



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**Jorge Fernando Hungria Ferreira**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO E DA DESPESA DE ENERGIA  
ELÉTRICA NO ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Belém  
2019

**Jorge Fernando Hungria Ferreira**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO E DA DESPESA DE ENERGIA  
ELÉTRICA NO ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Saneamento Ambiental.

**Linha de Pesquisa:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Belém  
2019

**Jorge Fernando Hungria Ferreira**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO E DA DESPESA DE ENERGIA  
ELÉTRICA NO ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará,  
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Saneamento Ambiental.

**Linha de Pesquisa:** Recursos Hídricos e Saneamento  
Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Data de aprovação: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2019

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_ - Orientador

José Almir Rodrigues Pereira  
Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Hélio da Silva Almeida  
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra  
Doutor em Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Pernambuco

Belém  
2019

## RESUMO

Estudar alternativas de concepção de Sistema de Abastecimento de Água (SAA) para a área urbana do município de Castanhal, considerando os valores de consumo e de despesa operacional de energia elétrica no período 2017-2037. A pesquisa foi dividida em três etapas, sendo na primeira caracterizado o SAA de Castanhal (que utiliza água subterrânea). Em seguida, foram analisadas e dimensionadas duas alternativas de concepção de SAA com captação de água bruta em manancial superficial. Na terceira etapa foi realizada a simulação no Software EPANET 2.0 para a comparação dos consumos e despesas de energia elétrica nas rotinas operacionais das alternativas de concepção do SAA. Na pesquisa foram identificados 14 SAA's na área urbana de Castanhal, com captação em 46 poços rasos e 13 poços profundos e com problemas de tratamento e reservação de água, tendo atendimento de apenas 28,36% da população urbana e 47,86% de índice de perda na distribuição de água. As alternativas de concepção do SAA foram com captação superficial de água bruta, uma no rio Guamá e outra no rio Inhangapi; com tratamento e distribuição de 64.293 m<sup>3</sup>/d para atender 270.935 habitantes em 2037; e com rotina operacional para minimizar o bombeamento no horário de ponta. Após o dimensionamento das unidades e as simulações no software EPANET 2.0, foram analisados 21.600.000 dados, sendo 10.972.800 de vazão, 9.676.800 de altura manométrica e 950.400 de nível de água. Com os resultados da simulação de 2017, foi verificado que os valores de CE e de DE dos SAA's Guamá (0,53 kWh/m<sup>3</sup> e 0,34 R\$/m<sup>3</sup>) e Inhangapi (0,48 kWh/m<sup>3</sup> e 0,32 R\$/m<sup>3</sup>) foram inferiores aos valores do SAA Atual (0,83 kWh/m<sup>3</sup> e 0,35 R\$/m<sup>3</sup>). Nos resultados das simulações de 2037 de consumo e despesa de energia elétrica, foi verificado o melhor desempenho hidroenergético do SAA Inhangapi (988.280 kWh/mês e R\$ 642.204/mês) em comparação com o do SAA Guamá (1.108.260,11 kWh/mês e R\$ 716.910/mês), sendo consumidos no horário de ponta 0,91% (10.112 kWh/mês) no SAA Guamá e 1,01% (9.959 kWh/mês) no SAA Inhangapi do consumo total de energia elétrica. Considerando a despesa acumulada de energia elétrica no horizonte de projeto, o SAA Inhangapi (R\$ 114.338.092,85) teve economia de R\$ 12.074.610,89 (9,55%) em relação ao SAA Guamá (R\$ 126.412.703,75), razão para o SAA Inhangapi ter sido definido como a melhor alternativa concepção para a universalização do abastecimento de água da área urbana de Castanhal no período de 2017 a 2037.

Palavras-chave: abastecimento de água. concepção de sistema. consumo. despesa. energia elétrica.

## ABSTRACT

To study alternatives of Water Supply System (WSS) design to the urban area Castanhal, considering the values of electricity energy consumption and operational cost in the period 2017-2037. The research was divided in three stages, being in the first characterized the Castanhal WSS (that uses underground water). After that, two alternatives of WSS design with raw water abstraction were analyzed and dimensioned. In the third stage, simulation was performed in the EPANET 2.0 Software to compare the consumption and cost of electric energy in the operational routines of WSS design alternatives. In the research, 14 WSSs were identified in the Castanhal urban area, with capture in 46 shallow wells and 13 deep wells and with water treatment and reservation problems, attending only 28.36% of the urban population and 47.86% of loss index in distribution water. The WSS design alternatives were with superficial abstraction of raw water, one from Guamá river and the from Inhangapi river; with treatment and distribution of 64,293 m<sup>3</sup>/d to attend 270,935 inhabitants in 2037; and with operational routine to minimize pumping at peak time. After the dimensioning of WSS units and the simulations in the EPANET 2.0 software, 21,600,000 data were analyzed, being 10,972,800 of water flow, 9,676,800 of manometric height and 950,400 of water level. With the results of the 2017 simulation, it was verified that the CE and DE values of the Guamá WSSs (0.53 kWh/m<sup>3</sup> and 0.34 R\$/m<sup>3</sup>) and Inhangapi (0.48 kWh/m<sup>3</sup> and 0.32 R\$/m<sup>3</sup>) were lower than the Actual WSS values (0.83 kWh/m<sup>3</sup> and 0.35 R\$/m<sup>3</sup>). In the results of the 2037 simulations of electricity consumption and cost, the best hydroenergetic performance of Inhangapi WSS (988,280 kWh/month and R\$ 642,204/month) was verified in comparison with Guamá WSS (1,108,260 kWh/month and R\$ 716,910/month), consuming at peak time 0.91% (10,112 kWh/month) in Guamá WSS and 1.01% (9,959 kWh/month) in Inhangapi WSS of total electricity consumption. Considering the accumulated electric energy cost in the project horizon, Inhangapi WSS (R \$ 114,338,092.85) had savings of R\$ 12,074,610.89 (9.55%) in relation to Guamá WSS (R \$ 126,412. 703,75), reason for the Inhangapi WSS to be defined as the best design alternative to universalization of water supply in the urban area of Castanhal in the period from 2017 to 2037.

