e o tempo para repor a quantidade de água que o sistema de aproveitamento de água de chuva pode fornecer diariamente; o tempo foi ajustado para cada unidade habitacional para que seja menor que três horas, e para que a vazão se enquadre na faixa de operação dos conjuntos moto-bombas presentes no arquivo de informação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2021). A faixa de vazão desses conjuntos moto-bombas é de  $2,6 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  a  $25,6 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , e altura manométrica máxima de 42 m.

### 3.4.3 Conjunto moto-bomba

Valores médios característicos de rendimento do conjunto moto-bomba (Tabela 9) foram utilizados, conforme apresentados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2021). Os conjuntos moto-bomba considerados no estudo possuíam Selo PROCEL em 09 de setembro de 2021, sendo, conseqüentemente, os mais eficientes em suas respectivas categorias.

O PROCEL apresentou informações de 141 moto-bombas monoestágio de eixo horizontal, que podem ser trifásicas ou monofásicas. Para os modelos de moto-bombas que têm a opção de ser trifásica ou monofásica, considerou-se como rendimento do modelo a média aritmética simples dos equipamentos mono e trifásicos.

Tabela 9: Eficiência média de moto-bombas, conforme faixa de potência

Potência (cv)	Rendimento médio (%)
1/4	25,6
1/3	28,6
1/2	32,8
3/4	37,3
1	39,7
1 1/4	39,8
1 1/2	42,9
2	46,9
3	48,9
4	54,1

Fonte: Adaptado de PROCEL (2021).

### 3.5 CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO

#### 3.5.1 Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva

O consumo energético do sistema é devido ao bombeamento do reservatório inferior para o superior. Para esse bombeamento, um sistema de moto-bomba com velocidade fixa bombeia o volume de água captado no telhado de cada unidade habitacional do reservatório inferior para o superior.

A potência diária necessária para esse bombeamento foi calculada pela equação (1), e o consumo energético específico pela equação (2).

$$P_{MB} \geq \frac{\rho g H Q}{\eta_M \eta_p} \quad (1)$$

Sendo:

- $P_{MB}$  potência de entrada do motor (W);
- $\rho$  massa específica do líquido ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );
- $g$  aceleração da gravidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ );
- $H$  altura manométrica (m);
- $Q$  vazão ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ );
- $\eta_M$  eficiência do motor (adimensional);
- $\eta_p$  eficiência da bomba (adimensional).

$$EI_{MP} = \frac{P_{MB}}{Q} \quad (2)$$

Em que:

- $EI_{MP}$  consumo energético específico do sistema bomba ( $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ );
- $P_{MB}$  potência de entrada da bomba (kW);
- $Q$  vazão ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Para a determinação do consumo energético específico diário, considera-se que a massa específica da água seja de  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e que a aceleração da gravidade seja de

9,8 m·s<sup>-2</sup>. A altura manométrica (seção 3.4.1), a vazão, a potência, a eficiência do motor e da bomba foram calculadas para cada unidade de habitacional do tipo casa e para os edifícios.

### 3.5.2 Sistema Público de Abastecimento: consumo energético específico de referência

O SNIS apresenta os valores do índice de consumo de energia em sistemas de abastecimento de água (IN058) (indicador análogo ao consumo energético específico calculado para os SAAC), que é calculado pela equação (11) (SNIS, 2019):

$$IN058 = AG028 * (AG006 + AG018)^{-1} \quad (11)$$

Em que,

- IN058 índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (kWh·m<sup>-3</sup>);
- AG028 consumo total de energia elétrica nos sistemas de água durante o ano (1000 kWh·ano<sup>-1</sup>);
- AG006 volume de água produzido durante o ano (1000 m<sup>3</sup>·ano<sup>-1</sup>);
- AG018 volume de água tratada importado durante o ano (1000 m<sup>3</sup>·ano<sup>-1</sup>).

Os dados do IN058 foram obtidos pelo SNIS para as cidades pertencentes à RMVPLN para o ano de 2020 (Anexo A), e posteriormente comparados com os respectivos EI<sub>MP</sub>, conforme escrito na próxima seção.

## 3.6 ECONOMIA DE ÁGUA E ENERGIA

Para as habitações de interesse social do tipo casa e para os edifícios, a economia anual de água potável foi a quantidade de água de chuva aproveitável (seção 3.3.3), se essa for menor que parcela do consumo de água para usos não potáveis. Caso contrário, a economia de água potável foi a quantidade de água potável que é destinada aos usos não potáveis (seção 3.2.4). A economia anual de água potável por município foi o somatório das economias individuais das habitações presentes no município.

A economia de energia específica (kWh·m<sup>-3</sup>) foi feita pela diferença entre o valor do



índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água da cidade que se encontra a unidade habitacional (UH) e consumo específico de energia do SAAC dessa UH. A economia anual de energia elétrica (kWh) foi calculada pela multiplicação da economia de energia específica pela a economia anual de água potável.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos tendo em vista os objetivos e hipóteses da tese. Os resultados foram divididos em (1) potencial de captação de água de chuva, (2) economia de água potável e (3) economia de energia elétrica.

### 4.1 PLUVIOMETRIA E POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Nos municípios avaliados, a altura de chuva anual (Tabela 10) variou de 1069,3 mm em Taubaté a 2142,3 mm em Ubatuba, com média de 1384 mm. O maior valor de precipitação encontra-se na região litorânea devido a maior proximidade à grande massa de água, o mar, que favorece a maior quantidade de evaporação e maiores índices pluviométricos.

Tabela 10: Altura de chuva média anual no município

Município	Estação pluviométrica	Altura de Chuva Anual [mm]
Aparecida	2245053 (Bonfim)	1317,5
Caçapava	2345008 (Cerâmica Quirino)	1200,7
Caraguatatuba	2345051 (Caraguatatuba)	1758,2
Cruzeiro	2244010 (Fazenda Santa Clara)	1384,5
Guaratinguetá	2245032 (UHE Funil Guaratinguetá)	1377,6
Jacareí	2345106 (UHE Santa Branca)	1352,6
Jambeiro	2345022 (Jambeiro)	1292,2
Lorena	2245020 (Lorena)	1309,7
Pindamonhangaba	2245035 (Fazenda Sapucaia)	1234,4
Potim	2245032 (UHE Funil Guaratinguetá)	1377,6
Santa Branca	2345071 (Santa Branca)	1273,6
São José dos Campos	2345164 (Pararangaba)	1292,2
Taubaté	2345161 (Remédios)	1069,3
Ubatuba	2345040 (Ubatuba)	2142,3

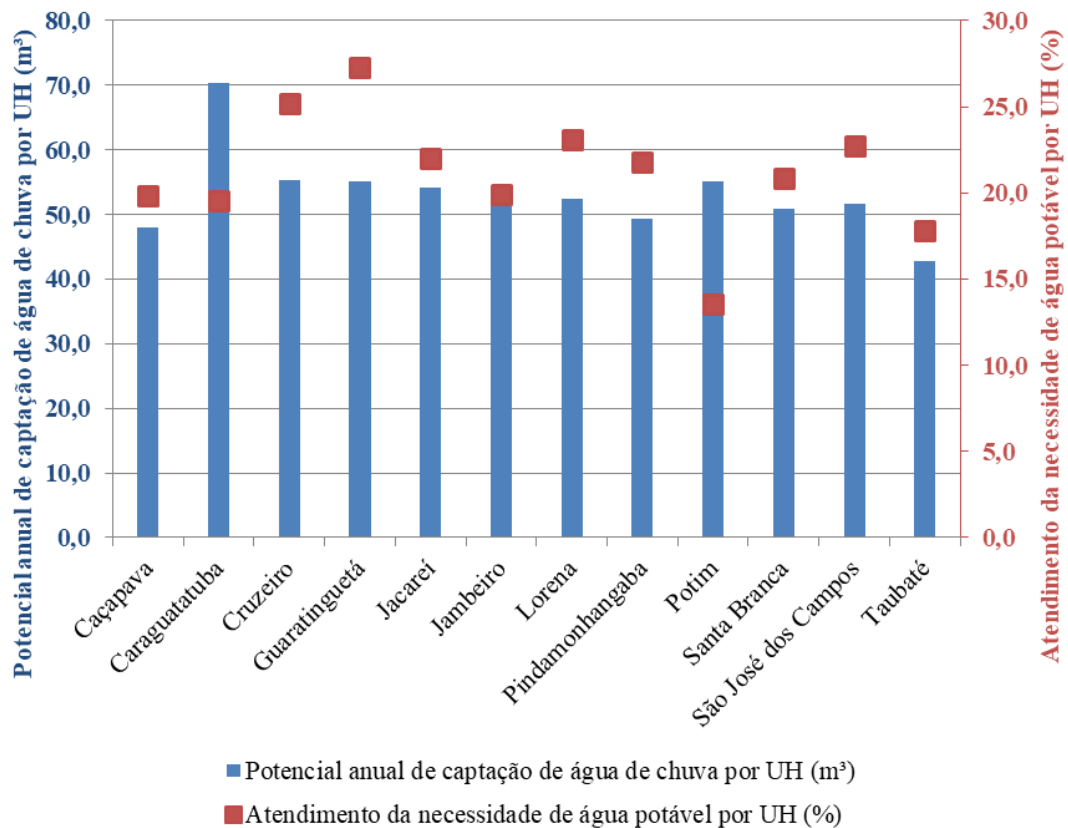
Fonte: Produção do próprio autor.

#### 4.1.1 Potencial de captação em unidades tipo casa

O potencial de captação do tipo casa pode suprir a necessidade de água anual em até 27,3 % (Figura 7 e Apêndice E), com mínimo de 13,6% e média de 21,1%; essas porcentagens são inferiores à porcentagem máxima do consumo de água anual que é

destinado a usos não potáveis, que é de 37 %. Ghisi e Oliveira (2007) estudaram duas residências no sul do Brasil para avaliar a economia de água potável e encontraram uma economia média de 34,6%, porcentagem superior ao encontrado neste estudo, pois o número de residentes nos estudos é diferente: quatro moradores por casa no presente estudo e, no estudo de Ghisi e Oliveira (2007), três em uma casa e dois na outra casa, uma área de captação maior (área média de 208,1 m<sup>2</sup>), os dados de precipitação foram diários.

Figura 7: Potencial anual de captação de água de chuva e porcentagem do atendimento da necessidade de água potável por unidade habitacional do tipo casa



Fonte: Produção do próprio autor.

Na Região Sudeste, há uma estimativa de que haveria 48% de economia de água com o aproveitamento da água da chuva (GHISI, 2006; GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007), valor superior ao determinado para a RMVPLN. Em outro estudo no Brasil sobre o aproveitamento de águas pluviais, Vieira e Ghisi (2016) estudaram residências de baixa renda em Florianópolis, o sistema teve a capacidade de suprir de 22% a 64% da necessidade de água, com média de 43%, potencial superior ao encontrado neste estudo. Na Jordânia, o potencial de economia anual de água potável em nível familiar foi em média de 24% (ASSAYED et al., 2013), valor bem próximo ao encontrado neste estudo. Em uma pesquisa

de Domènech e Saurí (2011) feita no município de Sant Cugat del Vallès, Espanha, o potencial de economia na necessidade de água potável pelo uso do SAAC nas residências foi de 16%, valor abaixo desse trabalho. Amos, Rahman e Gathenya (2018) afirmaram que o SAAC pode fornecer 50 litros por dia, se houver uma precipitação média anual de 300 mm em uma área de 60 m<sup>2</sup> (10 m por 6 m), sem perdas, ou seja, neste trabalho, a precipitação anual é maior e a área da habitação residencial é de 58,8 m<sup>2</sup>. Portanto, a implantação de SAAC em residências tem grande potencial de captação de água de chuva e economia de água potável.

#### 4.1.2 Potencial de captação em unidades tipo apartamento

O potencial de captação de água de chuva das habitações do tipo edifício pode atender no máximo a 16,0% (Apêndice F), mínimo de 1,3% e a média de 4,6%. Ghisi e Ferreira (2007) estudaram a economia de água potável em um prédio residencial de quatro pavimentos e três blocos no sul do Brasil, cada bloco com área de 324 m<sup>2</sup> e uma média de 2,4 residentes por apartamento e precipitação anual de 1544 mm; como resultado, encontraram que a economia de água pode ser de 14,7% a 17,7%; essas porcentagens de economia de água potável foram superiores ao valor encontrado para edifícios com o mesmo número de andares neste estudo, pois a precipitação anual da região de estudo deste trabalho é menor, o número de moradores por unidade habitacional é maior e área de telhado média dos edifícios de quatro pavimentos é menor.

A razão entre o número de habitantes e área de captação de água pluvial, densidade demográfica, tem relação com o potencial da fração do atendimento do consumo de água potável pela água de chuva em prédios (Figura 8). A linha de tendência dos dados, inserida no programa Microsoft Excel, pode ser representada pela equação (12), uma função potência, e essa função apresenta coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) igual a 0,94, que representa forte relação. A escolha do modelo de função de potência foi devido à observação do diagrama de dispersão (Figura 8), o coeficiente de determinação e a fundamentação teórica (a necessidade de água potável, a fração do atendimento do consumo de água potável e densidade demográfica dependem do número de moradores do edifício).

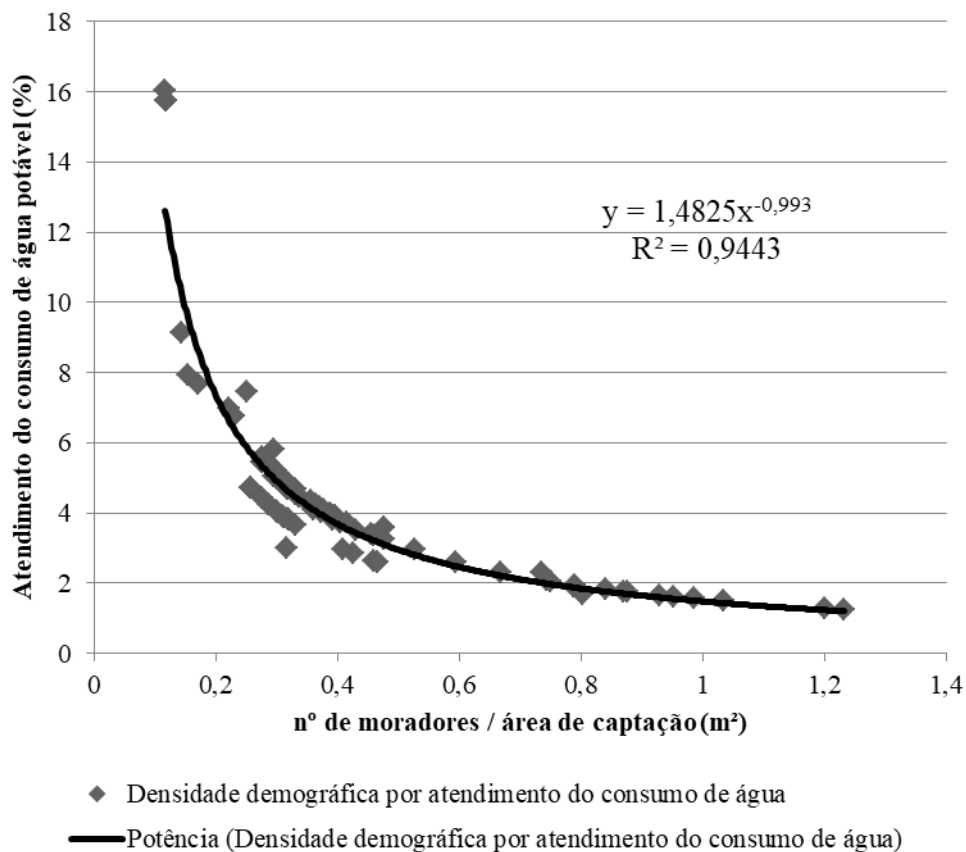
$$y = 1,4825 x^{-0,993} \quad (12)$$

Em que,

y atendimento do consumo de água potável em edifícios (%)

x densidade demográfica (número de moradores do edifício pela área de captação de água de chuva) (morador. m<sup>-2</sup>)

Figura 8: Relação entre densidade demográfica (razão entre número de moradores no edifício e a área de captação de água de chuva) e o percentagem de atendimento do consumo de água potável



Fonte: Produção do próprio autor.

A média que o sistema de aproveitamento de água de chuva pode atender a necessidade de água em edifícios da área de estudo foi de 4,6%, e em casas de 21,1%. Essa diferença de porcentagem pode ser consequência da verticalização das residências, pois há um número maior de moradores por unidade de área de telhado em edifícios, com isso, se pode captar uma menor quantidade de água de chuva por pessoa, ou seja, há uma área de cobertura insuficiente para gerar o volume de água necessário para atender o consumo de água para os usos não potáveis. Por isso, a porcentagem de suprimento do consumo de água por água de chuva pode ser pequena em prédios, conforme o Apêndice F, pois há uma área pequena de captação por pessoa e uma necessidade maior de água para usos não potáveis. Os autores Cureau e Ghisi (2020), no estudo realizado em Joinville (cidade do sul do Brasil), observaram

que o sistema de captação de água de chuva foi a pior estratégia para economizar água potável em prédios em comparação à estratégia de reutilização da água cinza ou substituição dos vasos sanitários convencionais por vasos de duplo fluxo ou a combinação das estratégias por haver uma área insuficiente de captação de água de chuva para suprir o volume de água para usos não potáveis. De um modo geral, a verticalização com o aumento da densidade demográfica local influencia o potencial de atendimento da necessidade da água não potável. Em termos de planejamento urbano e de gestão de recursos hídricos, a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva em habitações do tipo casa pode ser uma maneira mais eficiente para economizar água do que em edifícios por causa da relação entre número de habitantes e área de captação de água de chuva, ou seja, nas habitações do tipo casa, o SAAC tem um maior custo-benefício.