Keywords: water supply. system design. consumption. cost. electricity.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE QUADROS

### LISTA DE SIGLAS

### LISTA DE TABELAS

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1.	GERAL .....	13
2.2.	ESPECÍFICOS.....	13
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
3.1.	PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	16
3.2.	ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DO SAA.....	20
<b>3.2.1.</b>	<b>Características topográfica e geológica da região.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Porte da localidade e população a ser abastecida .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Demanda de água para abastecimento público de água .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.4.</b>	<b>Mananciais de captação de água .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.5.</b>	<b>Instalações existentes .....</b>	<b>31</b>
3.3.	GESTÃO OPERACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ..	33
<b>3.3.1.</b>	<b>Gerenciamento de demanda de água .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>Eficiência hidroenergética.....</b>	<b>38</b>
3.4.	SETORIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	42
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>49</b>
4.1.	ÁREA DE ESTUDO .....	49
4.2.	ETAPA 1: LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES DO SAA DE CASTANHAL.....	52
<b>4.2.1.</b>	<b>Fase 1.1: Levantamento das informações básicas do município de Castanhal ..</b>	<b>52</b>
<b>4.2.2.</b>	<b>Fase 1.2: Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água .....</b>	<b>52</b>
4.3.	ETAPA 2: ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DE SAA'S PARA A ÁREA URBANA DE CASTANHAL.....	55
<b>4.3.1.</b>	<b>Fase 2.3: Projeção populacional .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>Fase 2.2: Caracterização das alternativas de concepção do SAA.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>Fase 2.2: Dimensionamento das unidades do SAA .....</b>	<b>57</b>

4.4.	ETAPA 3: SIMULAÇÃO HIDRÁULICA E ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DE SAA .....	64
4.4.1.	Fase 3.2: Simulação hidráulica das alternativas de concepção .....	65
4.4.2.	Fase 3.2: Análise da operação das simulada das alternativas de concepção .....	69
5.	RESULTADOS.....	75
5.1.1.	Sistema de abastecimento de água da COSANPA em Castanhal .....	76
5.1.2.	Cobertura do Abastecimento de Água.....	78
5.1.3.	Perda de água, consumo e despesa de energia elétrica do SAA de Castanhal ...	79
5.2.	ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÕES PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CASTANHAL .....	81
5.2.1.	Concepção do Sistema de Abastecimento de Água.....	82
5.2.2.	Alternativa de Concepção 1: Sistema Guamá.....	88
5.2.3.	Alternativa de Concepção 2: Sistema Inhangapi.....	90
5.3.	DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DO SAA.....	93
5.3.1.	Fase 1 - Produção.....	93
5.3.2.	Fase 2 - Adução .....	98
5.3.3.	Fase 3 - Distribuição .....	105
5.4.	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA.....	110
5.5.	RESULTADO DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS .....	113
5.5.1.	Consumo de energia elétrica das alternativas de concepção .....	118
5.5.2.	Despesa de energia elétrica das alternativas de concepção.....	122
5.5.3.	Comparação do desempenho dos SAA's .....	127
6.	CONCLUSÃO .....	129
	REFERÊNCIAS .....	131
	ANEXOS .....	141

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Unidades do Sistema de Abastecimento de Água.....	17
Figura 2 – Sistema de abastecimento de água de pequena localidade.....	24
Figura 3– Articulação dos setores de abastecimento de Belém.....	25
Figura 4 – Vazões das unidades do SAA .....	30
Figura 5 – Alterações da superfície interna do tubo.....	33
Figura 6 – Estratégia de controle de perdas de água .....	37
Figura 7 – Setorização para abastecimento de zona alta e cona baixa .....	44
Figura 8 – Sistema de distribuição de água dividido em DMC's .....	46
Figura 9 – Mapa de localização do município de Castanhal .....	50
Figura 10 – Etapas da pesquisa.....	51
Figura 11 – Esquema ilustrativo do arranjo das concepções.....	56
Figura 12 – Fluxo de tarefas para simulação hidráulica e geração de dados.....	65
Figura 13 – Interface do EPANET 2.0 .....	65
Figura 14 – Ilustração dos níveis de operação das unidades de reservação .....	68
Figura 15 – Área Urbana do município de Castanhal .....	75
Figura 16 – Mapa da concepção de setorização de abastecimento de Castanhal.....	83
Figura 17 – Ilustração da configuração das alternativas de concepção de SAA .....	86
Figura 18 – Pontos de localização das unidades dos setores .....	87
Figura 19 – Encaminhamento da linha de adução do Sistema Guamá.....	88
Figura 20 – Trechos da adutora principal e das subadutoras de água tratada do Sistema Guamá .....	90
Figura 21 – Imagem do ponto de captação de água no rio Inhangapi .....	91
Figura 22 – Trechos da adutora principal de água tratada do Sistema Inhangapi.....	92
Figura 23 – Informações da EAB no início e no final de plano .....	94
Figura 24 – Informações da EATeta no início e no final de plano.....	99
Figura 25 – Valores de vazão das adutoras e subadutoras no início e no final de plano .....	100
Figura 26 – Informações das EAT-S no início e no final de plano .....	106
Figura 27 – Desenho esquemático das dos Sistemas Guamá e Inhangapi .....	111

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Crescimento populacional do município de Castanhal .....	51
Gráfico 2 – População urbana atendida com abastecimento de água no município de Castanhal .....	79
Gráfico 3 – Percentuais de despesas de exploração do município de Castanhal do ano de 2016 .....	80
Gráfico 4 – Rotina operacional da etapa de produção, do Setor 1 e do Setor 2 no trigésimo dia simulado de 2037.....	114
Gráfico 5 – Rotina operacional do Setor 3, do Setor 4 e do Setor 5 no trigésimo dia simulado de 2037 .....	115
Gráfico 6 – Despesas dos Sistemas Guamá e Inhangapi nos cinco anos simulados .....	125

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação rural urbana dos municípios .....	23
Quadro 2 – Projeção populacional. Métodos com base em fórmulas matemáticas .....	27
Quadro 3 – Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta .....	28
Quadro 4 – Balanço hídrico proposto pela IWA para SAA's .....	36
Quadro 5 – Ações básicas para redução de despesa de energia elétrica em SAA's.....	41
Quadro 6 – Vantagens e desvantagens dos DCMs para os sistemas de distribuição de água ..	47
Quadro 7 – Limites de velocidades de acordo com as normas técnicas.....	61
Quadro 8 – Informações dos objetos físicos do EPANET 2.0 .....	66
Quadro 9 – Características dos SAA's de Castanhal.....	77
Quadro 10 – Fases do dimensionamento das concepções de abastecimento de água .....	93
Quadro 11 – Valores de diâmetro calculados e velocidades médias no bombeamento da EAB .....	95
Quadro 12 – Características da EAB.....	96
Quadro 13 – Informações do CMB selecionado para a EAB.....	97
Quadro 14 – Valores de diâmetro calculados e velocidades médias de bombeamento e de adução.....	101
Quadro 15 – Características das EATeta.....	102
Quadro 16 – Características das subadutoras de água tratada.....	103
Quadro 17 – Características dos CMB's selecionado para as EATeta's.....	104
Quadro 18 – Valores de diâmetro calculados e velocidades médias de bombeamento das EAT- S.....	107
Quadro 19 – Características das EAT-S.....	108
Quadro 20 – Características do CMB selecionado para as EAT-S .....	109

### LISTA DE SIGLAS

<b>ABNT</b>	<b>Associação Brasileira de Normas Técnicas</b>
<b>CE</b>	<b>Consumo específico de energia elétrica por metro cúbico de água</b>
<b>CMB</b>	<b>Conjunto motor e bomba</b>
<b>COFINS</b>	<b>Contribuição para financiamento da seguridade social</b>
<b>DE</b>	<b>Despesa específica de energia elétrica por metro cúbico de água</b>
<b>DMC</b>	<b>Distrito de Medição e Controle</b>
<b>EAB</b>	<b>Estação Elevatória de Água Bruta</b>
<b>EAT</b>	<b>Estação Elevatória de Água Tratada</b>
<b>EATeta</b>	<b>Estação Elevatória de Água tratada da ETA para os Setores</b>
<b>IBGE</b>	<b>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</b>
<b>ICMS</b>	<b>Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços</b>
<b>k1</b>	<b>Coefficiente do dia de maior consumo</b>
<b>k2</b>	<b>Coefficiente da hora de maior consumo</b>
<b>NBR</b>	<b>Norma Brasileira</b>
<b>PIS</b>	<b>Programas de integração social e de formação do patrimônio do serviço público</b>
<b>PROCEL</b>	<b>Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental</b>
<b>SANEAR</b>	
<b>QAAT</b>	<b>Vazão da adutora de água tratada</b>
<b>QDIST</b>	<b>Vazão de distribuição</b>
<b>QETA</b>	<b>Consumo na estação de tratamento de água</b>
<b>QPROD</b>	<b>Vazão de produção</b>
<b>Qs</b>	<b>Vazões singulares de grandes consumidores</b>
<b>REL</b>	<b>Reservatório Elevado</b>
<b>RENT</b>	<b>Reservatório Enterrado</b>
<b>RNF</b>	<b>Reservatório de Nível Fixo</b>
<b>RNV</b>	<b>Reservatório e Nível Variado</b>
<b>SAA</b>	<b>Sistema de Abastecimento de Água</b>
<b>SNIS</b>	<b>Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento</b>
<b><math>\bar{Q}</math></b>	<b>Vazão média de operação</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de mananciais utilizados para o abastecimento de água das sedes urbanas no Brasil.....	18
Tabela 2 – Valores de k utilizados na pesquisa.....	62
Tabela 3 – Valores de fator multiplicativo de vazão de consumo horário.....	67
Tabela 4 – Sistemas de abastecimento de água de Castanhal.....	76
Tabela 5 – Informações da operação do SAA de Castanhal em 2016 e em 2017.....	80
Tabela 6 – Projeção populacional do município de Castanhal para o ano de 2037.....	82
Tabela 7 – Bairros componentes dos setores de abastecimento de água.....	84
Tabela 8 – Projeção populacional por setor de abastecimento de água para o ano de 2030.....	84
Tabela 9 – Valores populacionais estimados por setor de abastecimento de água.....	85
Tabela 10 – Projeção de demanda de água no horizonte de projeto.....	86
Tabela 11 – Valores de cota do terreno dos setores de abastecimento de água.....	87
Tabela 12 – Características da EAB de captação de água do rio Guamá.....	89
Tabela 13 – Características da adução de água tratada do Sistema Guamá.....	89
Tabela 14 – Características da EAB de captação de água do rio Inhangapi.....	91
Tabela 15 – Características da adução de água tratada de água do Sistema Inhangapi.....	92
Tabela 16 – Determinação de altura manométrica da EAB.....	97
Tabela 17 – Curva de operação dos CMB's da EAB.....	97
Tabela 18 – Volumes de reservação calculados do RENTeta.....	98
Tabela 19 – Valores de adução destinados aos setores de abastecimento de água.....	100
Tabela 20 – Determinação de altura manométrica da EATeta.....	103
Tabela 21 – Curva de operação dos CMB's das EATeta's.....	104
Tabela 22 – Dimensões das unidades de reservação dos setores de distribuição de água.....	105
Tabela 23 – Determinação de altura manométrica das EAT-S.....	108
Tabela 24 – Curva de operação dos CMB's das EAT-S.....	110
Tabela 25 – Quantidade de objetos físicos inserido na simulação dos Sistemas.....	111
Tabela 26 – Valores de Consumo-Base dos setores de abastecimento de água.....	112
Tabela 27 – Faixas de nível operação das estações elevatórias de água.....	112
Tabela 28 – Faixa de nível de operação das válvulas de nível de chegada dos RENT's dos setores.....	113
Tabela 29 – Adução de água para os RENT's dos setores.....	116

Tabela 30 – Relação de volume aduzido e população atendida .....	117
Tabela 31 – Nível de água médio de operação dos RENT's .....	117
Tabela 32 – Volume bombeado, energia elétrica consumida e CE das unidades de bombeamento em 2037.....	119
Tabela 33 – Valores de CE dos Sistemas Guamá e Inhangapi em 2037.....	121
Tabela 34 – Valores de consumo e demanda de energia elétrica mensal dos SAA's em 2037 .....	122
Tabela 35 – Valores tarifários de energia elétrica da estrutura tarifária horo sazonal verde .	122
Tabela 36 – Despesa de energia elétrica mensal dos Sistemas Guamá e Inhangapi em 2037	123
Tabela 37 – Valores de consumo de energia elétrica nos cinco anos simulados.....	124
Tabela 38 – Valores estimados de despesa de energia elétrica de 2017 a 2037.....	126
Tabela 39 – Comparação dos Sistemas Atual, Guamá e Inhangapi (2017) .....	127
Tabela 40 – Comparação dos Sistemas Guamá e Inhangapi (2037) .....	128

## 1. INTRODUÇÃO

Cerca de 3,6 bilhões de pessoas em todo o mundo (51% da população mundial) vivem em potenciais áreas de escassez hídrica, sendo que esse número será entre 4,8 a 5,7 bilhões de pessoas até o ano 2050. Além disso, é estimado que a demanda anual de água superficial passe de 4.600 quilômetros cúbicos por ano em 2010 para 5.800 quilômetros cúbicos por ano em 2050 (BUREK et al., 2016).

Apesar desse cenário de risco de disponibilidade hídrica para o abastecimento público, em muitas cidades ainda são elevadas as perdas de água nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA). Guppy e Anderson (2017) comentam que aproximadamente 45 milhões de metros cúbicos de água são perdidos por dia em vazamentos na infraestrutura dos SAA dos países em desenvolvimento, sendo que esse volume é suficiente para atender a quase 200 milhões de pessoas. No caso do Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (BRASIL, 2018), o índice de perda na distribuição de água foi de 38,1%, sendo o maior valor (47,3%) observado na região Norte dentre as regiões do país.