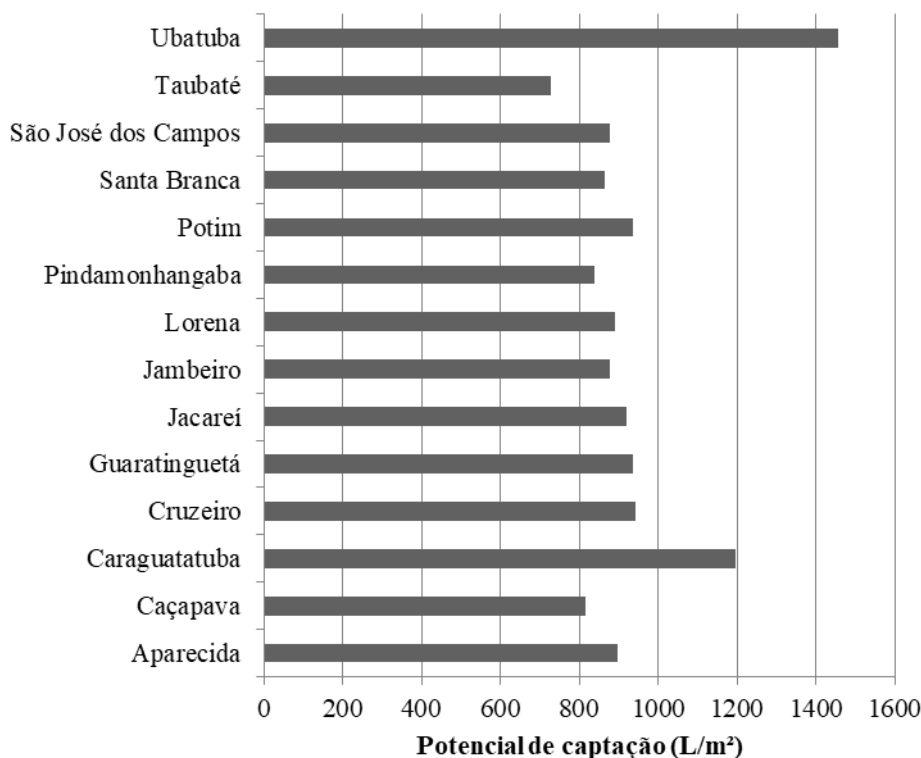
#### **4.1.3 Potencial de captação na RMVPLN**

O potencial anual de captação de água de chuva por unidade de área nos municípios da RMVPLN está na Figura 9. Esse potencial depende da altura da precipitação (Tabela 10), ou seja, quanto maior a quantidade de chuva no município, maior será a possibilidade de captação de água para usos não potáveis. Gado e El-Agha (2020) estudaram 22 cidades do Egito e encontraram que o potencial de atender as necessidades futuras de água (comparando de 2015 para 2037) variava de 0 a 12%, ou seja, havia algumas cidades que potencial de atender a necessidade de água da cidade do SAAC era insignificante, isso devido à quantidade da precipitação anual nessas localidades ser muito pequena, insignificante. Portanto, o potencial de captação depende da quantidade de precipitação da região, conforme a Figura 9, os locais com maior precipitação apresentam maior potencial de captação de água por unidade de área.

Outro fator que interfere no potencial de captação é a área, conforme o estudo realizado na Alemanha por Herrmann e Schmida (2000) sobre aproveitamento de água de chuva em residências, estudo baseado em simulação com dados de precipitação de mais de 10 anos (1981 a 1990). Os autores encontraram uma economia média de água potável de 30% a 60%, essa economia dependia dos hábitos de consumo e da área do telhado disponível. No presente trabalho, a área do telhado disponível por morador foi um dos fatores mais relevantes para a determinação do potencial de captação de água de chuva.

Figura 9: Potencial anual de captação de água de chuva por unidade de área nos municípios da

Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, SP, com habitações de interesse social em 2015



Fonte: Produção do próprio autor.

## 4.2 ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL

### 4.2.1 Economia de água potável em unidades tipo casa

A economia de água potável foi diretamente proporcional ao número de unidades habitacionais presentes no município (Apêndice E e Tabela 11), ou seja, maior número de instalação de SAAC, maior foi a economia de água no município. A economia anual de água potável em habitações do tipo casa foi 490.443 m<sup>3</sup> (Tabela 11), que representa uma economia anual média de 13,9 m<sup>3</sup> por morador das casas de interesse social com instalação do SAAC, considerou-se que há quatro moradores por unidade habitacional e 8846 unidades habitacionais do tipo casa (Tabela 2).

Tabela 11: Economia anual de água por município

Município	Economia anual de água pelo Sistema de Captação de Água de Chuva		
	Casas (m <sup>3</sup> )	Edifícios (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
Aparecida	-	5805	5805
Caçapava	50025	815	50840
Caraguatatuba	137085		137085
Cruzeiro	41851	5945	47796
Guaratinguetá	34426	35618	70044
Jacareí	21633	27107	48740
Jambeiro	3668		3668
Lorena	19638	433	20070
Pindamonhangaba	28627	26106	54733
Potim	2203		2203
Santa Branca	1426		1426
São José dos Campos	130408	58833	189241
Taubaté	19453	39262	58715
Ubatuba	-	1457	1457
<b>Total</b>	<b>490.443</b>	<b>201.381</b>	<b>691.824</b>

Fonte: Produção do próprio autor.

#### 4.2.2 Economia de água potável em unidades tipo apartamento

A economia anual de água potável foi de 201.381 m<sup>3</sup> (Tabela 11) e a economia média anual por morador dos apartamentos de interesse social foi de 2,7 m<sup>3</sup>, considerou-se que há quatro moradores por unidade habitacional e 18.825 unidades habitacionais do tipo apartamento (Tabela 2). O valor de economia de água anual por morador é inferior ao encontrado nas habitações tipo casa (13,9 m<sup>3</sup> por morador), a diferença entre valores de economia anual média por morador de casa e de edifício é devido às verticalizações das habitações, ou seja, houve uma diminuição na área de captação de água pluvial por morador dos edifícios.

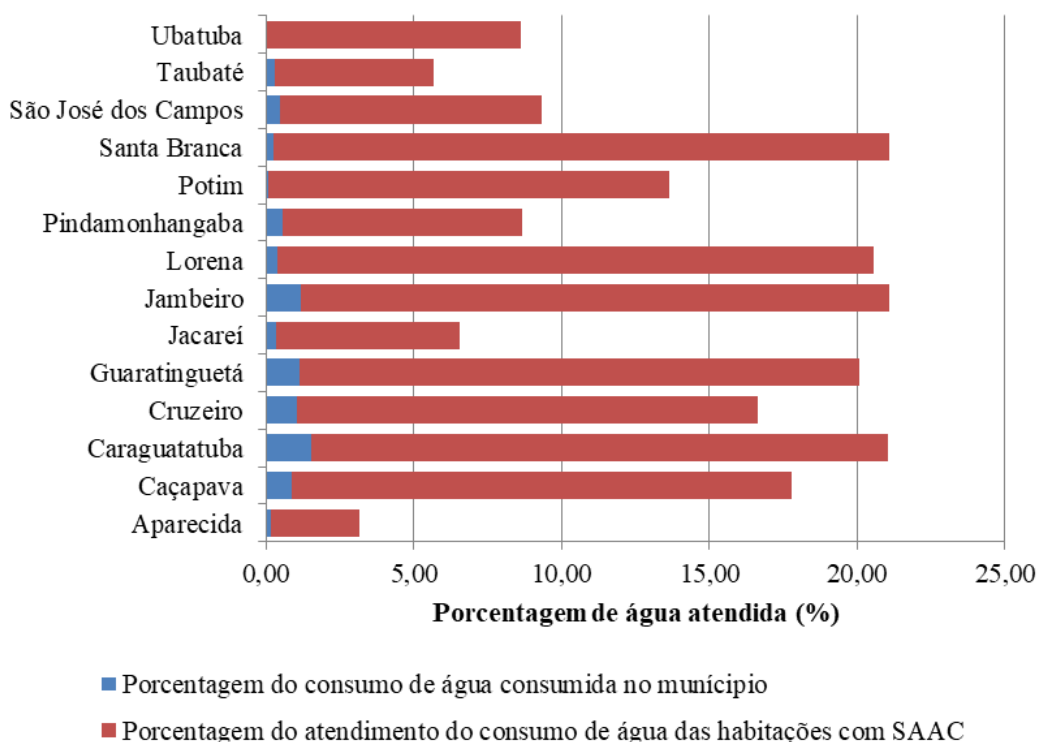
#### 4.2.3 Economia de água potável na RMVPLN

A economia de água potável (Figura 10) representa de 3 % a 20,9 % o atendimento do consumo de água potável dos habitantes que tem em sua residência um SAAC, essa economia foi de acordo com o consumo *per capita* de cada município e o tipo de habitação de interesse social. O maior atendimento do consumo de água potável foi no município de Santa Branca,



pois há somente habitações do tipo casa e tem um menor consumo per capita dos municípios com habitações de interesse social (Anexo A). Abdulla e Al-Shareef (2009) estudaram a economia de água potável em doze cidades (governadorias) na Jordânia, sendo quatro da região central do país, quatro da região norte e quatro do sul. O resultado encontrado foi um potencial de economia de 0,27% a 19,7%; o valor mais baixo foi de uma cidade que tem uma menor precipitação anual e uma maior necessidade *per capita* por água potável, o maior potencial de economia de água foi para uma cidade que tem uma maior precipitação anual e menor necessidade *per capita* por água potável (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009). No presente trabalho, a diferença do potencial de economia foi devido à necessidade de água nos edifícios ser maior que das habitações do tipo casa.

Figura 10: Razão (em porcentagem) entre a economia de água potável proveniente do sistema de aproveitamento de água de chuva e o consumo de água do município em 2020 (em azul) e a razão (em porcentagem) entre a economia de água potável proveniente do sistema de aproveitamento de água de chuva e consumo de água das habitações com sistema de aproveitamento de água de chuva (em vermelho)



Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

A economia de água potável de cada município (Figura 10) representou no máximo uma economia de 1,51% do consumo total de água no ano de 2020. O valor é baixo, devido

ao número de habitações de interesse social em relação ao número total de moradia ser baixo, mas mostra o potencial que os SAAC podem ter na região, se um número maior de habitação instalar o sistema, principalmente, habitações do tipo casa.

A instalação de sistema de aproveitamento de água de chuva pode economizar anualmente 691.824 m<sup>3</sup> na região de estudo (Tabela 11), uma economia anual de 6,3 m<sup>3</sup> por morador das habitações de interesse social. A economia de água, como consequência, possível economia nas contas de água, pode incentivar a conservação e o uso racional da água (BRASIL, 2014). Além disso, a tendência de aumento do consumo de água, evidência o SAAC como uma maneira de economizar água potável e conservar esse recurso (PALA et al., 2021).

### 4.3 ECONOMIA DE ENERGIA

#### 4.3.1 Economia de energia em unidades tipo casa

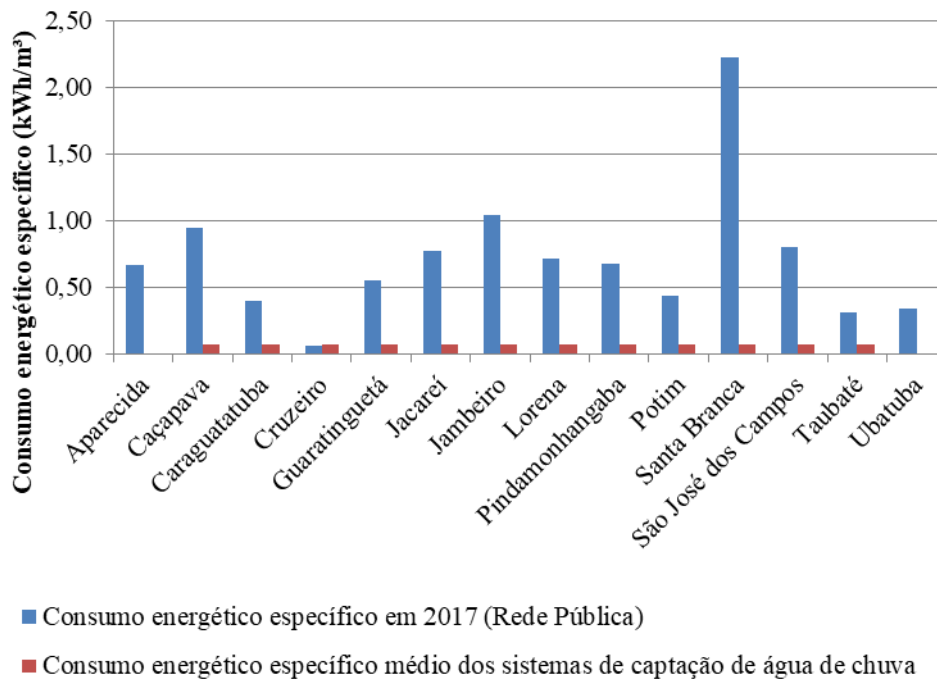
Na modelagem energética para os sistemas de aproveitamento de água de chuva para as habitações de interesse social do tipo casa (Apêndice G), o conjunto moto-bomba apresentou vazão de 2,6 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e a potência de 0,25 cv, pode economizar até 110 kWh por ano pela substituição do uso de água potável por água de chuva em cada unidade habitacional. Porém, o consumo energético específico durante o ano (Figura 11) do SAAC nas habitações do tipo casa no município de Cruzeiro foi maior que o consumo energético do sistema de abastecimento de água público que resultou que o SAAC gastasse 0,59 kWh de energia a mais que a rede pública durante o ano por unidade habitacional.

O conjunto moto-bomba do SAAC é de um modelo de baixa potência, com isso, o rendimento é baixo (Tabela 9) em comparação com as moto-bombas de potência maior, com isso, pode indicar que o uso de um bombeamento central, levando a água de chuva captada para um reservatório elevado, que posteriormente distribui para casas por gravidade, pode ser uma maneira energeticamente melhor em comparação a um sistema de bombeamento individual para cada habitação, pois as bombas maiores apresentam rendimentos superiores.

O consumo energético específico dos SAAC foram todos iguais a 0,07 kWh.m<sup>-3</sup> (Figura 11), pois as características do sistema eram muito próximas, ou seja, mesma área de captação de chuva, mesma altura geométrica e mesma vazão do conjunto moto-bomba. Em todas as situações, houve uma economia de energia elétrica, ou seja, o consumo energético específico do SAAC foi inferior a todos os consumos energéticos específicos da rede pública

de água de todos os municípios da área de estudo, pois o conjunto moto-bomba tem potência menor e a altura manométrica foi de 4,12 m, menor que as alturas dos edifícios; assim, a energia gasta para o recalque por unidade de volume é menor se comprar com a rede pública, pois, o sistema de abastecimento de água central precisa de energia para captar a água no manancial, realizar o tratamento da água, armazenar e distribuir a água potável (GJORGIEV; SANSAVINI, 2017; LUBEGA; FARID, 2014).

Figura 11: Consumo energético específico médio dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social do tipo casa por município



Fonte: Produção do próprio autor.

O consumo energético específico do sistema de aproveitamento de água de chuva foi de  $0,07 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , valor superior ao encontrado por Chiu, Liaw e Chen (2009) para um SAAC em uma residência da comunidade alta de Taipei, Taiwan. Os autores encontraram o consumo de energia específico de uma bomba de rotação constante do SAAC de  $0,06 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  com o mesmo método deste trabalho.