O volume água perdido nos SAA's, por não ser entregue ao consumidor, não é faturado. Santos e Pereira (2016) comentam que elevados volumes de água produzidos não faturados indicam problemas na gestão dos SAA's, como a ocorrência de ligações clandestina, o uso excessivo de água na limpeza das unidades do sistema e vazamentos em redes de distribuição e em adutoras de água.

Além disso, no volume de água desperdiçado no SAA está agregado o valor da energia elétrica consumida para o seu deslocamento em todas as Estações Elevatórias de Água (EEA) instaladas no SAA (SANTOS, 2015; PEREIRA; CONDURÚ, 2014). Bezerra e Cheung (2013) comentam que a perda de água em SAA resulta em desperdício da energia utilizada em todos os processos do sistema.

Outros fatores também influenciam na despesa de energia elétrica, tais como o baixo valor do fator de potência, que é relacionado ao consumo de energia elétrica reativa excedente (ANICETO, 2016), e o bombeamento de água no horário de ponta do setor elétrico, que é o período de três horas consecutivas em que o valor da tarifa de energia elétrica é maior do que o cobrado nas demais horas do dia (ZOCOLER, 2011).

Brasil (2017) verificou que a despesa com energia elétrica de R\$ 5.136,2 milhões correspondeu a 15,6% da despesa de exploração (DEX) dos 5.172 municípios participantes da pesquisa. Vale observar que cerca de 90% da energia utilizada no SAA são consumidos nos

Conjuntos Motor e Bomba (CMB) (GOMES, 2012; BRANDT et al., 2011). Com isso, o uso racional de água e de energia elétrica nos SAA's é motivo de preocupação no setor de Saneamento Brasileiro, razão para, em 2003, ter sido implantado o Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental - PROCEL SANEAR (PROCEL INFO, 2006).

A questão hidroenergética também foi destacada na promulgação da Lei 11.445 de 2007, em que foi enfatizada a necessidade de eficiência e sustentabilidade no abastecimento de água, de uso racional dos recursos naturais, como a água e a energia, e a obrigação de serem elaborados os Planos Municipais de Saneamento Básico (BRASIL, 2007). Assim, é importante pensar a eficiência hidroenergética já no planejamento dos SAA's dos municípios.

A forma como os SAA's são concebidos influencia no consumo e na despesa de energia elétrica ao longo dos seus anos de operação e na complexidade do gerenciamento do sistema. Dessa maneira, a escolha do manancial de captação, a localização das unidades do sistema e as características dos setores de distribuição de água devem ter como um dos critérios de avaliação o valor a ser dispendido com a energia elétrica necessária para a operação do SAA.

Sobrinho e Borja (2016) comentam métodos que podem ser aplicados na fase de concepção de um SAA para utilização de energia elétrica de forma mais eficiente. De acordo com a Norma 12211/92 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992), o estudo de concepção é o estudo de arranjos das diferentes partes de um SAA, sendo elas organizadas de modo a formarem um todo integrado para a escolha da melhor solução sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social.

Assim, com a visão de que existe a necessidade de planejamento da expansão da maioria dos SAA's da área urbana dos municípios e que isso requer o conhecimento prévio das variáveis relacionadas com o uso de energia elétrica, na pesquisa foi realizado estudo de alternativa de concepção de SAA tendo como critério o consumo e a despesa de energia elétrica necessária para o abastecimento da área urbana do município de Castanhal.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Estudar alternativa de concepção para o Sistema de Abastecimento de Água da área urbana do município de Castanhal, considerando o consumo e a despesa operacional de energia elétrica no período de 2017 a 2037.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- a) Analisar o desempenho do SAA em operação no município de Castanhal, relacionando as condições de atendimento com o consumo e a despesa de energia elétrica;
- b) Estudar alternativas de concepção de SAA para o abastecimento da área urbana do município de Castanhal, considerando as normas técnicas da ABNT e o aumento da população no período de 2017 a 2037;
- c) Simular no Software EPANET 2.0 a operação das alternativas de concepção de SAA e avaliar o consumo e despesa de energia elétrica para a seleção da alternativa de concepção mais adequada para a expansão e universalização do Abastecimento da área urbana de Castanhal do ponto de vista energético.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Ackoff<sup>1</sup> (1981, p.1; apud BAGGIO; LAMPERT, 2010, p.13), “planejamento é a definição de um futuro desejado e de escolher os meios mais eficazes de alcançá-lo”. Para Baggio e Lampert (2010), planejar é o ato de analisar o presente para determinar formas de atingir um futuro almejado, o que consiste num processo em que objetivos são estabelecidos, são definidas as linhas de ação e planos de forma detalhada para alcançá-los, bem como os recursos necessários à sua consecução.

Para a permanência dos empreendimentos no mercado e seu crescimento ao longo do tempo, devem ser desenvolvidos planos adaptados à sua condição presente, suas oportunidades, seus objetivos e seus recursos. Ao longo da execução do plano devem ser realizados ajustes estratégicos, caso necessário, entre os objetivos da organização, suas peculiaridades e as oportunidades mutáveis (KOTLER; ARMSTRONG, 2008).

Destacando o planejamento, Castejon (2005) cita que os gestores o utilizam para definir a tomada de decisões por meio de processo analítico, concentrado em variáveis empresariais, econômicas e tecnológicas.

Pelo exposto, a ação de planejar é um dos primeiros passos para garantir o sucesso de empreendimentos, sistemas e unidades em qualquer setor do ambiente público e privado.

Quanto se trata do setor de saneamento, o planejamento é de fundamental importância, a fim de que os recursos disponíveis sejam aplicados de modo que atendam às necessidades presentes e futuras. Vale destacar que no artigo 21 da Constituição Federal é estabelecida à união a competência de (BRASIL, 1988):

- a) elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;
- b) instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos.

Com essa visão, na Lei nº 11.445/2007 são estabelecidas as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, onde são

---

<sup>1</sup> ACKOFF, Russell L. Planejamento empresarial. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1981.

apresentados alguns princípios fundamentais para a prestação do serviço público de saneamento, dentre os quais estão (BRASIL, 2007):

- a) a universalização do acesso aos serviços de saneamento;
- b) a realização dos serviços de saneamento de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- c) a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- d) a eficiência e sustentabilidade econômica;
- e) a segurança, qualidade e regularidade;
- f) a integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos;
- g) a adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água.

A observância desses princípios requer planejamento no setor de saneamento básico, demonstrando a necessidade de atenção com a qualidade de vida da população, com a infraestrutura e com a proteção do meio ambiente.

Por isso, ainda nessa lei, ao titular dos serviços é definida a obrigatoriedade da elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico, com o serviço de abastecimento de água sendo um dos componentes, devendo, portanto, ser contemplado nos Planos Municipais de Saneamento Básico.

De acordo com Brasil (2014), o planejamento é instrumento essencial para, entre outras coisas: diagnosticar e avaliar a situação em que se encontram os serviços e definir as ações necessárias para torná-los adequados para a população, estabelecer os objetivos e as metas que se pretende alcançar com a gestão dos serviços, definir programas e projetos e prioridades das ações, definir e avaliar as fontes de financiamento dos serviços e estabelecer mecanismos de controle, monitoramento e avaliação.

Dessa forma, é imprescindível que os projetos, programas e ações voltados para o abastecimento de água, baseados nas leis nacionais, sejam precedidos por planejamento que leve em consideração a concepção do sistema e todas as variáveis passíveis de serem identificadas para a execução do objetivo pretendido, buscando sempre adotar a alternativa mais adequada sustentável e tecnicamente. Segundo Pereira e Condurú (2014, p.39):

O planejamento é fundamental para a definição de alternativas de concepção que melhor alcance os objetivos e metas pré-estabelecidas para o uso racional de água e de energia elétrica no SAA. É, portanto referência para que a prestação dos serviços atenda às exigências de qualidade, quantidade e regularidade demandadas pelos clientes, com menor impacto ambiental e com custo adequado.

No entanto, Borja (2014) comenta que a garantia do acesso universal e de qualidade ao saneamento ainda é um grande desafio devido aos défices da prestação desses serviços ainda presentes no Brasil<sup>2</sup>.

Com essa informação, é evidenciada a necessidade de se investir nos serviços de abastecimento de água no país de modo eficiente, planejando as ações necessárias para ser atingido o objetivo de universalização da prestação do serviço, minimizando o desperdício dos recursos, como água e energia.

### 3.1. PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para promoção do serviço de abastecimento de água, há a necessidade de serem construídas instalações que viabilizem a captação, o transporte, o tratamento, o armazenamento e a distribuição de água, para que esta seja retirada do manancial, transportada e entregue potável ao consumidor. A forma como se pretende executar o arranjo dessas unidades e a escolha das melhores opções técnicas dependem do estudo de concepção de SAA.

Para Tsutiya (2006), concepção de SAA é “o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para caracterização completa do sistema a projetar”. No estudo de concepção são definidos os aspectos norteadores dos projetos das unidades do SAA.

Além disso, quando se pretende conceber um SAA, não existe apenas uma alternativa possível, sendo necessário avaliar qual concepção melhor se adequa às possibilidades locais de forma eficiente. Segundo Heller e Pádua (2016):

No abastecimento de água, como em vários campos da engenharia e das políticas públicas em geral, raramente há uma solução única para um dado problema. Mesmo que uma solução seja vislumbrada com maior clareza, ela em geral não é em si

---

<sup>2</sup> De acordo com a pesquisa do SNIS referente ao ano de 2016, os índices de atendimento total e urbano com rede de abastecimento de água dos municípios participantes da pesquisa foram, respectivamente, de 83,3 % e de 93,0%. Além disso, é importante destacar que a Região Norte do Brasil apresentou os menores valores desse mesmo índice, sendo os valores dos índices de atendimento total e urbano com rede de abastecimento de água igual a 55,4% e a 67,7%, respectivamente (BRASIL, 2018).

única: ela mesma pode admitir diferentes variantes, diferentes formas de projeto ou diferentes concepções de dimensionamento.

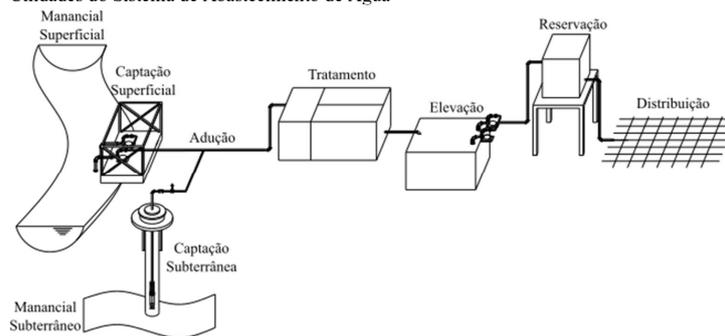
Nesse sentido, os estudos de alternativas de concepção devem levar em consideração todos os fatores que interferem, tanto de forma positiva quanto de forma negativa, no SAA, tais como topografia, densidade demográfica<sup>3</sup>, disponibilidade hídrica, localização dos mananciais, características econômicas da população, clima, cultura e outros.

De acordo com Tsutiya (2006, p. 15), “de modo geral, as concepções de sistemas de abastecimento de água dependem principalmente do tipo de manancial, da topografia da área e da população a ser atendida”. No entanto, outras variáveis ainda são importantes no estudo de concepção, como as instalações existentes do SAA em operação, a disponibilidade de energia elétrica, os recursos humanos, as condições econômico-financeiras e o alcance do projeto.

Os SAA's são concebidos e projetados para abastecer desde localidades de pequeno porte, como povoados e vilarejos, até localidades de grande porte, como grandes cidades e metrópoles, sendo que os SAA's devem ser adaptados de acordo com a necessidade local.

O SAA é caracterizado pela retirada da água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte e fornecimento às populações em quantidade compatível com suas necessidades. De forma convencional, o SAA é constituído por: manancial, captação, estação elevatória, adução, estação de tratamento de água, adutora, reservação e rede de distribuição, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1– Unidades do Sistema de Abastecimento de Água



<sup>3</sup> A densidade demográfica é a relação entre o número de habitantes residente em uma determinada região e a sua área territorial

O manancial é o corpo d'água, superficial ou subterrâneo, de onde é retirado o volume demandado de água para o abastecimento público. Os mananciais podem ser: subterrâneo freático ou não confinado, subterrâneo confinado, superficial sem acumulação, superficial com acumulação e água da chuva.

De acordo com ANA (2010), 47% das sedes urbanas do Brasil são abastecidas a partir de mananciais superficiais, 39% de mananciais subterrâneos e 14% tanto de mananciais subterrâneos quanto de mananciais superficiais (fonte mista de captação de água). Na Tabela 1 são apresentados os números de municípios brasileiros por tipo de manancial adotado para o abastecimento público.

Tabela 1 – Tipos de mananciais utilizados para o abastecimento de água das sedes urbanas no Brasil

Região	Tipo de manancial usado para o abastecimento de água no Brasil			
	Subterrâneo	Superficial	Misto	Sem informação
Norte	263	140	45	1
Nordeste	637	1.023	116	18
Centro-Oeste	176	221	67	2
Sudeste	502	844	315	7
Sul	575	385	214	14

Fonte: ANA (2010)

Os mananciais utilizados para captação de água devem atender ao volume demandado de água pela localidade em que se planeja abastecer. Como o mesmo manancial de água pode ter outros usos e atender o abastecimento de outras comunidades, deve ser considerada a sua capacidade máxima de extração de água, a fim de controlar a sua exploração.