#### 4.3.2 Economia de energia em unidades tipo apartamento

Na modelagem energética para os sistemas de aproveitamento de água de chuva para as habitações de interesse social do tipo edifício (Apêndice H), o conjunto moto-bomba apresentou vazão de  $2,6 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , as alturas manométricas variaram de 7,12 a 55,68 m, com

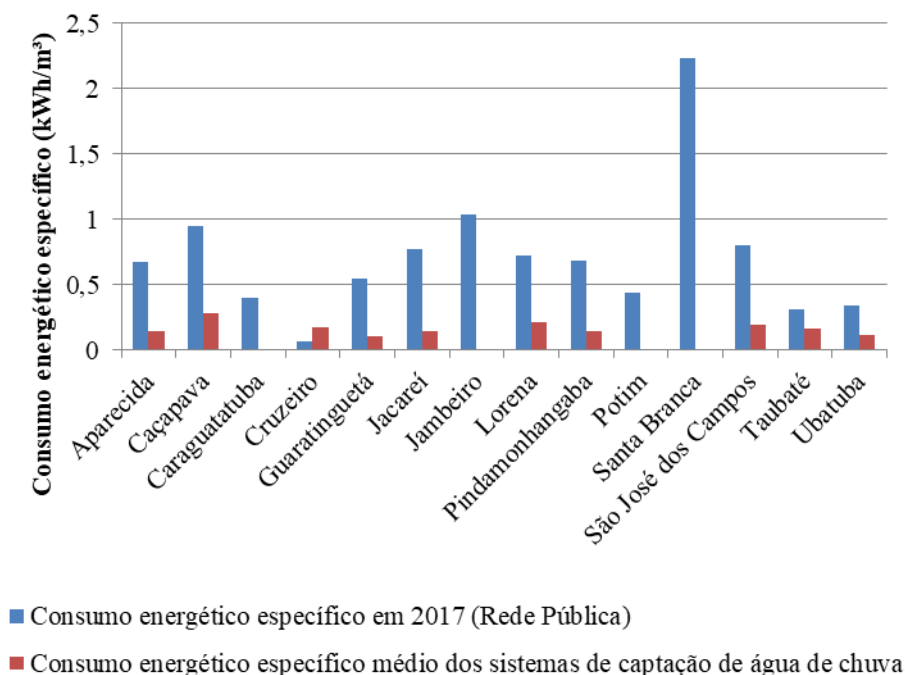
isso, as potências dos conjuntos moto-bomba variaram de 0,33 a 1,50 cv. Por edifício, o valor máximo que pode economizar de energia foi de 362,8 kWh por ano na substituição da água potável pela água de chuva.

No município de Cruzeiro (Apêndice H e Figura 12), o consumo energético específico da rede de abastecimento de água público é inferior ao encontrado para o sistema de aproveitamento de água de chuva instalado em edifícios por causa das alturas manométricas e a eficiência do conjunto moto-bomba. Apesar do SAAC instalados em edifícios apresentam um valor superior em relação ao sistema de abastecimento público, o SAAC pode ser uma maneira eficiente, pois as crises hídricas podem alterar o valor do consumo energético específico do sistema de abastecimento de água potável central. O consumo energético específico tende a aumentar com o aumento do consumo *per capita* de água ou por uma escassez de água (crise hídrica), pois, quando ocorre esse último, há a necessidade de utilizar fontes de água mais distantes ou mais profundas que podem demandar mais energia ou quando há escassez de água por causa da qualidade da água, pode haver a necessidade de uma maior quantidade de energia para realização de um tratamento de água mais intenso (SILVA et al., 2022; SNIS, 2020). Além disso, pode ser instalado um sistema simplificado de utilização de água de chuva, que haja a coleta de água do telhado e armazenado em um reservatório inferior não enterrado, neste reservatório, instala-se uma torneira para que a água seja utilizada para lavagem de áreas comuns, irrigação de jardim, limpeza, ou seja, usos não potáveis em áreas comuns, externas e na parte térrea, que não se precisa a utilização de um conjunto moto-bomba. Assim, o valor do consumo energético específico do SAAC será menor que o do sistema público de abastecimento de água.

O sistema de aproveitamento de água de chuva em prédios tem consumo energético específico médio nos municípios variando de  $0,09 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , em Ubatuba, a  $0,42 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , em Caçapava (Figura 12). O consumo energético específico encontrado por Ward, Butler e Memon (2012) para o SAAC do Centro de Inovação da Universidade de Exeter, Inglaterra foi de  $0,54 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , valor superior ao encontrado nesse estudo. Os autores utilizaram o método teórico, mas fizeram o ciclo de vida do SAAC. No estudo de Vieira e Ghisi (2016) sobre o aproveitamento de águas pluviais em residências de baixa renda em Florianópolis, o valor do consumo energético específico médio dos SAACs (em um horizonte de 20 anos) foi de  $0,86 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , superior ao deste estudo, pois os autores consideram a energia gasta pelo conjunto moto-bomba para a partida do sistema e a energia gasta no modo de espera no sistema de bombeamento. No estudo realizado na Coreia do Sul (CHANG; LEE; YOON,

2017), o valor do consumo energético específico do SAAC variou de 0,246 a 0,284 kWh·m<sup>-3</sup>, valores dentro do intervalo encontrado do presente trabalho.

Figura 12: Consumo energético específico médio dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em habitações de interesse social do tipo edifício por município



Fonte: Produção do próprio autor.

Embora, em Caçapava (Figura 12), o valor do consumo energético específico tenha sido elevado, o valor da rede pública foi maior, que possibilita uma economia de 0,52 kWh por metro cúbico de água de chuva que é utilizada no lugar da água potável.

A comparação entre os consumos energéticos dos SAAC e o da rede pública, na maioria dos casos, o consumo específico do SAAC é menor, que possibilita a economia de energia com a implantação do sistema de captação de água pluvial. Nas habitações do tipo casa, o consumo energético específico é menor e há uma porcentagem do atendimento da necessidade de água maior.

#### 4.3.3 Economia de energia na RMVPLN

De modo geral, na região, há uma economia anual de energia pela implantação do SAAC de 352,2 MWh (Tabela 12), que representa o consumo anual de 148 residências em 2020 no estado de São Paulo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022). Este valor

poderia ser maior, se em todo o estado de São Paulo houver uma redução do uso de água potável. Na Califórnia, se conseguiu uma economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água de 1830 GWh no período de junho de 2015 a maio de 2016 com uma economia de água potável de 24,5 % (SPANG; HOLGUIN; LOGE, 2018), então na RMVPLN pode ter uma maior economia de energia elétrica na rede de água, se mais habitações instalarem sistema de aproveitamento de água de chuva e economizarem água.

Tabela 12: Economia anual de energia por município

Município	Economia de energia pelo Sistema de Captação de Água de Chuva		
	Casas (MWh)	Edifícios (MWh)	Total (MWh)
Aparecida		3,1	3,1
Caçapava	44,0	0,5	44,5
Caraguatatuba	45,1		45,1
Cruzeiro	-0,4	-0,5	-1,0
Guaratinguetá	16,5	16,1	32,6
Jacareí	15,1	17,0	32,1
Jambeiro	3,6		3,6
Lorena	12,8	0,2	13,0
Pindamonhangaba	17,4	14,1	31,5
Potim	0,8		0,8
Santa Branca	3,1		3,1
São José dos Campos	95,1	37,3	132,4
Taubaté	4,7	6,4	11,1
Ubatuba		0,3	0,3
<b>Total</b>	<b>257,7</b>	<b>94,5</b>	<b>352,2</b>

Fonte: Produção do próprio autor.

A economia anual de energia pela implantação do SAAC de 352,2 MWh representa uma economia anual de energia elétrica de 3,2 kWh por morador das habitações de interesse social de 2015. A economia anual de 257,7 MWh (Tabela 12) das habitações do tipo casa representa 7,3 kWh por morador das habitações do tipo casa por ano, para habitações do tipo edifícios 1,3 kWh por morador dos edifícios por ano. O menor valor por morador nos edifícios é devido a menor porcentagem de atendimento do consumo de água potável pela água de chuva proveniente do SAAC.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva, na maioria dos casos, representaram economia de energia elétrica no sistema de abastecimento de água potável, essa economia pode ser convertida em incentivos para subsistir a instalação do SAAC nas habitações de interesse social. Além disso, um dos objetivos da sustentabilidade nas áreas urbanas é a

redução do uso de recursos (PINZÓN et al., 2015), e o SAAC proporcionou uma redução de dois recursos importantes, água e energia, principalmente, em habitações do tipo casa.

De acordo com o IBGE (2016), em 2015, a porcentagem de domicílios do tipo casa era de 85 % e do tipo apartamento era de 15 % no estado de São Paulo, como em habitações do tipo casa, houve uma maior economia de energia e de água, assim, o planejamento de instalação do SAAC em domicílios do tipo casa é promissor para economizar água, e pelo nexo água-energia, economizar energia.

## 5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

O sistema de aproveitamento de água de chuva para as habitações de interesse social na Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte pode economizar durante o ano 691.824 m<sup>3</sup>. Esse volume de água pode atender, em média, 4,6% da necessidade de água em edifícios, e 21,1% em habitações do tipo casa, a diferença de porcentagem é devido à verticalização das residências, por haver um maior consumo de água para usos não potáveis e menor área de captação por morador. A razão entre o número de habitantes e área de captação de água pluvial, densidade demográfica, tem relação com o potencial da fração do atendimento do consumo de água potável pela água de chuva em prédios, ou seja, uma densidade maior atenderá uma menor porcentagem da necessidade de água.

A economia de água potável afeta o consumo de energia pelo nexos água-energia, ou seja, a economia e o uso racional de um desses recursos estão correlacionados com a maior disponibilidade do outro. Por isso, a economia de água potável obtida pela utilização do sistema de aproveitamento de água na região de estudo gerou uma economia anual de 352,2 MWh. Apesar disso, na cidade de Cruzeiro, o consumo energético do sistema de aproveitamento de água de chuva foi maior que o sistema de abastecimento de água público, devido à altura manométrica dos edifícios e o rendimento do conjunto moto-bomba, mas se a água pluvial for utilizada somente para usos não potáveis de áreas comuns no térreo, sem a utilização de um conjunto moto-bomba, o consumo energético do sistema de aproveitamento de água de chuva será menor, e haverá economia de água e de energia.

O conjunto moto-bomba de maiores potências apresentam maiores rendimentos, com isso, pode indicar que o uso de um bombeamento central nos conjuntos habitacionais do tipo casa, que leva a água de chuva captada para um reservatório elevado, que posteriormente distribui para casas por gravidade, pode ser uma maneira energeticamente melhor em comparação a um sistema de bombeamento individual para cada casa.

O sistema de água de chuva na RMVPLN pode apoiar e complementar o sistema de abastecimento de água potável central, e pode ajudar na autossuficiência das cidades que compõe a região. Os SAAC apresentaram maiores economias em habitações do tipo casa, como a maior parcela de domicílios no estado de São Paulo é de casas, então, em termos de planejamento urbano e de gestão de recursos hídricos, a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva em habitações do tipo casa pode ser uma maneira mais eficiente para economizar água do que em edifícios por causa da relação entre número de



habitantes e a área, ou seja, nas habitações do tipo casa, o SAAC tem uma melhor relação custo-benefício.

Conclui-se que o sistema de aproveitamento de água de chuva é uma estratégia de economizar água e energia e pode ser uma ferramenta para planejamento de longo prazo para atendimento da necessidade de água e energia, como também, o sistema de captação de águas pluviais pode ser um item do projeto das habitações de interesse social para gerar economia de água potável e obter economia de energia no sistema de abastecimento de água público.

A energia consumida no processo de condução da água pluvial do reservatório inferior para o superior e a economia de energia economizada pelas concessionárias, no sistema de abastecimento de água, têm relevância financeira e ambiental, por isso, uma sugestão de trabalho futuro é o estudo econômico, financeiro e ambiental do sistema de aproveitamento de água de chuva. Outras sugestões de trabalhos futuros são: (1) o estudo da relação entre as dimensões do reservatório de armazenamento e a operação da bomba; (2) a influência do volume do reservatório e a economia de água e de energia; (3) a utilização de energia renovável para o funcionamento do sistema de bombeamento do SAAC; (4) o estudo do crédito de carbono proveniente da economia de energia e de água potável; (5) estudo do impacto energético no consumo energético específico do SAAC pela desinfecção da água chuva por ultravioleta.

## REFERÊNCIAS

- ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, Amsterdam, v. 243, n. 1–3, p. 195–207, 2009. DOI: 10.1016/j.desal.2008.05.013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916409002677>. Acesso em: 25 abr. 2019
- ABEGAZ, B. W.; DATTA, T.; MAHAJAN, S. M. Sensor technologies for the energy-water nexus: a review. **Applied Energy**, London, v. 210, p. 451–466, 2018. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.01.033. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261917300429>. Acesso em: 02 jun. 2018.
- ABIKO, A. K. **Introdução à gestão habitacional**. São Paulo: EPUSP, 1995. Disponível em: [http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/TT\\_00012.pdf](http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/TT_00012.pdf). Acesso em: 17 fev. 2018.
- ALVARENGA, D. N.; RESCHILIAN, P. R. Financeirização da moradia e segregação socioespacial: Minha Casa, Minha Vida em São José dos Campos, Taubaté e Jacareí/SP. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 10, n. 3, p. 473–484, 2018. DOI: 10.1590/2175-3369.010.003.ao01. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2175-33692018000300473&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692018000300473&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 15 jun. 2019.
- AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J. M. Economic analysis of rainwater harvesting systems comparing developing and developed countries: a case study of Australia and Kenya. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 172, p. 196–207, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.114. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617324137>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- ANA - Agência Nacional da Águas. **Hidroweb**: séries históricas de estações. 2018. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- ASSAYED, A.; HATOKAY, Z.; AL-ZOUBI, R.; AZZAM, S.; QBAILAT, M.; AL-ULAYYAN, A.; SALEEM, M. A.; BUSHNAQ, S.; MARONI, R. On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 73, p. 72–77, 2013. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.01.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344913000190>. Acesso em: 10 out. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214**: projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5648**: tubos e conexões de PVC-U com junta soldável para sistemas prediais de água fria: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: sistemas prediais de água fria e água quente: projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214**: projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. b.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Edigar Blucher, 2018.

BALOGUN, I. I.; SOJOBI, A. O.; OYEDEPO, B. O. Assessment of rainfall variability, rainwater harvesting potential and storage requirements in Odeda Local Government Area of Ogun State in South-western Nigeria. **Cogent Environmental Science**, London, v. 2, n. 1, p. 1–24, 2016. DOI: 10.1080/23311843.2016.1138597. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311843.2016.1138597>. Acesso em: 17 jul. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997: institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1997. p. 3220–3304. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm). Acesso em: 17 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº 11.977**, de 7 de julho de 2009: dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L11977.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11977.htm). Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de lei n.º 7.818**, de 2014: estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção. 2014. Seção 8, p. 7. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=C6B03655B26CF2ED41847C1E403ACFBA.proposicoesWebExterno1?codteor=1694648&filename=Avulso+-PL+7818/2014#:~:text=Estabelece a Política Nacional de,%2C 7169%2F17%2C 7903%2F](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=C6B03655B26CF2ED41847C1E403ACFBA.proposicoesWebExterno1?codteor=1694648&filename=Avulso+-PL+7818/2014#:~:text=Estabelece a Política Nacional de,%2C 7169%2F17%2C 7903%2F). Acesso em: 02 jun. 2018.

BRASIL. Ministérios das Cidades. Gabinete do Ministro. Portaria nº 660, de 14 de novembro

de 2018. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos destinados à aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social - FDS, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. **Diário Oficial da União**, 2018. p. 105. Disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803). Acesso em: 17 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS N° 888, de 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasil, 2021. p. 127. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 05 fev. 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Cadernos CAIXA**: projeto padrão – casas populares/ 42 m<sup>2</sup>. Vitória: GIDUR, 2007. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Cadernos\\_CAIXA\\_Projeto\\_padrao\\_casas\\_populares.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Cadernos_CAIXA_Projeto_padrao_casas_populares.pdf). Acesso em: 28 set. 2018.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha Casa Minha Vida**: moradia para as famílias renda para os trabalhadores desenvolvimento para o Brasil. Brasília: CAIXA, 2012. Disponível em: <http://www.ademi.org.br/docs/CartilhaCaixa.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

CAMPISANO, A.; BUTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M. J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L. N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, New York, v. 115, p. 195–209, 2017. DOI: 10.1016/j.watres.2017.02.056. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135417301483>. Acesso em: 10 out 2017.

CHANG, J.; LEE, W.; YOON, S. Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 141, n. 2017, p. 728–736, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.131. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261631472X>. Acesso em: 10 out. 2019.

CHEN, S.; CHEN, B. Urban energy–water nexus: a network perspective. **Applied Energy**, London, v. 184, p. 905–914, 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.042. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916303592>. Acesso em: 10 out. 2019.

CHEN, S.; WANG, H.; YANG, W.; ZHANG, D. Research on city energy conservation basing rainwater utilization. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 12, n. Icese 2011, p. 72–78, 2012. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.01.249. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878029612002502>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CHENG, C. Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 34, n. 3, p. 261–266, 2002. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00097-4. Disponível em:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778801000974>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CHIU, Y.; LIAW, C.; CHEN, L. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. **Renewable Energy**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 492–498, 2009. DOI: 10.1016/j.renene.2008.06.016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148108002589>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CHIU, Y.; TSAI, Y.; CHIANG, Y. Designing rainwater harvesting systems cost-effectively in a urban water-energy saving scheme by using a gis-simulation based design system. **Water**, Basel, v. 7, n. 11, p. 6285–6300, 2015. DOI: 10.3390/w7116285. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-4441/7/11/6285>. Acesso em: 20 out. 2018.