A unidade de captação é a estrutura em que ocorre a retirada de água do manancial, em quantidade suficiente para atender à demanda. Dependendo do tipo de manancial, o arranjo da captação pode divergir bastante, como entre estruturas para captação de água superficial e para captação de água subterrânea. Os projetos de captação devem considerar cuidadosamente as características físicas dos mananciais por estar sujeita às intempéries do ambiente.

Entre os fatores que influenciam na concepção da unidade de captação de água, Tsutiya (2001) cita o porte e conformação dos leitos dos mananciais, a topografia e a geologia da região, a velocidade do fluxo, a qualidade e a variação do nível da água, sendo importante ser levada em consideração a facilitação de sua operação e de sua manutenção.

Outra unidade do SAA é de adução de água, a qual é destinada ao transporte de água entre as unidades componentes do SAA, fazendo o papel de interligação entre a captação, tratamento, estação elevatória, reservação e rede de distribuição. Em função da característica da água, as adutoras podem ser de água bruta ou de água tratada. Além disso, as adutoras também podem ser classificadas em função do tipo de energia utilizado para o transporte de água, como (TSUTIYA, 2006):

- a) Adutora por gravidade: essas adutoras transportam a água de uma cota mais elevada para outra mais baixa. Essas adutoras podem ser de conduto forçado (quando a pressão sob a qual a água é sendo transportada é superior à pressão atmosférica) e de conduto livre (quando a pressão a qual a água transportada está submetida permanece igual à pressão atmosférica);
- b) Adutora por recalque: são as adutoras que transportam a água de um determinado ponto a outro de cota mais elevada pela utilização de estações elevatórias de água;
- c) Adutoras mistas: são as adutoras nas quais, nos seus trechos, o transporte de água é realizado ora por gravidade e, ora por recalque.

Por sua vez, na unidade de tratamento é onde ocorre a readequação da qualidade da água bruta, captada em suas condições ambiente, ao padrão de potabilidade disposto na Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde Nº 5, de 28 de setembro de 2017, a fim de proteger a saúde dos consumidores da água fornecida pelo SAA.

Dependendo das características físicas, químicas e biológicas da água captada, as unidades de tratamento podem ter diversos arranjos. O tratamento inadequado da água captada pode afetar, além de na saúde pública, nas condições operacionais do SAA. De acordo com Gastmans et al. (2004), as incrustações das tubulações estão associadas com depósito de carbonatos e sulfatos de cálcio e magnésio, além de precipitação de compostos de ferro e manganês.

Outra unidade do SAA é a unidade de bombeamento ou estação elevatória de água, que é o conjunto de obras e equipamentos destinados à elevação de água para a unidade seguinte do SAA. As estações elevatórias de água costumam ser utilizadas quando o objetivo é transportar água para níveis mais elevados, vencendo alturas geométricas e grandes

distâncias. Dependendo da característica da água que transportam, as estações elevatórias podem ser de água bruta ou de água tratada.

A unidade de reservação é a parte do SAA que realiza a compensação entre vazão de produção de água proveniente das unidades a montante, que tendem a ter pouca variação, e as vazões de consumo de água, que variam ao longo do dia. Essa compensação evita o comprometimento do abastecimento nos horários de maior consumo do dia.

Além disso, os reservatórios possibilitam a continuidade do abastecimento em períodos curtos de paralisação das unidades à sua montante, o armazenamento de água para combate a incêndio, a regularização das condições de operação das estações elevatórias e o condicionamento das pressões disponíveis nas redes de distribuição.

Finalmente, a rede de distribuição é constituída por conjuntos de conexões, peças especiais e condutos assentados nas vias públicas ou nos passeios, sendo utilizada para transportar os volumes de água produzidos para todos os pontos de consumo de água em seus diversos usos (doméstico, comercial, industrial e público) de forma contínua, em qualidade, quantidade e pressão adequadas. A configuração da rede de distribuição está diretamente relacionada com a densidade demográfica, com a distribuição da população no espaço geográfico, com a topografia e com a demanda de água.

Desse modo, definir as melhores opções para captação de água bruta e de arranjo das unidades no espaço urbano reque planejamento, no qual o estudo de alternativa de concepção de SAA é indispensável para o bom desempenho técnico, econômico, social e ambiental dos SAA's.

### 3.2. ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DO SAA

No estudo de alternativas de concepção do SAA é aconselhável a utilização de critérios e recomendações disponíveis na NBR 12.211/1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (1992), intitulada “Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água”, que fixa as condições exigíveis para estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água com amplitude suficiente para permitir o desenvolvimento do projeto de todas ou qualquer das partes constituintes do SAA.

Nesse sentido, é importante observar os seguintes fatores para o bom desenvolvimento do estudo de concepção e para o sucesso do empreendimento. Entre esses fatores estão: as características topográfica e geológica da região, o porte da localidade e

população a ser abastecida, a demanda de água para abastecimento público, as instalações existentes, o manancial de captação de água e a operação do sistema.

### 3.2.1. Características topográfica e geológica da região

Em estudos de concepção de SAA, a topografia é importante por influenciar, por vezes até de forma expressiva, a localização das unidades do sistema. Como exemplo, pode ser citado que a topografia do terreno entre o manancial de captação de água e a localidade a ser abastecida são decisivas na determinação das características das adutoras e na necessidade de estação elevatória para o deslocamento de água.

Quanto maior for o desnível geométrico, maiores serão os valores das potências elétricas dos conjuntos motor e bomba. Nesse sentido, a topografia também influencia na potência instalada do SAA e, por consequência, no consumo e na despesa de energia elétrica do sistema.

Em regiões onde a topografia do terreno é muito acidentada, pode ocorrer de os valores de pressão superem o limite máximo estabelecido na NBR 12.218/1994 de 500 kPa de pressão estática (em torno de 50 mca) nos pontos com menores cotas altimétricas da rede de distribuição de água. Vale destacar que altos valores de pressão na rede de distribuição de água podem elevar os valores de perda de água.

Samir et al. (2017) comenta que os vazamentos na rede de distribuição de água são influenciados, dentre outros motivos, pelo excesso de pressão nas tubulações, e que o gerenciamento de pressão, usando as válvulas de redução de pressão, é uma maneira eficaz de controlar a quantidade de vazamento no sistema de distribuição de água.

Além disso, segundo a ABNT NBR 12.217 (1994), uma das funções do reservatório elevado é condicionar a pressão nas áreas de cotas topográficas mais altas, sendo importante que as pressões mínimas nesses pontos sejam de 100 kPa de pressão dinâmica (em torno de 10 mca). Nesse sentido, a topografia da localidade atendida pelo SAA também influencia na determinação da cota e na posição do reservatório elevado.

Em relação às características geotécnicas, sempre que possível, devem ser evitadas as regiões rochosas para instalação de estruturas enterradas. Por isso, o estudo do local é importante para o assentamento das tubulações; e para a fundação de reservatórios, estações de tratamento e de outras unidades do SAA (HELLER; PÁDUA, 2016).