CDHU - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO.

**Manual técnico de projetos**: CDHU. São Paulo: CDHU, 2008. Disponível em: <https://www.cdhu.sp.gov.br/documents/20143/37009/manual-de-projetos.pdf/31dc7a0a-f50c-cbf1-7ede-928708994547>. Acesso em: 17 fev. 2021.

CUREAU, R. J.; GHISI, E. Electricity savings by reducing water consumption in a whole city: A case study in Joinville, Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 261, p. 121194, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121194. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620312415>. Acesso em: 25 out 2021.

DALLMAN, S.; CHAUDHRY, A. M.; MULETA, M. K.; LEE, J. The value of rain: benefit-cost analysis of rainwater harvesting systems. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 30, n. 12, p. 4415–4428, 2016. DOI: 10.1007/s11269-016-1429-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-016-1429-0>. Acesso em: 03 jun 2019.

DEOREO, W. B.; MAYER, P.; DZIEGIELEWSKI, B.; KIEFER, J. **Residential end uses of water, version 2**: executive report. Denver: Water Research Foundation, 2016. Disponível em: [http://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2016/04/WRF\\_REU2016.pdf](http://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2016/04/WRF_REU2016.pdf). Acesso em: 03 jun 2019.

DEVKOTA, J.; SCHLACHTER, H.; APUL, D. Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 95, p. 311–321, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.02.021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652615001341>. Acesso em: 06 mar. 2018.

DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 19, n. 6–7, p. 598–608, 2011. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.11.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652610004440>. Acesso em: 03 jun. 2019.

DOMÍNGUEZ, I.; WARD, S.; MENDOZA, J.; RINCÓN, C.; OVIEDO-OCAÑA, E. End-user cost-benefit prioritization for selecting rainwater harvesting and greywater reuse in social housing. **Water**, Basel, v. 9, n. 7, p. 516, 2017. DOI: 10.3390/w9070516. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-4441/9/7/516>. Acesso em: 04 out. 2019.

DUAN, C.; CHEN, B. Energy–water nexus of international energy trade of China. **Applied Energy**, London, v. 194, p. 725–734, 2017. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.05.139.

Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916307449>. Acesso em: 07 abr. 2018.

EMPLASA. **Sistema de informações metropolitanas**: conjuntos habitacionais. 2015. Disponível em: <https://sim.emplasa.sp.gov.br/Mapa>. Acesso em: 6 ago. 2018.

EMPLASA. **Sobre a RMVPLN**. 2016. Disponível em: <https://www.emplasa.sp.gov.br/RMVPLN>. Acesso em: 3 maio 2017.

EPE - EMPRESA DE PEQUISA ENERGÉTICA. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas)**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 8 fev. 2022.

ENGSTRÖM, R. E.; HOWELLS, M.; DESTOUNI, G.; BHATT, V.; BAZILIAN, M.; ROGNER, H. Connecting the resource nexus to basic urban service provision: with a focus on water-energy interactions in New York City. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 31, p. 83–94, 2017. DOI: 10.1016/j.scs.2017.02.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670716305947>. Acesso em: 5 mar. 2019.

FANG, D.; CHEN, B. Linkage analysis for the water–energy nexus of city. **Applied Energy**, London, v. 189, p. 770–779, 2017. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.04.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916304706>. Acesso em: 04 fev. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED. **Coping with water scarcity**: an action framework for agriculture and food security. Roma: FAO, 2012. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i3015e/i3015e.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Towards a water and food secure future**: critical perspectives for policy-makers. Roma: FAO & WWC, 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4560e/i4560e.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

FORTLEV. **Catálogo de produtos FORTLEV**. 2019. Disponível em: [www.fortlev.com.br](http://www.fortlev.com.br). Acesso em: 6 fev. 2020.

FORTLEV. **Catálogo técnico**: cisterna Fortlev. 2020. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Manual-Tecnico-Cisterna-Fortlev.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

GADO, T. A.; EL-AGHA, D. E. Feasibility of rainwater harvesting for sustainable water management in urban areas of Egypt. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 27, n. 26, p. 32304–32317, 2020. DOI: 10.1007/s11356-019-06529-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11356-019-06529-5>. Acesso em: 01 out. 2020.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, Oxford, v. 41, n. 11, p. 1544–1550, 2006. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.03.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132305002222>. Acesso em: 28 nov. 2017.

GHISI, E.; BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil.

**Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 1654–1666, 2007. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.02.007. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000448>. Acesso em: 28 nov. 2017.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 7, p. 2512–2522, 2007. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.07.019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306001971>. Acesso em: 28 nov. 2017.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 1731–1742, 2007. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.02.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000370>. Acesso em: 20 fev. 2018.

GIANNETTI, B. F.; DEMÉTRIO, J. C. C.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; LIU, G. Towards more sustainable social housing projects: Recognizing the importance of using local resources. **Building and Environment**, Oxford, v. 127, p. 187–203, 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.10.033. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132317304912>. Acesso em: 30 jul. 2018.

GJORGIEV, B.; SANSAVINI, G. Water-energy nexus: Impact on electrical energy conversion and mitigation by smart water resources management. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 148, p. 1114–1126, 2017. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.06.053. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890417305988>. Acesso em: 12 set. 2018.

GÓMEZ, Y. D.; TEIXEIRA, L. G. Residential rainwater harvesting: effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 127, p. 56–67, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.08.015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344917302549>. Acesso em: 25 abr. 2019.

GOOGLE. **Google Earth Pro**, 2019.

GUERRA, O. J.; REKLAITIS, G. V. Advances and challenges in water management within energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 82, p. 4009–4019, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.071. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117314466>. Acesso em: 25 abr. 2019.

HAALAND, S. E. Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow. **Journal of Fluids Engineering**, New York, v. 105, n. 1, p. 89–90, 1983. DOI: 10.1115/1.3240948. Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/fluidsengineering/article/105/2/242/409575/Discussion-Simple-and-Explicit-Formulas-for-the>. Acesso em: 16 fev. 2020.

HAMMES, G.; THIVES, L. P.; GHISI, E. Application of stormwater collected from porous asphalt pavements for non-potable uses in buildings. **Journal of Environmental Management**, London, v. 222, n. February, p. 338–347, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.05.094. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479718306169>. Acesso em: 20 mar. 2021.

HAQUE, M. M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 137, p. 60–69, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.038. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261630926X>. Acesso em: 16 fev. 2020.

HASHIM, H.; HUDZORI, A.; YUSOP, Z.; HO, W. S. Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1–9, 2013. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.05.001. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344913000992>. Acesso em: 04 out. 2017.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, Amsterdam, v. 1, n. 4, p. 307–316, 2000. DOI: 10.1016/S1462-0758(00)00024-8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462075800000248>. Acesso em: 04 out. 2017.

HOWELLS, M.; ROGNER, H. Assessing integrated systems. **Nature Climate Change**, London, v. 4, n. 4, p. 246–247, 2014. DOI: 10.1038/nclimate2180. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/nclimate2180>. Acesso em: 07 maio 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **7 - Domicílios:** Tabela 7.4 - Domicílios particulares permanentes e moradores em domicílios particulares permanentes, por tipo de domicílio, segundo a condição de ocupação e o material das paredes e da cobertura - São Paulo - 2015. 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/19897-sintese-de-indicadores-pnad2.html?edicao=9129&t=resultados>. Acesso em: 4 dez. 2021.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras:** Baixada Santista, Campinas, Maceió, Vale do Paraíba e Litoral Norte. Brasília: PNUD, 2015. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25729&catid=345&Itemid=383](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=25729&catid=345&Itemid=383). Acesso em: 31 out. 2018.

JIANG, Z.; LI, X.; MA, Y. Water and energy conservation of rainwater harvesting system in the loess plateau of China. **Journal of Integrative Agriculture**, London, v. 12, n. 8, p. 1389–1395, 2013. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60553-5. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311913605535> <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095311913605535>. Acesso em: 07 maio 2018.

KARIM, M. R.; BASHAR, M. Z. I.; IMTEAZ, M. A. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 104, p. 61–67, 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.09.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344915300860>. Acesso em: 10 out. 2017.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 381, n. 3–4, p. 181–188, 2010. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.11.040. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169409007604>. Acesso em: 05 maio 2018.

KITESSA, B. D.; AYALEW, S. M.; GEBRIE, G. S.; TEFERI, S. T. Assessing the supply for



a basic urban service demand-with a focus on water-energy management in Addis Ababa city. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 16, n. 9, p. e0249643, 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0249643. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0249643>. Acesso em: 06 nov. 2021.

LAM, K. L.; KENWAY, S. J.; LANT, P. A. Energy use for water provision in cities. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 143, p. 699–709, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.056. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616321114>. Acesso em: 07 ago. 2019.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, Amsterdam, v. 260, n. 1–3, p. 1–8, 2010. DOI: 10.1016/j.desal.2010.05.035. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916410003504>. Acesso em: 17 fev. 2018.

LO, A. Y. Small is green? Urban form and sustainable consumption in selected OECD metropolitan areas. **Land Use Policy**, Guildford, v. 54, p. 212–220, 2016. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.02.014. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837716000375>. Acesso em: 18 abr. 2018.

LOPES, V. A. R.; MARQUES, G. F.; DORNELLES, F.; AZUARA, J. M. Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 148, p. 304–313, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.132. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617301476>. Acesso em: 18 abr. 2018.

LUBEGA, W. N.; FARID, A. M. Quantitative engineering systems modeling and analysis of the energy–water nexus. **Applied Energy**, London, v. 135, p. 142–157, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.07.101. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914007922>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MAKKI, A. A.; STEWART, R. A.; PANUWATWANICH, K.; BEAL, C. Revealing the determinants of shower water end use consumption: enabling better targeted urban water conservation strategies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 60, p. 129–146, 2013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.08.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611003076>. Acesso em: 01 jun. 2018

MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, London, v. 206, p. 28–39, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717309829>. Acesso em: 09 jun. 2018.

MEHRABADI, M. H. R.; SAGHAFIAN, B.; FASHI, F. H. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 73, p. 86–93, 2013. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.01.015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344913000244>. Acesso em: 01 jun. 2018.

MESQUITA, L.; KÓS, J. R. Towards more resilient and energy efficient social housing in Brazil. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 121, p. 65–70, 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.480. Disponível em:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610217334422>. Acesso em: 31 jul. 2018.

MOODY, L. F.; PRINCETON, N. J. Friction Factors for Pipe Flow. **Transactions of the American Society of Mechanical Engineers**, New York, v. 66, n. 8, p. 671–684, 1944. Disponível em: <http://www.ipt.ntnu.no/~asheim/TPG4135/Moody.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021.

NAIR, S.; GEORGE, B.; MALANO, H. M.; ARORA, M.; NAWARATHNA, B. Water–energy–greenhouse gas nexus of urban water systems: Review of concepts, state-of-art and methods. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 89, p. 1–10, 2014. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.05.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344914001153>. Acesso em: 17 fev. 2018.

NEVES, A. O. **Aplicação do índice padronizado de precipitação para análise da seca 2014/2015 na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/144226>. Acesso em: 28 fev. 2019.

OKOYE, C. O.; SOLYALI, O.; AKINTUĞ, B. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: a linear programming approach. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 104, p. 131–140, 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.08.015. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344915300756>. Acesso em: 20 mar. 2018.

PACHECO, P. R. C.; GÓMEZ, Y. D.; OLIVEIRA, I. F.; TEIXEIRA, L. C. G. A view of the legislative scenario for rainwater harvesting in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 141, p. 290–294, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.097. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261631438X>. Acesso em: 25 abr. 2019.

PALA, G. K.; PATHIVADA, A. P.; VELUGOTI, S. J. H.; YERRAMSETTI, C.; VEERANKI, S. Rainwater harvesting: a review on conservation, creation & cost-effectiveness. **Materials Today: proceedings**, Amsterdam, v. 45, p. 6567–6571, 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.11.593. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785320392622>. Acesso em: 11 dez. 2021.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 401, n. 1–2, p. 65–76, 2011. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.02.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169411001144>. Acesso em: 15 out. 2019.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 57, n. 2013, p. 95–102, 2013. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.11.014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778812006056>. Acesso em: 17 fev. 2018.

PINZÓN, T. M.; RIERADEVALL, J.; GASOL, C. M.; GABARRELL, X. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 87, p. 613–626, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.021. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614010622>. Acesso em: 10 out. 2017.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

PROCEL. **Selo Procel: bombas e motobombas**. 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>. Acesso em: 10 set. 2021.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Water end-uses in Brazilian office buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 54, n. 8, p. 489–500, 2010. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.10.005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344909002298>. Acesso em: 10 out. 2017.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Assessment of potable water savings in office buildings considering embodied energy. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 27, n. 2, p. 581–599, 2013. DOI: 10.1007/s11269-012-0203-1. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-012-0203-1>. Acesso em: 30 set. 2019.

RATHNAYAKA, K.; MALANO, H.; ARORA, M.; GEORGE, B.; MAHEEPALA, S.; NAWARATHNA, B. Prediction of urban residential end-use water demands by integrating known and unknown water demand drivers at multiple scales II: model application and validation. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 118, p. 1–12, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.11.015. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344916303317>. Acesso em: 01 jun. 2018.

RETAMAL, M.; GLASSMIRE, J.; ABEYSURIYA, K.; TURNER, A.; WHITE, S. **The water-energy nexus: investigation into the energy implications of household rainwater systems**. Sydney: Institute for Sustainable Futures, UTS, 2009.

ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92966>. Acesso em: 07 jun. 2018.

ROSE, H. S.; UPSHAW, C. R.; WEBBER, M. E. Evaluating energy and cost requirements for different configurations of off-grid rainwater harvesting systems. **Water (Switzerland)**, Basel, v. 10, n. 8, p. 1024, 2018. DOI: 10.3390/w10081024. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-4441/10/8/1024>. Acesso em: 09 out. 2018.

ŞAHİN, N. İ.; MANIOĞLU, G. Water conservation through rainwater harvesting using different building forms in different climatic regions. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 44, n. April 2018, p. 367–377, 2019. DOI: 10.1016/j.scs.2018.10.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670718306309>. Acesso em: 25 abr. 2019.

SANTHOSH, A.; FARID, A. M.; TOUMI, K. Y. Real-time economic dispatch for the supply side of the energy-water nexus. **Applied Energy**, London, v. 122, p. 42–52, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.01.062. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914000919>. Acesso em: 10 out. 2017.

SANTOS, C.; PINTO, F. T. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 71, p. 1–6, 2013. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.11.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344912002030>. Acesso em: 10 out. 2017.

SÃO PAULO. **Lei n.º 12.526**: estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. São Paulo, 2007. p. 7. Disponível em: <http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20070103&Caderno=Legislativo&NumeroPagina=7>. Acesso em: 14 jan. 2017.

SÃO PAULO. **Decreto Nº 53.823**: de 15 de dezembro de 2008: regulamenta a Lei nº 12.801, de 15 de janeiro de 2008, que autoriza o Poder Executivo a adotar medidas visando à participação do Estado no Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social - SNHIS, cria o Conselho Estadual de Habitação - CEH, institui o Fundo Paulista de Habitação de Interesse Social - FPHIS e o Fundo Garantidor Habitacional - FGH JOSÉ. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.habitacao.sp.gov.br/secretariahabitacao/downloads/decretos/ceh/dec-53823.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

SÃO PAULO. **Plano Estadual de Habitação de Interesse Social (PEH-SP) 2011-2023**. São Paulo: CDHU, 2012. Disponível em: <https://www.cdhu.sp.gov.br/documents/20143/37003/documento-final-peh-sp.pdf/2c6d555f-1e5d-ab04-1edd-60ef60e1f51d>. Acesso em: 31 jul. 2018.

SÃO PAULO. **Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo**: especificações das unidades habitacionais. 2014. Disponível em: <http://www.habitacao.sp.gov.br/>. Acesso em: 1 jan. 2017.

SÃO PAULO. **Política Habitacional da Secretaria de Habitações**. 2017. Disponível em: [http://www.habitacao.sp.gov.br/secretariahabitacao/programas\\_habitacionais.aspx](http://www.habitacao.sp.gov.br/secretariahabitacao/programas_habitacionais.aspx). Acesso em: 25 nov. 2017.

SÃO PAULO. Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo. **Conselho Gestor do Fundo Garantidor Habitacional**. 2018a. Disponível em: <http://www.habitacao.sp.gov.br/icone/detalhe.aspx?> Acesso em: 1 jun. 2018.

SÃO PAULO. Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo. **Morar bem, viver melhor**. 2018b. Disponível em: <http://www.habitacao.sp.gov.br/detalhe.aspx?Id=15>. Acesso em: 1 jun. 2018.

SÃO PAULO. Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo. **Servidor Público Estadual**. 2018c. Disponível em: <http://www.habitacao.sp.gov.br/transparencia/index.aspx>. Acesso em: 1 jun. 2018.

SCOTT, C. A.; PASQUALETTI, M. J. Energy and water resources scarcity: critical infrastructure for growth and economic development in Arizona and Sonora. **Natural Resources Journal**, Albuquerque, v. 50, n. 3, p. 645–682, 2010. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24889651>. Acesso em: 07 jun. 2018.

SCOTT, C. A.; PIERCE, S. A.; PASQUALETTI, M. J.; JONES, A. L.; MONTZ, B. E.; HOOVER, J. H. Policy and institutional dimensions of the water–energy nexus. **Energy Policy**, London, v. 39, n. 10, p. 6622–6630, 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.08.013.

Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421511006100>. Acesso em: 07 jun. 2018.

SIEMS, R.; SAHIN, O. Energy intensity of residential rainwater tank systems: exploring the economic and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 113, p. 251–262, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.11.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652615016492>. Acesso em: 20 abr. 2018

SILVA, A. C. R. S.; BIMBATO, A. M.; BALESTIERI, J. A. P.; VILANOVA, M. R. N. Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: a review. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 76, p. 103475, 2022. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103475. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670721007484>. Acesso em: 14 nov. 2021.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, London, v. 180, p. 82–93, 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.05.028. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479716302778>. Acesso em: 13 abr. 2018.

SILVA, L. M. **Estudo da demanda de água não potável e desenvolvimento de um sistema de reúso de água cinza para habitações de interesse social**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em: [http://www.bdtd.ufes.br/tesesimplificado/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2515](http://www.bdtd.ufes.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2515). Acesso em: 17 fev. 2018.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2017**. 23. ed. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em: 26 mar. 2020.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **25º diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2019**. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA, 2020. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019#:~:text=A Secretaria Nacional de Saneamento,do ano de referência 2019](http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019#:~:text=A%20Secretaria%20Nacional%20de%20Saneamento,do%20ano%20de%20refer%C3%ancia%202019.). Acesso em: 10 fev. 2022.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico temático, serviços de água e esgoto, visão geral, ano referência 2020**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS, 2021. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf). Acesso em: 10 fev. 2022.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica (ano de referência 2020)**. 2022. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

SPANG, E. S.; HOLGUIN, A. J.; LOGE, F. J. The estimated impact of California's urban water conservation mandate on electricity consumption and greenhouse gas emissions. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 13, n. 1, p. 14016, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aa9b89. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa9b89>. Acesso em: 13 nov. 2021.

STAVENHAGEN, M.; BUURMAN, J.; TORTAJADA, C. Saving water in cities: assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. **Cities**, London, v. 79, n. July 2017, p. 187–195, 2018. DOI: 10.1016/j.cities.2018.03.008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275117307655>. Acesso em: 08 maio 2018.

TAJCHMAN, K. A revised approach to the energy-water nexus using place-work-folk and energy balance theories of Patrick Geddes. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 166, n. June, p. 85–89, 2017. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.05.016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204617301202>. Acesso em: 25 fev. 2018.

TALEBPOUR, M. R.; STEWART, R.; BEAL, C.; DOWLING, B.; SHARMA, A.; FANE, S. Rainwater tank end usage and energy demand: a pilot study. **Water: Journal of the Australian Water Association**, St Leonards, v. 38, p. 97–101, 2011. Disponível em: [http://esvc000610.wic059u.server-web.com/pdfs/Talebpour\\_et\\_al\\_2011\\_Water\\_AWA.pdf](http://esvc000610.wic059u.server-web.com/pdfs/Talebpour_et_al_2011_Water_AWA.pdf). Acesso em: 10 out. 2017.

THIEDE, S.; SCHÖNEMANN, M.; KURLE, D.; HERRMANN, C. Multi-level simulation in manufacturing companies: the water-energy nexus case. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 139, p. 1118–1127, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.144. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616313087>. Acesso em: 27 jul. 2018.

THOMAS, R. B.; KIRISITS, M. J.; LYE, D. J.; KINNEY, K. A. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 75, p. 166–173, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.03.073. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614003060>. Acesso em: 10 out. 2017.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. São Paulo: Editora Navegar, 2010. v. 1.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, London, v. 87, n. Dec. 2014, p. 524–541, 2015. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.041. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421515300859>. Acesso em: 15 mar. 2018.

TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; SOARES, J. C. G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, Oxford, v. 133, n. February, p. 213–227, 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.01.038. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132318300507>. Acesso em: 16 maio 2019.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy-water nexus: challenges and opportunities, overview and summary**. Washington: US Department of Energy, 2014. Disponível em: [https://www.energy.gov/sites/default/files/2014/07/f17/Water\\_Energy\\_Nexus\\_Full\\_Report\\_July\\_2014.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2014/07/f17/Water_Energy_Nexus_Full_Report_July_2014.pdf). Acesso em: 25 jul. 2019.

UMAPATHI, S.; CHONG, M. N.; SHARMA, A. K. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 42, p. 204–214, 2013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.11.006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652612005951>. Acesso em: 15 out. 2017.

UNITED NATIONS. **World population prospects: the 2017 revision, key findings and advance tables**. New York: Department of Economic and Social Affairs Population Division, 2017. Disponível em: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf). Acesso em: 23 nov. 2017.

UPSHAW, C. R.; RHODES, J. D.; WEBBER, M. E. Modeling electric load and water consumption impacts from an integrated thermal energy and rainwater storage system for residential buildings in Texas. **Applied Energy**, London, v. 186, p. 492–508, 2017. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.02.130. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916302860>. Acesso em: 14 nov. 2019.

VALEK, A. M.; SUŠNIK, J.; GRAFAKOS, S. Quantification of the urban water-energy nexus in México City, México, with an assessment of water-system related carbon emissions. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 590–591, p. 258–268, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.234. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969717304990>. Acesso em: 10 out. 2017.

VARGAS-PARRA, M. V.; VILLALBA, G.; GABARRELL, X. Applying exergy analysis to rainwater harvesting systems to assess resource efficiency. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 72, p. 50–59, 2013. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.12.008. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344912002224>. Acesso em: 03 fev. 2018.

VENGHAUS, S.; HAKE, J. F. Nexus thinking in current EU policies: the interdependencies among food, energy and water resources. **Environmental Science & Policy**, Exeter, v. 90, n. December 2017, p. 183–192, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.12.014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462901117300916>. Acesso em: 07 maio 2018.

VIALLE, C.; BUSSET, G.; TANFIN, L.; MONTREJAUD-VIGNOLES, M.; HUAU, M. C.; SABLAYROLLES, C. Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: a case study in France. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 102, p. 178–184, 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.07.024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344915300574>. Acesso em: 23 fev. 2018.

VIEIRA, A. S. **Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/100475>. Acesso em: 09 out. 2017.

VIEIRA, A. S.; BEAL, C. D.; GHISI, E.; STEWART, R. A. Energy intensity of rainwater harvesting systems: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 34, p. 225–242, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.03.012. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114001695>. Acesso em: 13 abr. 2018.

VIEIRA, A. S.; GHISI, E. Water-energy nexus in low-income houses in Brazil: the influence of integrated on-site water and sewage management strategies on the energy consumption of water and sewerage services. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 133, p. 145–162, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.104. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616305765>. Acesso em: 12 abr. 2018.

VILANOVA, M. R. N. Long-term rainfall trends in Serra da Mantiqueira environmental protection area, southeast Brazil. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, v. 73, n. 8, p. 4779–4790, 2015. DOI: 10.1007/s12665-014-3763-y. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12665-014-3763-y>. Acesso em: 28 fev. 2019.

WAKEEL, M.; CHEN, B.; HAYAT, T.; ALSAEDI, A.; AHMAD, B. Energy consumption for water use cycles in different countries: a review. **Applied Energy**, London, v. 178, n. 19, p. 868–885, 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.06.114. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916308893>. Acesso em: 14 jun. 2018.

WANJIRU, E.; XIA, X. Optimal energy-water management in urban residential buildings through grey water recycling. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 32, n. Oct. 2016, p. 654–668, 2017. DOI: 10.1016/j.scs.2017.05.009. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670716305844>. Acesso em: 07 maio 2018.

WARD, S.; BUTLER, D.; MEMON, F. A. Benchmarking energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions from rainwater-harvesting systems: an improved method by proxy. **Water and Environment Journal**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 184–190, 2012. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2011.00279.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1747-6593.2011.00279.x>. Acesso em: 25 out. 2017.

ZHANG, X.; VESSELINOV, V. V. Energy-water nexus: balancing the tradeoffs between two-level decision makers. **Applied Energy**, London, v. 183, p. 77–87, 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.08.156. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030626191631265X>. Acesso em: 25 out. 2017.



**APÊNDICE A: CONJUNTOS HABITACIONAIS DO TIPO CASA NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE SÃO PAULO**

<b>Conjunto habitacional</b>	<b>n° de unidades</b>	<b>Município</b>
Condomínio Residencial Brisas do Campo	175	Lorena
Campos dos Ipês, Residencial	200	Lorena
Pinus do Iriguassu II	642	Caçapava
Pinus do Iriguassu	400	Caçapava
Jardim Residencial dos Metalúrgicos Módulo I	306	Cruzeiro
Condomínio Reserva do Vale	195	Cruzeiro
Jardim dos Metalúrgicos Módulo II	79	Cruzeiro
Loteamento Santa Cecília – Módulo II	47	Cruzeiro
Loteamento Santa Cecília Módulo I	94	Cruzeiro
Metalúrgicos M3	35	Cruzeiro
Jd. Franca II	178	Guaratinguetá
Residencial Jardim Franca I - Módulo II	87	Guaratinguetá
Jd. Franca I Módulo I, Residencial	91	Guaratinguetá
Colinas dos Resedas, Residencial	139	Guaratinguetá
Bosque das Quaresmeiras, Residencial	130	Guaratinguetá
Residencial Morada do Sol	131	Jacareí
Residencial Mirante Da Serra Módulo I	101	Jacareí
Vista Das Araucárias, Residencial	168	Jacareí
Bom Jardim Módulo I	71	Jambeiro
Residencial Liberdade III	580	Pindamonhangaba
Condomínio Terra Nova São Jose dos Campos I	281	São José dos Campos
Jardim Paineiras II	216	São José dos Campos
Jardim das Paineiras II – 2ª Fase	93	São José dos Campos
Conjunto Habitacional Bom Retiro I	234	São José dos Campos
Loteamento Pinheirinho Dos Palmares II	1461	São José dos Campos
Loteamento Pinheirinho Dos Palmares I	239	São José dos Campos
Condomínio Residencial Lindoia	27	Taubaté
Sergio Lucchiari	320	Taubaté
Benedito Capeleto	108	Taubaté
Nova Caragua	720	Caraguatatuba
Condomínio Residencial Getuba	500	Caraguatatuba
Residencial Nova Caragua II	730	Caraguatatuba
Potim	40	Potim
Santa Branca	28	Santa Branca

Fonte: Adaptado de EMPLASA (2015).

**APÊNDICE B: CONJUNTOS HABITACIONAIS DO TIPO APARTAMENTO NA  
REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE  
SÃO PAULO**

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Nº de unidade</b>	<b>Nº de pavimento</b>
Aparecida	Residencial Parque das Gardêneas - Módulo I	512	4
Caçapava	Residencial Cores da Índia	200	13
Cruzeiro	Mata Atlântica I, Condomínio	180	5
Cruzeiro	Edifício Residencial SPA Mediterrâneo	84	14
Cruzeiro	Condomínio Residencial Eco Vale	208	4
Cruzeiro	Mata Atlântica II, Condomínio	180	5
Guaratinguetá	Santa Monica, Residencial	500	2
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 1	192	2
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 2	160	2
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 3	176	2
Guaratinguetá	Campo Belo Condomínio Clube	180	4
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	112	4
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	96	4
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	8	4
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	24	4
Jacareí	Santa Isabel, Residencial	160	5
Jacareí	Residencial Santa Terezinha II	176	4
Jacareí	Residencial Santa Terezinha I	160	4
Jacareí	Parque Jaguaripe	195	4
Jacareí	Residencial das Acacias	240	4
Jacareí	Planalto, Residencial	198	4
Jacareí	Reserva de Villa Branca	232	9
Jacareí	Residencial Jeriba	520	5
Jacareí	Residencial Spazio Vale Belo	180	5
Jacareí	Residencial Spazio Vale Verde	360	5
Jacareí	Spazio Jacarei Residencial	120	4
Lorena	Condomínio Residencial Valencia	64	8
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel - Módulo 03	128	4
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel - Módulo 01	128	4
Pindamonhangaba	Residencial Parque Pedra Bonita	480	4
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel Módulo 02	128	4
Pindamonhangaba	Bem Viver Pindamonhangaba	1536	4
São José Dos Campos	Residencial Campos de São Jose II	144	4
São José dos Campos	Residencial Othon	60	11
São José dos Campos	Residencial Alto Da Ponte	300	5
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso I	144	4
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso I	100	5
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. II	32	4
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. III	32	4

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Nº de unidade</b>	<b>Nº de pavimento</b>
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. I	96	4
São José dos Campos	Campo Del Rey Residencial	160	4
São José dos Campos	Residencial Colinas I	200	5
São José dos Campos	Spazio Santos Dumont	120	5
São José dos Campos	Spazio Santos Dumont	30	5
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraíso II	224	4
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraíso II	60	5
São José dos Campos	Eviva, Residencial	150	13
São José dos Campos	São Jose dos Campos - Cajuru III - Condomínio I	288	4
São José dos Campos	Residencial Colinas II	200	5
São José dos Campos	São Jose Dos Campos - Cajuru I - Condomínio I	288	4
São José dos Campos	Residencial Campo Giallo	640	5
São José dos Campos	Fatto Acqua Módulo 3	116	15
São José dos Campos	Condomínio Residencial Fatto Acqua - Módulo I	308	20
São José dos Campos	Conjunto Habitacional Bom Retiro II	200	5
São José dos Campos	Condomínio Solar das Montanhas	112	4
São José dos Campos	Brisas Montanha	48	4
São José Dos Campos	Residencial Harmonia	56	7
São José Dos Campos	Residencial Harmonia	63	8
São José dos Campos	Riviera Do Parque Edifício	28	8
São José dos Campos	Spazio Campo Di Orleans	208	14
São José dos Campos	Mediterrâneo Mod. II, Residencial	60	15
São José dos Campos	Spazio Campo Di Bourbon	192	12
São José dos Campos	Spazio Campo Di Braganca	470	12
São José dos Campos	Spazio Campo Colorato	200	5
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro II	160	4
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro II	140	5
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro I	128	4
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro I	160	5
São José dos Campos	Vilma, Residencial	78	14
São José dos Campos	Edifício Nice de France	48	14
São José dos Campos	Residencial Vivendas do Lago	90	15
São José dos Campos	Max Clube, Residencial	312	10
São José dos Campos	Campo Rizzi, Spazio	72	6
São José dos Campos	Residencial Jardim Parque Tecnológico (Residencial Vila Dos Pássaros)	300	5
São José dos Campos	Bela Vista Residencial	64	8
Taubaté	Condomínio Res. Mirante	112	7
Taubaté	Le Village Campos Eliseos I – Mod. II	32	4
Taubaté	Le Village Campos Eliseos II Mod. B	144	4
Taubaté	Le Village Campos Eliseos II Mod. I	144	4

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Nº de unidade</b>	<b>Nº de pavimento</b>
Taubaté	Residencial Parque Tenuto	480	4
Taubaté	Residencial Julia	40	6
Taubaté	Condomínio Serra Da Mantiqueira	12	4
Taubaté	Residencial Tendence	192	4
Taubaté	Residencial Spazio Treville	256	4
Taubaté	Spazio Tibet	160	4
Taubaté	Villa Moratta	96	8
Taubaté	Rossi Ideal Jacarandas	200	4
Taubaté	Condomínio Morada Real Modulo II	64	8
Taubaté	Condomínio Morada Real Modulo II	56	8
Taubaté	Condomínio Residencial Morada Real	64	8
Taubaté	Residencial Francisco Alves Monteiro	864	4
Taubaté	Vista Das Palmeiras	832	4
Taubaté	Residencial Parque Tamoios	352	4
Ubatuba	Minha Vida, Condomínio	14	3
Ubatuba	Condomínio Pura Vida	24	2

Fonte: Adaptado de EMPLASA (2015).

## APÊNDICE C: PREENCHIMENTO DAS FALHAS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Para o preenchimento das falhas das estações base: houve a verificação se todas as datas, que estão entre o início e o final dos registros de precipitação, estavam presentes na série temporal de dados. Quando não havia uma data, uma linha era inserida e completada a data. Os dados de precipitação para as datas inseridas ou sem registro foram preenchidos para ter uma continuidade temporal. As falhas existentes na série foram completadas utilizando dados de precipitações de estações auxiliares pelo método de regressão linear (Tabela 13).