As características geológicas estão também relacionadas com a qualidade de água bruta dos mananciais (HAMDI et al., 2018; PIRATOBA, 2017; RAMOS; GIUSTI; ROSA FILHO, 2015). Nesse sentido, as características geológicas do entorno dos mananciais de captação de água devem ser consideradas no estudo de concepção do SAA.

### 3.2.2. Porte da localidade e população a ser abastecida

Os critérios para definição do porte do SAA de cada localidade são diversos e variam conforme o objetivo e a área a ser atendida. Calvo et al. (2016) consideraram a seguinte estratificação de porte populacional dos municípios: “municípios com menos que 25 mil habitantes (pequeno porte), municípios com 25 a 100 mil habitantes (médio porte) e municípios com mais de 100 mil habitantes (grande porte)”.

Segundo a ABNT NBR 12.211 (1992), a população total em uma área da comunidade é a “soma das populações residente, flutuante e temporária”, e a população abastecida é “aquela atendida pelo sistema de distribuição existente”. Stamm (2013), em sua pesquisa, comenta que:

As cidades de menor porte são tidas apenas como um centro mediador do comércio local com as regiões. As cidades de médio porte, além das funções das cidades de menor porte, apresentam um maior peso econômico e assumem a função de suprir as demandas dos produtos que não são produzidos nos centros de menor porte. As cidades de grande porte (ou metropolitanas) se distinguem pelo maior volume populacional, por serem polarizadoras de centros menores, e caracterizam-se por apresentar uma mancha de ocupação derivada de conurbação.

Na pesquisa do IBGE (2011), foi utilizada hierarquização dos municípios com base no porte populacional, desagregados por número de habitantes, as faixas populacionais utilizadas para a hierarquização foram as seguintes: municípios com até 5 000 habitantes; de 5 001 a 10 000 habitantes; de 10 001 a 20 000 habitantes; de 20 001 a 50 000 habitantes; de 50 001 a 100 000 habitantes; de 100 001 a 500 000 habitantes; e mais de 500 000 habitantes.

Além do número de habitantes, outras variáveis podem ser levadas em consideração para a identificação do porte das localidades, como a densidade demográfica. De acordo com IBGE (2017a), “é importante considerar a densidade como critério para delimitar a ocupação urbana, pois esse é um indicador apropriado para refletir o espaço construído”.

Dessa forma, levando em consideração o número e habitantes, a densidade demográfica e o grau de urbanização, foram criados critérios para a classificação dos municípios conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação rural urbana dos municípios

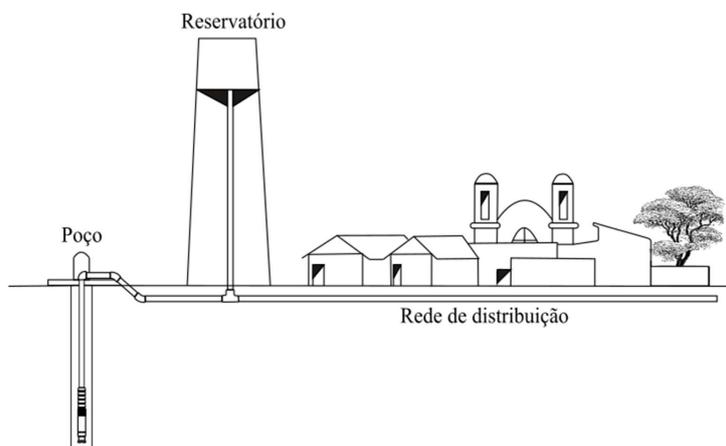
<b>Classes</b>	<b>População/ocupação</b>
Município predominantemente urbano:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• municípios em Unidades Populacionais com mais de 50.000 habitantes em área de ocupação densa;</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 50%; e</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%</li> </ul>
Município intermediário:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 25 e 50%;</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 50 e 75%; e</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3.000 e 10.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%.</li> </ul>
Município predominantemente rural:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 25%;</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 50%; e</li> <li>• municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3.000 e 10.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 75%.</li> </ul>

Fonte: IBGE (2017a)

Com base nesses critérios, os municípios brasileiros foram classificados em 1.456 municípios urbanos, 746 municípios intermediários e 3.363 municípios rurais (IBGE, 2017a).

Para as comunidades de pequeno porte, costumam ser adotadas alternativas simplificadas, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema de abastecimento de água de pequena localidade



Fonte: Adaptado de Dirección de Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia (1980).

De modo geral, é maior a simplicidade de se projetar, definir o material e verificar o funcionamento hidráulico de adutoras de menores diâmetros, uma vez que para sistemas com adutoras de elevadas dimensões pode ser requerida escolha criteriosa do material da tubulação, além da possibilidade de ocorrência de sub e sobrepressões transientes e de impacto ambiental causado pela instalação e operação da adutora. Além disso, as comunidades de pequeno porte podem estar mais propícias à utilização de mananciais subterrâneos para captação de água por causa da compatibilidade entre o volume de água disponível no manancial e o volume demandado pelos consumidores, salvo alguns aquíferos com grande capacidade de vazão que possibilita o atendimento de comunidades maiores (HELLER; PÁDUA, 2016).

Por outro lado, para localidades de maior porte, via de regra, são requeridos sistemas mais complexos em termos de sofisticação tecnológica, operacional, de monitoramento e de gerenciamento. Na Figura 3 é apresentada ilustração de SAA de localidade de grande porte.

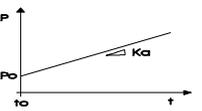
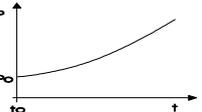
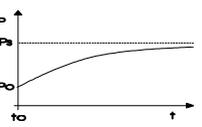
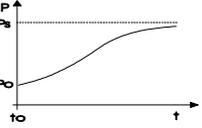


realidade a projeção for. Uma projeção, se muito distante do real, pode causar gastos desnecessários ou deixar de atender a uma parcela da população.

Segundo Von Sperling (2014), os principais métodos utilizados para a projeção populacional são: crescimento aritmético, crescimento geométrico, regressão multiplicativa, taxa decrescente de crescimento, curva logística, comparação gráfica entre cidades similares, método da razão e correlação e previsão com base nos empregos.

No Quadro 2 são apresentados os métodos baseados em fórmulas matemáticas Projeção Aritmética, Projeção geométrica, Taxa decrescente de crescimento e Crescimento logístico.