Tabela 13: Estações bases e auxiliares

<b>Estação Base</b>	<b>Estação Auxiliar (R<sup>2</sup>)</b>
2244001	2244163 (0,958); 2245128 (0,733); 2345103 (0,669); 2245048 (0,620)
2244010	2245007 (0,854); 2244162 (0,805); 2244124 (0,773)
2245020	2245128 (0,882); 2245039 (0,738); 2245048 (0,713)
2245032	-
2245035	2345126 (0,843); 2245129 (0,782); 2245047 (0,774); 2245042 (0,741); 2245048 (0,726)
2245048	2245049 (0,911); 2245195 (0,798); 2345062 (0,761)
2245053	2245123 (0,818); 2345008 (0,714); 2244010 (0,676)
2245054	2246086 (0,798); 2345164 (0,723); 2245048 (0,622)
2345001	2345103 (0,880); 2345062 (0,806)
2345004	2245123 (0,686); 2245053 (0,679)
2345008	2345063 (0,759); 2345062 (0,639)
2345012	2345164 (0,845); 2345063 (0,811)
2345022	2345105 (0,908); 2345020 (0,800); 2345164 (0,766)
2345062	2245195 (0,800); 2245048 (0,761)
2345063	2345111 (0,791); 2345164 (0,791); 2345062 (0,733)
2345071	2346099 (0,820)
2345106	2345071 (0,876)
2345159	2345009 (0,808); 2345166 (0,811); 2345164 (0,708)
2345161	2345078 (0,725); 2245186 (0,558); 2345071 (0,481)
2345164	2345020 (0,859)
2346344	2345204 (0,812)
2245010	2245167 (0,820); 2245011 (0,657); 2245029 (0,656)
2245011	2245187 (0,881); 2245012 (0,852); 2245010 (0,657); 2245029 (0,631)
2345036	2345090 (0,752); 2345038 (0,691); 2345040 (0,647); 2345044 (0,580); 2345051 (0,550)

Tabela 13: Estações bases e auxiliares

(conclusão)

<b>Estação Base</b>	<b>Estação Auxiliar (R<sup>2</sup>)</b>
2345040	2345038 (0,829); 2345090 (0,758); 2345044 (0,718); 2344005 (0,658); 2345036 (0,647); 2345051 (0,628)
2345051	2345108 (0,852); 2345191 (0,629); 2345056 (0,596)
2345057	2345109 (0,691); 2345057 (0,682); 2345060 (0,494)
2345058	2345060 (0,507); 2345057 (0,682), 2345109 (0,739)

Fonte: Produção do próprio autor.

Alguns dados de precipitação mensal de algumas estações bases e auxiliares (Tabela 14) estavam zero, mas os dados de precipitação diários não eram zero. Por isso, os dados mensais foram arrumados, somando os dados diários do mês.

Tabela 14: Datas cuja soma das precipitações diárias não está correta

(continua)

<b>Estação</b>	<b>Meses com problema</b>
2245012	Março a dezembro de 1981
2245018	Março a dezembro de 1981
2245020	Março a dezembro de 1981
2245029	Fevereiro a dezembro de 1981
2245035	Março a dezembro de 1981
2245039	Março a dezembro de 1981
2245042	Março a dezembro de 1981
2245047	Dezembro 1991
2245049	Mai a outubro e dezembro de 1981
2245053	Set./1980, março a dezembro de 1981
2245054	Março a dezembro de 1981
2245103	Março a dezembro de 1981
2245157	Abril e maio/1981, julho a dez/1981
2245186	Março a dezembro de 1981
2246086	Ano de 1981
2344005	Março a maio, julho, setembro, outubro a dezembro de 1981
2345001	Abril/1979; maio/1980; março a dezembro/ 1981
2345004	Dezembro 1977
2345008	Março a outubro e dezembro de 1981
2345009	Abril a dezembro de 1981
2345012	Março a dezembro de 1981
2345020	Março a dezembro de 1981
2345022	Março a dezembro de 1981
2345040	Fevereiro a dezembro de 1981

Tabela 14: Datas cuja soma das precipitações diárias não está correta

		(conclusão)
<b>Estação</b>		<b>Meses com problema</b>
2345051		Março a dezembro de 1981
2345056	Fevereiro, abril, maio, agosto, setembro, novembro e dezembro de 1981	
2345057		Março a dezembro de 1981
2345159		Março a novembro de 1981
2345161	Março a jun. de 1981 e ago., set., nov. e dez. de 1981	
2345164		Março a dezembro de 1981
2345166		Março a novembro de 1981
2346344		Março a dezembro de 1981

Fonte: Produção do próprio autor.

Houve algumas considerações no preenchimento das falhas de algumas estações base:

1. Estação 02244001

A falha no registro da precipitação mensal do mês de junho de 2002 foi preenchida pela equação da regressão da estação 2244163, mas o valor encontrado foi negativo, então o valor zero foi colocado.

2. Estações 2245048, 2345004, 2345063, 2345071, 2346344 e 2345036

O preenchimento das falhas para as estações base do vale do Paraíba utilizou as estações auxiliares indicadas no trabalho de Neves (2016). Mas em algumas datas mais recentes, os valores das precipitações não conseguiram se preenchidas, como nas estações 2245048 (abril de 2018), 2345004 (ano de 2018, de março e maio de 2011, fevereiro de 2012), 2345063 (abril, maio e julho de 2018), 2345071 (abril e maio de 2018), 2346344 (fevereiro de 2000).

3. Estação 2345001

A regressão excluindo os quatro primeiros valores (janeiro a abril de 1963 a precipitação mensal foi nula) obteve um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior, mas a regressão foi feita com a série toda.

## 4. Estação 2345022

As precipitações mensais de fevereiro a setembro de 1969 foram estimadas no banco de dados disponível na HIDROWEB. Todos os valores estimados foram iguais à zero.

## 5. Estação 2244010

A estação auxiliar 2244162 apresenta dois dados de precipitação para março de 2013, na regressão linear, quando se opta por um dos valores ou não utilizar nenhum, o resultado (precipitação) e os coeficientes da regressão altera-se pouco ou não se altera conforme a Tabela 15.

Tabela 15: Regressão linear da estação base 2244010 com a estação auxiliar 2244162

<b>Sem dado</b> <b><math>y = 0.7952x + 11.909</math></b> <b><math>R^2 = 0.8046</math></b>	<b>Dado 244 mm</b> <b><math>y = 0.7914x + 12.003</math></b> <b><math>R^2 = 0.8028</math></b>	<b>Dado 250 mm</b> <b><math>y = 0.7907x + 12.043</math></b> <b><math>R^2 = 0.8024</math></b>
188	187	187
202	201	201
263	262	262
106	106	106
55	55	55
48	48	48
56	56	56
17	17	17
82	81	81
13	13	13

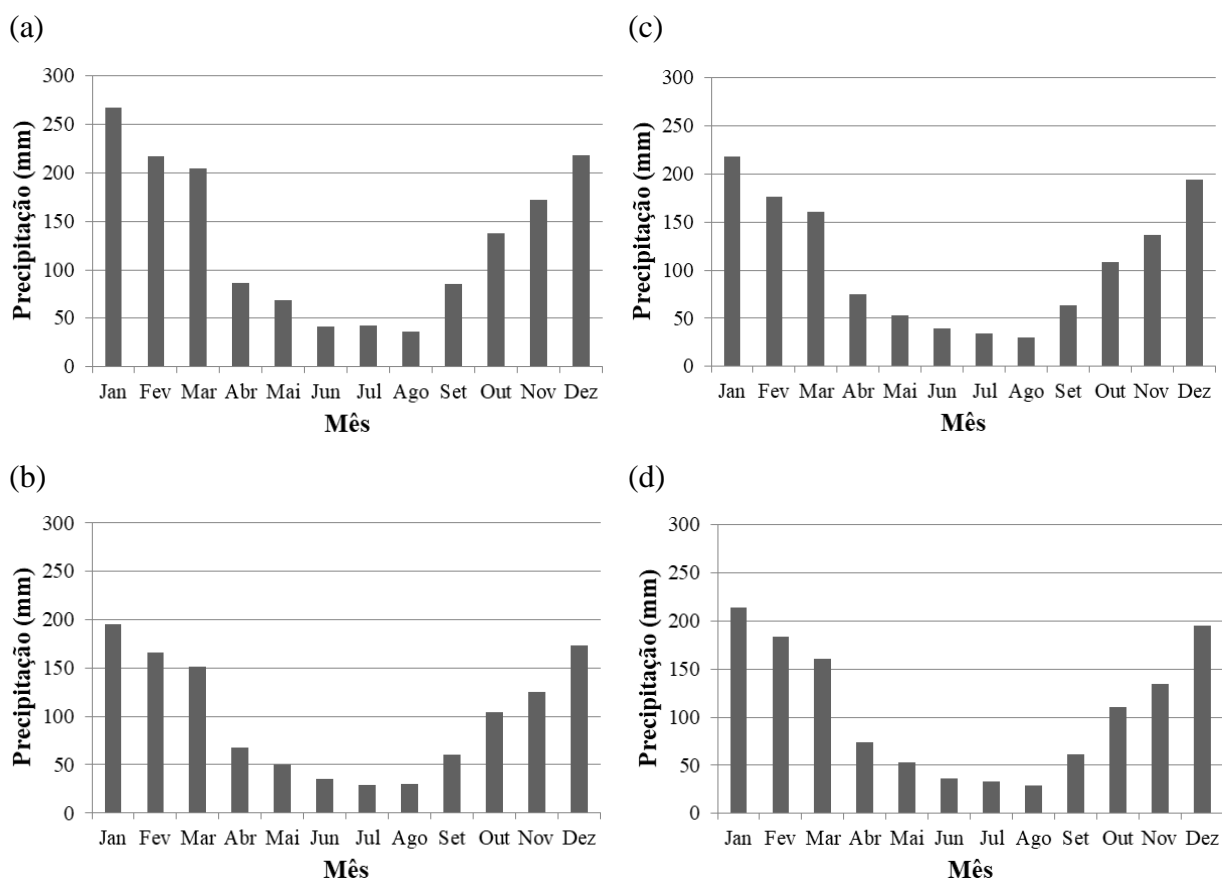
Fonte: Produção do próprio autor.



## APÊNDICE D: ESTUDO PLUVIOMÉTRICO

O município Caçapava apresenta quatro estações pluviométricas: Pedregulho (2345004), Cerâmica Quirino (2345008), Sapé (2345012), e Caçapava (2345063). O estudo pluviométrico das estações é apresentado na Figura 13. As precipitações das quatro estações do Município de Caçapava apresentam o comportamento de chuvas concentradas entre outubro e março e altura de precipitação menor entre abril e agosto.

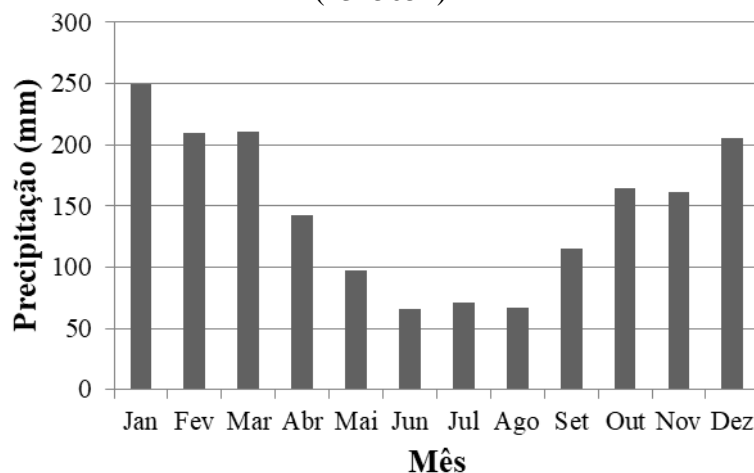
Figura 13: Estudo Pluviométrico do município de Caçapava pela estação (a) Pedregulho (2345004), (b) Cerâmica Quirino (2345008), (c) Sapé (2345012), e (d) Caçapava (2345063) da Agência Nacional das Águas



Fonte: Produção do próprio autor.

O município de Caraguatatuba apresenta consumo *per capita* de 247,6 L.dia<sup>-1</sup>, o consumo energético específico de 0,45 kWh.m<sup>3</sup> em 2017 e apresenta uma estação pluviométrica: Caraguatatuba (2345051). As precipitações médias mensais são apresentadas na Figura 14.

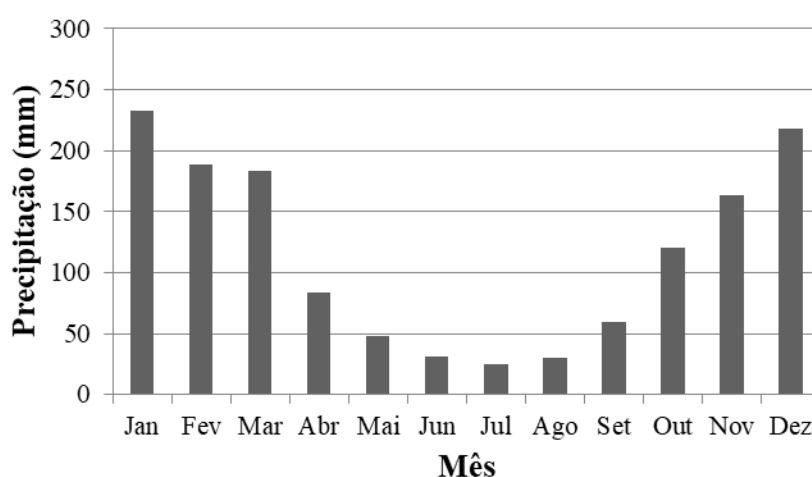
Figura 14: Precipitação mensal do município de Caraguatatuba pela estação Caraguatatuba (2345051)



Fonte: Produção do próprio autor.

No município de Cruzeiro, nenhuma estação pluviométrica foi considerada no levantamento das estações que apresentavam 30 anos de dados e dados recentes, por causa disso, utilizou-se a estação Fazenda Santa Clara (2244010) localizada em Cachoeira Paulista, cidade vizinha e com características climáticas próximas. As médias mensais dessa estação são ilustradas na Figura 15.

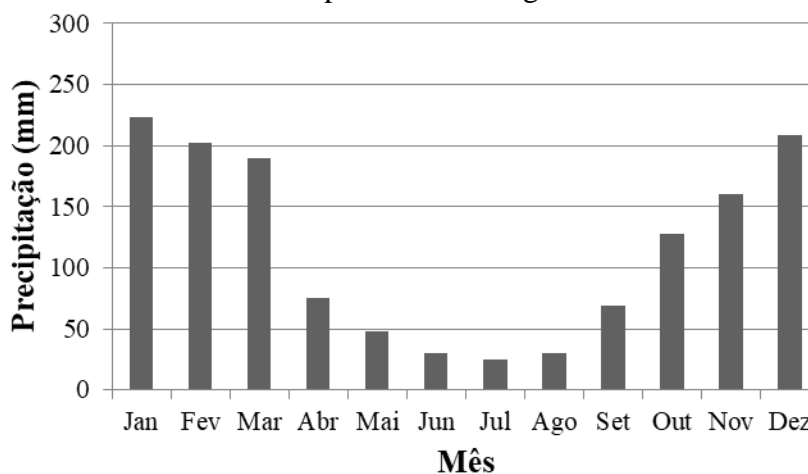
Figura 15: Estudo pluviométrico para Cruzeiro pela estação Fazenda Santa Clara (2244010) localizada em Cachoeira Paulista



Fonte: Produção do próprio autor.

O município de Guaratinguetá apresenta a estação pluviométrica UHE Funil Guaratinguetá (2245032). As médias mensais do período de agosto de 1930 a abril de 2013 dessa estação é apresentado na Figura 16.

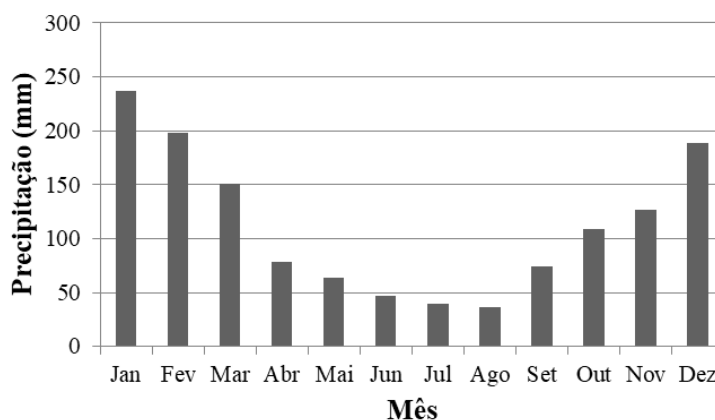
Figura 16: Estudo pluviométrico da estação UHE Funil Guaratinguetá (2245032) para o município de Guaratinguetá



Fonte: Produção do próprio autor.

O município de Jacareí apresenta consumo *per capita* de  $151,8 \text{ L.dia}^{-1}$ , a intensidade energética de  $0,81 \text{ kWh.m}^{-3}$  em 2017 (Anexo A), e a estação pluviométrica UHE Santa Branca (2345106). As médias mensais dos dados de novembro de 1955 a dezembro de 2012 dessa estação é apresentado na Figura 17.

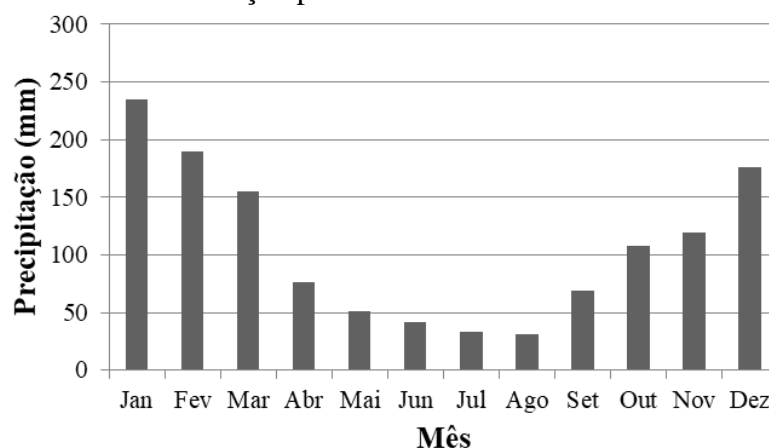
Figura 17: Estudo pluviométrico da estação UHE Santa Branca (2345106) localizada em Jacareí – SP



Fonte: Produção do próprio autor.

Para o estudo pluviométrico do município de Jambéiro - SP, a estação utilizada foi a Jambéiro (2345022). As médias mensais dos dados de 01/1943 a 06/2012 são mostradas na Figura 18, que apresenta menor índice pluviométrico entre abril e setembro.

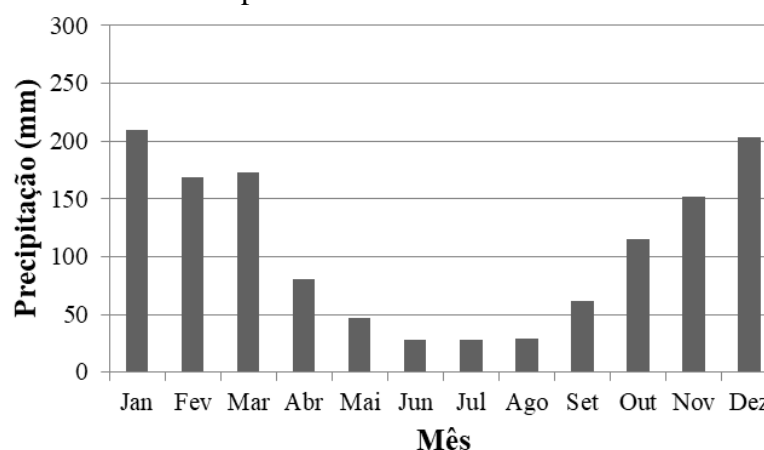
Figura 18: Médias mensais de precipitação do município de Jambeiro com os dados da estação pluviométrica 2345022



Fonte: Produção do próprio autor.

O município de Lorena apresenta consumo *per capita* de água de  $149,3 \text{ L.dia}^{-1}$  e índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água é de  $0,70 \text{ kWh.m}^{-3}$  para o ano de 2017. O estudo pluviométrico do município foi baseado nos dados de precipitação de 07/1957 a 11/2014 da estação Lorena (2245020), as médias são demonstradas na Figura 19.

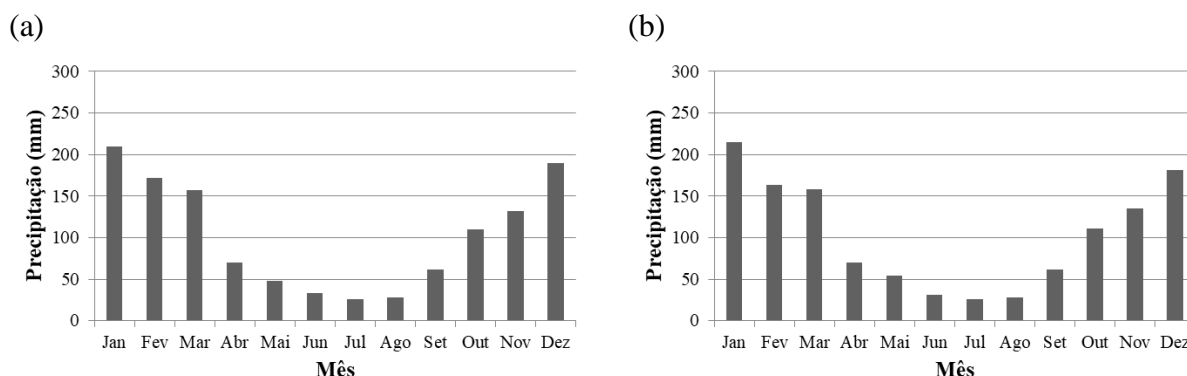
Figura 19: Médias mensais de precipitação do município de Lorena com os dados da estação pluviométrica 2345020



Fonte: Produção do próprio autor.

As estações pluviométricas Pindamonhangaba (2245048) e Fazenda Sapucaia (2245035) estão localizadas em Pindamonhangaba – SP, as médias dos dados de precipitação mensais dessas estações estão na Figura 20.

Figura 20: Precipitação média mensal do município de Pindamonhangaba pela estação (a) Pindamonhangaba (2245048) e (b) Fazenda Sapucaia (2245035)

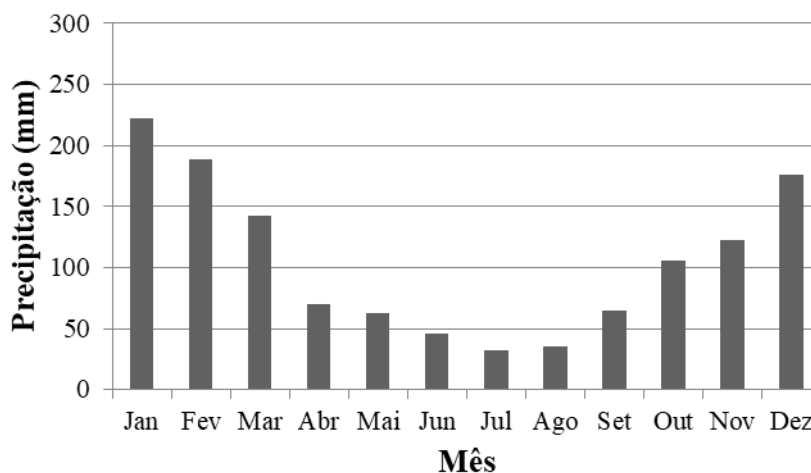


Fonte: Produção do próprio autor.

O município de Potim não apresenta estação pluviométrica, por isso, foram utilizados os dados da estação do município de Guaratinguetá, por causa da proximidade entre os municípios e não haver nenhuma formação geográfica de relevo de interferência para precipitação.

O município de Santa Branca apresenta a estação pluviométrica 2345071 (Santa Branca) com as médias mensais presentes na Figura 21.

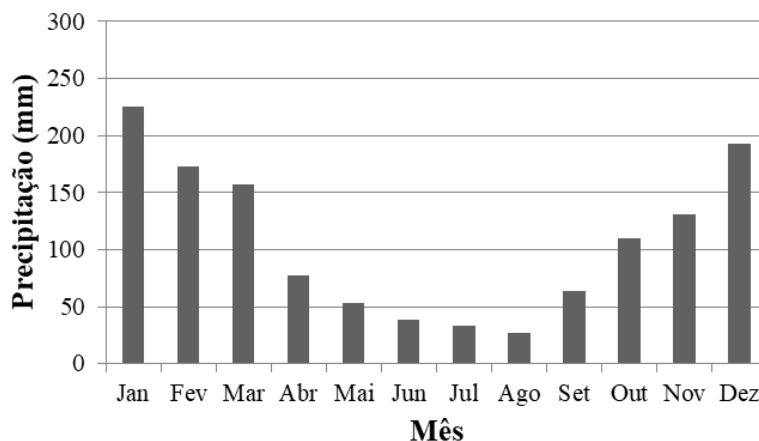
Figura 21: Precipitação média mensal do município de Santa Branca pela estação pluviométrica 2345071



Fonte: Produção do próprio autor.

O estudo pluviométrico do município de São José dos Campos (Figura 22) foi baseado na estação pluviométrica Pararangaba (2345164), localizada no município.

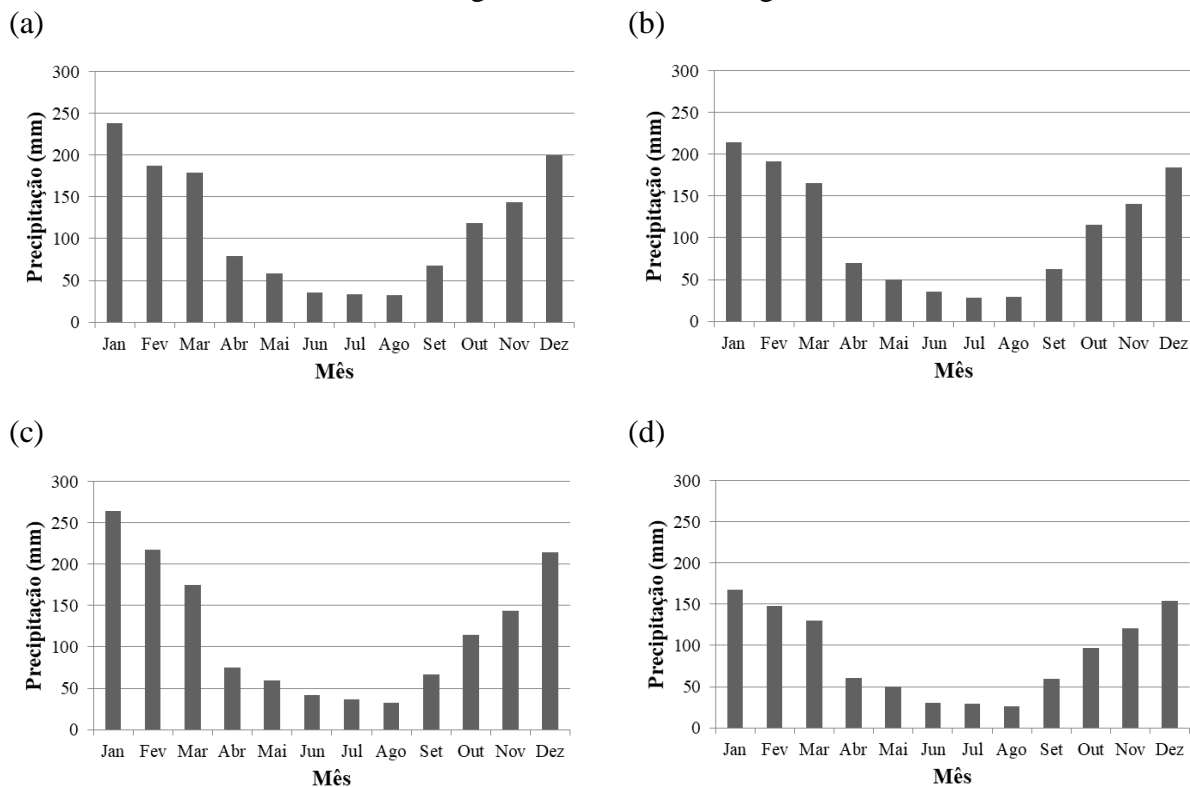
Figura 22: Estudo Pluviométrico do município de São José dos Campos pela estação 2345164 da Agência Nacional das Águas



Fonte: Produção do próprio autor.

No município de Taubaté, há quatro estações pluviométricas: 2345001 (Taubaté), 2345062 (Taubaté), 2345159 (Fazenda São João) e 2345161 (Remédios). As médias mensais de precipitação estão na Figura 23.

Figura 23: Estudo pluviométrico para o município de Taubaté, SP, baseado nas estações 2345001 (Taubaté), 2345062 (Taubaté), 2345159 (Fazenda São João) e 2345161 (Remédios) da Agência Nacional das Águas



Fonte: Produção do próprio autor.

**APÊNDICE E: POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA E ECONOMIA DE ÁGUA: CASAS**

<b>Município</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água De Chuva (m³)</b>	<b>Consumo anual total de água (m³)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Unidades habitacionais</b>	<b>Economia de água total no município (m³)</b>
Caçapava	48,0	242,2	19,8	1042	50025
Caraguatatuba	70,3	360,2	19,5	1950	137085
Cruzeiro	55,4	220,1	25,2	756	41851
Guaratinguetá	55,1	201,7	27,3	625	34426
Jacareí	54,1	245,4	22,0	400	21633
Jambeiro	51,7	259,1	19,9	71	3668
Lorena	52,4	226,7	23,1	375	19638
Pindamonhangaba	49,4	226,5	21,8	580	28627
Potim	55,1	406,0	13,6	40	2203
Santa Branca	50,9	244,0	20,9	28	1426
São José dos Campos	51,7	227,4	22,7	2524	130408
Taubaté	42,8	239,7	17,8	455	19453

Fonte: Produção do próprio autor.

**APÊNDICE F: POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA E ECONOMIA DE ÁGUA: APARTAMENTOS**

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m<sup>3</sup>)</b>
Aparecida	Residencial Parque das Gardêneas - Módulo I	32	16	405	362,8	3,0	5805,4
Caçapava	Residencial Cores da Índia	100	2	499	407,4	1,7	814,8
Cruzeiro	Mata Atlântica I, Condomínio	20	9	168	158,2	3,6	1423,5
Cruzeiro	Edifício Residencial SPA Mediterrâneo	84	1	457	430,2	2,3	430,2
Cruzeiro	Condomínio Residencial Eco Vale	16	13	218	205,2	5,8	2668,1
Cruzeiro	Mata Atlântica II, Condomínio	20	9	168	158,2	3,6	1423,5
Guaratinguetá	Santa Monica, Residencial Condomínio Residencial	4	125	138	129,3	16,0	16159,2
Guaratinguetá	Flamboyant 1	8	24	271	253,9	15,7	6092,7
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 2	8	20	271	253,9	15,7	5077,3
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 3	8	22	271	253,9	15,7	5585,0
Guaratinguetá	Campo Belo Condomínio Clube	30	6	481	450,6	7,4	2703,5
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	16	7	232	213,4	5,4	1493,7
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	32	3	464	426,8	5,4	1280,3
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	8	1	116	106,7	5,4	106,7
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	24	1	348	320,1	5,4	320,1
Jacareí	Santa Isabel, Residencial	20	8	204	187,6	3,8	1501,1



<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m<sup>3</sup>)</b>
Jacareí	Residencial Santa Terezinha II	16	11	190	174,8	4,5	1922,3
Jacareí	Residencial Santa Terezinha I	16	10	190	174,8	4,5	1747,6
Jacareí	Parque Jaguaripe	15	13	182	167,4	4,5	2176,2
Jacareí	Residencial das Acacias	16	15	180	165,6	4,2	2483,4
Jacareí	Planalto, Residencial	9	22	84	77,3	3,5	1699,7
Jacareí	Reserva de Villa Branca	116	2	590	542,7	1,9	1085,3
Jacareí	Residencial Jeriba	40	13	397	365,1	3,7	4746,9
Jacareí	Residencial Spazio Vale Belo	30	6	322	296,2	4,0	1777,0
Jacareí	Residencial Spazio Vale Verde	40	9	397	365,1	3,7	3286,3
Jacareí	Spazio Jacarei Residencial	24	5	322	296,2	5,0	1480,8
Lorena	Condomínio Residencial Valencia	32	2	243	216,4	3,0	432,8
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel - Módulo 03	16	8	202	169,6	4,7	1356,5
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel - Módulo 01	16	8	202	169,6	4,7	1356,5
Pindamonhangaba	Residencial Parque Pedra Bonita	32	15	355	298,0	4,1	4469,8
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel Módulo 02	16	8	202	169,6	4,7	1356,5
Pindamonhangaba	Bem Viver Pindamonhangaba	16	96	218	183,0	5,0	17566,8

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m<sup>3</sup>)</b>
São José dos Campos	Residencial Campos de São Jose II	16	9	200	175,7	4,8	1581,7
São José dos Campos	Residencial Othon	60	1	252	221,4	1,6	221,4
São José dos Campos	Residencial Alto Da Ponte	20	15	225	197,7	4,3	2965,6
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso I	16	9	220	193,3	5,3	1739,8
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso I	20	5	220	193,3	4,3	966,6
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. II	32	1	430	377,8	5,2	377,8
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. III	32	1	430	377,8	5,2	377,8
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. I	32	3	430	377,8	5,2	1133,5
São José dos Campos	Campo Del Rey Residencial	16	10	211	185,4	5,1	1854,0
São José dos Campos	Residencial Colinas I	20	10	202	177,5	3,9	1775,0
São José dos Campos	Spazio Santos Dumont	40	3	411	361,1	4,0	1083,4
São José dos Campos	Spazio Santos Dumont	30	1	290	254,8	3,7	254,8
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso II	16	14	290	254,8	7,0	3567,5
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso II	20	3	290	254,8	5,6	764,5

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m²)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m³)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m³)</b>
São José dos Campos	Eviva, Residencial	75	2	345	303,2	1,8	606,3
São José dos Campos	São Jose dos Campos - Cajuru III - Condomínio I	16	18	214	188,0	5,2	3384,7
São José dos Campos	Residencial Colinas II	20	10	202	177,5	3,9	1775,0
São José dos Campos	São Jose Dos Campos - Cajuru I - Condomínio I	16	18	214	188,0	5,2	3384,7
São José dos Campos	Residencial Campo Giallo	40	16	406	356,8	3,9	5708,0
São José dos Campos	Fatto Acqua Módulo 3	116	1	500	439,3	1,7	439,3
São José dos Campos	Condomínio Residencial Fatto Acqua - Módulo I	154	2	500	439,3	1,3	878,7
São José dos Campos	Conjunto Habitacional Bom Retiro II	20	10	207	181,9	4,0	1818,9
São José dos Campos	Condomínio Solar das Montanhas	16	7	194	170,5	4,7	1193,3
São José dos Campos	Brisas Montanha	16	3	205	180,1	5,0	540,4
São José Dos Campos	Residencial Harmonia	56	1	336	295,2	2,3	295,2
São José Dos Campos	Residencial Harmonia	63	1	336	295,2	2,1	295,2
São José dos Campos	Riviera Do Parque Edifício	28	1	247	217,0	3,4	217,0
São José dos Campos	Spazio Campo Di Orleans	104	2	422	370,8	1,6	741,6

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m<sup>3</sup>)</b>
São José dos Campos	Mediterrâneo Mod. II, Residencial	60	1	232	203,9	1,5	203,9
São José dos Campos	Spazio Campo Di Bourbon	96	2	439	385,7	1,8	771,5
São José dos Campos	Spazio Campo Di Braganca	94	5	448	393,7	1,8	1968,3
São José dos Campos	Spazio Campo Colorato	40	5	336	295,2	3,2	1476,2
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro II	16	10	280	246,0	6,8	2460,3
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro II	20	7	280	246,0	5,4	1722,2
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro I	16	8	280	246,0	6,8	1968,3
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro I	20	8	280	246,0	5,4	1968,3
São José dos Campos	Vilma, Residencial	78	1	395	347,1	2,0	347,1
São José dos Campos	Edifício Nice de France	48	1	324	284,7	2,6	284,7
São José dos Campos	Residencial Vivendas do Lago	90	1	300	263,6	1,3	263,6
São José dos Campos	Max Clube, Residencial	78	4	420	369,1	2,1	1476,2
São José dos Campos	Campo Rizzi, Spazio	24	3	259	227,6	4,2	682,7
São José dos Campos	Residencial Jardim Parque Tecnológico	20	15	213	187,2	4,1	2807,4

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m<sup>3</sup>)</b>
São José dos Campos	Bela Vista Residencial	32	2	279	245,2	3,4	490,3
Taubaté	Condomínio Res. Mirante	56	2	528	383,9	2,9	767,8
Taubaté	Le Village Campos Eliseos I – Mod. II	16	2	249	181,1	4,7	362,1
Taubaté	Le Village Campos Eliseos II Mod. B	16	9	249	181,1	4,7	1629,5
Taubaté	Le Village Campos Eliseos II Mod. I	16	9	249	181,1	4,7	1629,5
Taubaté	Residencial Parque Tenuto	16	30	202	146,9	3,8	4406,4
Taubaté	Residencial Julia	20	2	250	181,8	3,8	363,6
Taubaté	Condomínio Serra Da Mantiqueira	12	1	314	228,3	7,9	228,3
Taubaté	Residencial Tendence	32	6	425	309,0	4,0	1854,2
Taubaté	Residencial Spazio Treville	32	8	411	298,8	3,9	2390,8
Taubaté	Spazio Tibet	32	5	387	281,4	3,7	1407,0
Taubaté	Villa Moratta	96	1	839	610,1	2,7	610,1
Taubaté	Rossi Ideal Jacarandas	8	25	112	81,4	4,2	2035,9
Taubaté	Condomínio Morada Real Modulo II	32	2	275	200,0	2,6	399,9
Taubaté	Condomínio Morada Real Modulo II	28	2	275	200,0	3,0	399,9
Taubaté	Condomínio Residencial Morada Real	32	2	275	200,0	2,6	399,9
Taubaté	Residencial Francisco Alves Monteiro	16	54	207	150,5	3,9	8127,8
Taubaté	Vista Das Palmeiras	16	52	233	169,4	4,4	8809,8

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>nº de UH por edifício</b>	<b>nº de edifícios</b>	<b>Área de telhado por edifício (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potencial Anual de Captação de Água de Chuva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de suprimento do consumo de água (%)</b>	<b>Economia de água anual (m<sup>3</sup>)</b>
Taubaté	Residencial Parque Tamoios	16	22	215	156,3	4,1	3439,3
Ubatuba	Minha Vida, Condomínio	14	1	329	479,3	7,7	479,3
Ubatuba	Condomínio Pura Vida	24	1	671	977,5	9,2	977,5

Fonte: Produção do próprio autor.

**APÊNDICE G: MODELAGEM ENERGÉTICA: CASAS**

Município	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Perda de carga (m)		Altura total de elevação [m]	Rendimento médio do conjunto MB (%)	Potência Calculada (kW)	Potência do MB (cv)	Consumo energético Específico (kWh·m <sup>-3</sup> )	Economia anual de energia total por UH (kWh)
		Distribuída	Localizada						
Caçapava									42
Caraguatatuba									23
Cruzeiro									-0,6
Guaratinguetá									26
Jacareí									38
Jambeiro									50
Lorena	2,60	0,0658	0,0345	4,120	25,6	0,114	0,25	0,07	34
Pindamonhangaba									30
Potim									20
Santa Branca									110
São José dos Campos									38
Taubaté									10

Fonte: Produção do próprio autor.

**APÊNDICE H: MODELAGEM ENERGÉTICA: EDIFÍCIO**

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Altura Manométrica (m)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Potência Calculada (kW)</b>	<b>Potência do MB (cv)</b>	<b>Consumo energético Específico (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Economia anual de energia por prédio (kWh)</b>	<b>Economia anual de energia por conjunto (kWh)</b>
Aparecida	Residencial Parque das Gardênia - Módulo I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	192	3069
Caçapava	Residencial Cores da Índia	36,798	39,7	0,66	1,00	0,28	272	544
Cruzeiro	Mata Atlântica I, Condomínio	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	-13	-116
Cruzeiro	Edifício Residencial SPA Mediterrâneo	39,496	39,7	0,70	1,00	0,28	-96	-96
Cruzeiro	Condomínio Residencial Eco Vale	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	-17	-217
Cruzeiro	Mata Atlântica II, Condomínio	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	-13	-116
Guaratinguetá	Santa Monica, Residencial	7,120	28,6	0,18	0,33	0,09	59	7379
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 1	7,120	28,6	0,18	0,33	0,09	116	2782
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 2	7,120	28,6	0,18	0,33	0,09	116	2319
Guaratinguetá	Condomínio Residencial Flamboyant 3	7,120	28,6	0,18	0,33	0,09	116	2550
Guaratinguetá	Campo Belo Condomínio Clube	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	184	1105
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	134	939
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	268	805
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	67	67
Jacareí	Rossi Ideal Cidade Jardim	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	201	201
Jacareí	Santa Isabel, Residencial	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	118	944
Jacareí	Residencial Santa Terezinha II	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	110	1208
Jacareí	Residencial Santa Terezinha I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	110	1098



<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Altura Manométrica (m)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Potência Calculada (kW)</b>	<b>Potência do MB (cv)</b>	<b>Consumo energético Específico (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Economia anual de energia por prédio (kWh)</b>	<b>Economia anual de energia por conjunto (kWh)</b>
Jacareí	Parque Jaguaripe	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	105	1368
Jacareí	Residencial das Acacias	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	104	1561
Jacareí	Planalto, Residencial	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	49	1068
Jacareí	Reserva de Villa Branca	26,006	37,3	0,49	0,75	0,21	303	605
Jacareí	Residencial Jeriba	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	230	2984
Jacareí	Residencial Spazio Vale Belo	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	186	1117
Jacareí	Residencial Spazio Vale Verde	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	230	2066
Jacareí	Spazio Jacarei Residencial	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	186	931
Lorena	Condomínio Residencial Valencia	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	110	220
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel - Módulo 03	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	91	731
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel - Módulo 01	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	91	731
Pindamonhangaba	Residencial Parque Pedra Bonita	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	160	2407
Pindamonhangaba	Parque Princesa Isabel Módulo 02	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	91	731
Pindamonhangaba	Bem Viver Pindamonhangaba	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	99	9461
São José Dos Campos	Residencial Campos de São Jose II	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	116	1042
São José dos Campos	Residencial Othon	31,402	39,7	0,56	1,00	0,28	115	115
São José dos Campos	Residencial Alto Da Ponte	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	130	1953
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	127	1146

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Altura Manométrica (m)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Potência Calculada (kW)</b>	<b>Potência do MB (cv)</b>	<b>Consumo energético Específico (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Economia anual de energia por prédio (kWh)</b>	<b>Economia anual de energia por conjunto (kWh)</b>
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso I	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	127	637
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. II	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	249	249
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. III	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	249	249
São José dos Campos	Residencial Bosque de Santana Mod. I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	249	746
São José dos Campos	Campo Del Rey Residencial	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	122	1221
São José dos Campos	Residencial Colinas I	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	117	1169
São José dos Campos	Spazio Santos Dumont	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	238	714
São José dos Campos	Spazio Santos Dumont	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	168	168
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso II	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	168	2349
São José dos Campos	Residencial Colônia Paraiso II	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	168	503
São José dos Campos	Eviva, Residencial	36,798	39,7	0,66	1,00	0,28	157	314
São José dos Campos	São Jose dos Campos - Cajuru III - Condomínio I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	124	2229
São José dos Campos	Residencial Colinas II	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	117	1169
São José dos Campos	São Jose Dos Campos - Cajuru I - Condomínio I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	124	2229
São José dos Campos	Residencial Campo Giallo	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	235	3759

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Altura Manométrica (m)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Potência Calculada (kW)</b>	<b>Potência do MB (cv)</b>	<b>Consumo energético Específico (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Economia anual de energia por prédio (kWh)</b>	<b>Economia anual de energia por conjunto (kWh)</b>
São José dos Campos	Fatto Acqua Módulo 3	42,194	42,9	0,70	1,25	0,35	196	196
São José dos Campos	Condomínio Residencial Fatto Acqua - Módulo I	55,684	42,9	0,92	1,25	0,35	196	392
São José dos Campos	Conjunto Habitacional Bom Retiro II	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	120	1198
São José dos Campos	Condomínio Solar das Montanhas	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	112	786
São José dos Campos	Brisas Montanha	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	119	356
São José Dos Campos	Residencial Harmonia	20,610	37,3	0,39	0,75	0,21	174	174
São José Dos Campos	Residencial Harmonia	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	174	174
São José dos Campos	Riviera Do Parque Edifício	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	128	128
São José dos Campos	Spazio Campo Di Orleans	39,496	39,7	0,70	1,00	0,28	192	384
São José dos Campos	Mediterrâneo Mod. II, Residencial	42,194	42,9	0,70	1,25	0,35	91	91
São José dos Campos	Spazio Campo Di Bourbon	34,100	39,7	0,61	1,00	0,28	199	399
São José dos Campos	Spazio Campo Di Braganca	34,100	39,7	0,61	1,00	0,28	204	1018
São José dos Campos	Spazio Campo Colorato	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	194	972
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro II	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	162	1620
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro II	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	162	1134

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Altura Manométrica (m)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Potência Calculada (kW)</b>	<b>Potência do MB (cv)</b>	<b>Consumo energético Específico (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Economia anual de energia por prédio (kWh)</b>	<b>Economia anual de energia por conjunto (kWh)</b>
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	162	1296
São José dos Campos	Residencial Mirante do Limoeiro I	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	162	1296
São José dos Campos	Vilma, Residencial	39,496	39,7	0,70	1,00	0,28	179	179
São José dos Campos	Edifício Nice de France	39,496	39,7	0,70	1,00	0,28	147	147
São José dos Campos	Residencial Vivendas do Lago	42,194	42,9	0,70	1,25	0,35	118	118
São José dos Campos	Max Clube, Residencial	28,704	39,7	0,51	1,00	0,28	191	763
São José dos Campos	Campo Rizzi, Spazio	17,912	37,3	0,34	0,75	0,21	134	401
São José dos Campos	Residencial Jardim Parque Tecnológico (Residencial Vila Dos Pássaros)	15,214	32,8	0,33	0,50	0,14	123	1849
São José dos Campos	Bela Vista Residencial	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	144	288
Taubaté	Condomínio Res. Mirante	20,610	37,3	0,39	0,75	0,21	38	75
Taubaté	Le Village Campos Eliseos I – Mod. II	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	31	61
Taubaté	Le Village Campos Eliseos II Mod. B	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	31	275
Taubaté	Le Village Campos Eliseos II Mod. I	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	31	275
Taubaté	Residencial Parque Tenuto	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	25	743
Taubaté	Residencial Julia	17,912	37,3	0,34	0,75	0,21	18	36

<b>Município</b>	<b>Conjunto habitacional</b>	<b>Altura Manométrica (m)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Potência Calculada (kW)</b>	<b>Potência do MB (cv)</b>	<b>Consumo energético Específico (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Economia anual de energia por prédio (kWh)</b>	<b>Economia anual de energia por conjunto (kWh)</b>
Taubaté	Condomínio Serra Da Mantiqueira	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	38	38
Taubaté	Residencial Tendence	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	52	313
Taubaté	Residencial Spazio Treville	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	50	403
Taubaté	Spazio Tibet	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	47	237
Taubaté	Villa Moratta	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	60	60
Taubaté	Rossi Ideal Jacarandas	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	14	343
Taubaté	Condomínio Morada Real Modulo II	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	20	39
Taubaté	Condomínio Morada Real Modulo II	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	20	39
Taubaté	Condomínio Residencial Morada Real	23,308	37,3	0,44	0,75	0,21	20	39
Taubaté	Residencial Francisco Alves Monteiro	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	25	1370
Taubaté	Vista Das Palmeiras	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	29	1485
Taubaté	Residencial Parque Tamoios	12,516	32,8	0,27	0,50	0,14	26	580
Ubatuba	Minha Vida, Condomínio	9,818	32,8	0,21	0,50	0,14	95	95
Ubatuba	Condomínio Pura Vida	7,120	28,6	0,18	0,33	0,09	241	241

Fonte: Produção do próprio autor.

**ANEXO A: CONSUMO MÉDIO *PER CAPITA* DE ÁGUA E INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE 2020 EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE SÃO PAULO**

<b>Município</b>	<b>Consumo médio <i>per capita</i> de água (L·hab<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>IN058 (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>
Aparecida	258,87	0,67
Arapeí	142,47	0,59
Areias	474,18	0,29
Bananal	147,94	1,10
Caçapava	165,89	0,95
Cachoeira Paulista	157,72	0,47
Campos do Jordão	301,07	0,96
Canas	153,8	0,75
Caraguatatuba	246,7	0,4
Cruzeiro	150,75	0,06
Cunha	299,87	0,13
Guaratinguetá	138,13	0,55
Igaratá	246,36	0,72
Ilhabela	333,31	0,44
Jacareí	168,05	0,77
Jambeiro	177,45	1,04
Lagoinha	151,6	0,98
Lavrinhas	145,6	0,17
Lorena	155,28	0,72
Monteiro Lobato	161,28	0,32
Natividade da Serra	134,44	0,10
Paraibuna	139,09	0,98
Pindamonhangaba	155,14	0,68
Piquete	173,79	0,13
Potim	278,11	0,44 <sup>a</sup>
Queluz	130,89	0,16
Redenção da Serra	176,45	1,12
Roseira	144,52	1,54
Santa Branca	167,15	2,23
Santo Antônio do Pinhal	202,43	0,90
São Bento do Sapucaí	166,56	0,41
São José do Barreiro	252,34	0,00
São José dos Campos	155,77	0,80
São Luís do Paraitinga	154,93	0,89
São Sebastião	216,34	0,56
Silveiras	137,71	1,01

<b>Município</b>	<b>Consumo médio <i>per capita</i> de água (L·hab<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>IN058 (kWh·m<sup>-3</sup>)</b>
Taubaté	164,17	0,31
Tremembé	154,42	4,27
Ubatuba	304,79	0,34

\*IN058: Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água

<sup>a</sup>: dado de 2019, pois o dado de 2020 não está disponibilizado.

Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

**ANEXO B: VALORES DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL DA EQUAÇÃO DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR TIPO DE ACESSÓRIO**

<b>Acessório</b>	<b>k</b>	<b>Acessório</b>	<b>k</b>
Cotovelo de 90° raio curto	0,9	Válvula de gaveta aberta	0,2
Cotovelo de 90° raio longo	0,6	Válvula de ângulo aberta	5
Cotovelo de 45°	0,4	Válvula de globo aberta	10
Curva de 90°, r/D=1	0,4	Válvula de pé com crivo	10
Curva de 45°	0,2	Válvula de retenção	3
Tê, passagem direta	0,9	Curva de retorno, $\alpha=180^\circ$	2,2
Tê, saída lateral	2,0	Válvula de boia	6

Fonte: Porto (2006).