Quadro 2 – Projeção populacional. Métodos com base em fórmulas matemáticas

Método	Descrição	Forma da curva	Taxa de crescimento	Fórmula da projeção	Coefficientes
<i>Projeção aritmética</i>	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_a$	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$
<i>Projeção geométrica</i>	Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P$	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ ou $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$ ou $i = e^{K_g} - 1$
<i>Taxa decrescente de crescimento</i>	Premissa de que, na medida em que a cidade cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear.		$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$	$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t - t_0)}]$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}$
<i>Crescimento o logístico</i>	O crescimento populacional segue uma relação matemática, que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$ . O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_1]$ e com $P_t = P_s/2$ .		$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P}$	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{-K_1 \cdot (t - t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_0)/P_0$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln\left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)}\right]$

Fonte: Von Sperling (2014, p. 58)

- $dP/dt$  = taxa de crescimento da população em função do tempo
- $P_0, P_1, P_2$  = populações nos anos  $t_0, t_1, t_2$  (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) (hab)
- $P_t$  = população estimada no ano  $t$  (hab) ;  $P_s$  = população de saturação (hab)
- $K_a, K_g, K_d, K_1, i, c, r, s$  = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas  $P_0, P_1$  e  $P_2$ )

No Quadro 3 são apresentados os métodos baseados em quantificação indireta Comparação gráfica, razão e correlação, e previsão de empregos e serviços de utilidades.

Quadro 3 – Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
Comparação gráfica	O método envolve a projeção gráfica dos dados passados da população em estudo. Os dados populacionais de outras cidades similares, porém maiores são plotados de tal maneira que as curvas sejam coincidentes no valor atual da população da cidade em estudo. Estas curvas são utilizadas como referências na projeção futura da cidade em questão.
Razão e correlação	Assume-se que a população da cidade em estudo possui a mesma tendência da região (região física ou política) na qual se encontra. Com base nos registros censitários a razão "população da cidade/população da região" é calculada, e projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção populacional da região (efetuada em nível de planejamento por algum outro órgão) e da razão projetada.
Previsão de empregos e serviços de utilidades	A população é estimada utilizando-se a previsão de empregos (efetuada por algum outro órgão). Com base nos dados passados da população e pessoas empregadas, calcula-se a relação "emprego/população", a qual é projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção do número de empregos da cidade. O procedimento é similar ao método da razão. Pode-se adotar a mesma metodologia a partir da previsão de serviços de utilidade, como eletricidade, água, telefone etc. As companhias de serviços de utilidade normalmente efetuam estudos e projeções da expansão de seus serviços com relativa confiabilidade.

Nota: a projeção futura das relações pode ser feita com base na análise da regressão  
Fonte: Qasim<sup>4</sup> (1985; apud VON SPERLING, 2014, p. 59)

As projeções populacionais são utilizadas na previsão de demanda de água para o horizonte de projeto estipulado para o SAA, sendo, dessa forma, essencial para o adequado dimensionamento das unidades do SAA.

### 3.2.3. Demanda de água para abastecimento público de água

Na etapa de planejamento é importante determinar os valores de produção, tratamento e distribuição de água necessários para o atendimento da população no período analisado. Para isso, é fundamental o entendimento da diferença dos termos “demanda” e “consumo” de água.

Segundo a NBR 12.211 (1992), a demanda de água é constituída pelos consumos de água medidos e não medidos e pelo volume perdido de água no SAA. Nesse sentido, o consumo de água está inserido na demanda junto aos demais volumes perdidos e utilizados nos processos de SAA ao longo de suas unidades.

Heller e Pádua (2016) citam que “devem ser estimadas todas as demandas a serem satisfeitas pelas instalações, considerando o período futuro de alcance do sistema e não apenas

<sup>4</sup> QASIM S. R. Wastewater treatment plants: planning, design and operation. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1985.

a realidade presente”. Dessa forma, valores de vazões que atendam futuras demandas de água da localidade em longo prazo devem ser considerados no dimensionamento das unidades do SAA.

Na determinação da capacidade das unidades do SAA devem ser considerados os diversos consumos de água presentes na área urbana, como o consumo:

- a) Doméstico: referente ao consumo de água que ocorre nas unidades residenciais cujo caráter de atendimento é prioritário;
- b) Comercial: referente ao consumo de água que ocorre nos estabelecimentos comerciais instalados na área urbana;
- c) Público: referentes aos consumos de água que ocorrem em prédios públicos, assim como em praças e jardins;
- d) Industrial: referente ao consumo de água que ocorre nas pequenas, médias e grandes indústrias que fazem uso da água produzida no SAA.

Além dos consumos citados, são incluídos na determinação da capacidade das unidades os consumos no próprio SAA, como os volumes de água destinados para a operação da unidade de tratamento de água, para limpeza das unidades assim como as perdas de água presentes ao longo de todas as unidades do SAA.

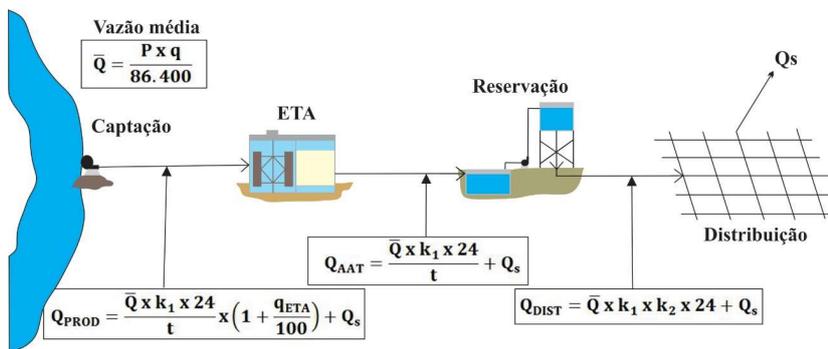
De acordo com Gomes (2009), o consumo per capita ( $q$ ) é o volume de água diariamente usado, em média, por um habitante. O seu valor, em SAA, é obtido dividindo-se o volume aduzido durante o ano por 365 dias e pelo número total de habitantes ou pessoas abastecidas ( $P$ ).

Com os valores de consumo per capita e a população, é possível ser calculada a vazão média de operação do SAA ( $\bar{Q}$ ). No entanto, os SAA's não operam permanentemente com a vazão média, uma vez que os valores de vazão têm oscilações para mais e para menos em relação ao valor de vazão média, e isso ocorre tanto ao longo do ano quanto ao longo de um único dia de operação do sistema.

Por isso, no dimensionamento das unidades do SAA são considerados o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ) e o coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ) com o objetivo de que o SAA tenha capacidade operar adequadamente até mesmo nas condições mais extremas de vazão ao longo do ano. Além disso, dependendo do trecho do SAA, podem ser considerados nos cálculos das vazões os valores de consumo na estação de tratamento de

água ( $Q_{ETA}$ ), as vazões singulares de grandes consumidores ( $Q_s$ ) e o tempo de operação da unidade em questão ( $t$ ). Na Figura 4 são ilustradas as três vazões utilizadas no dimensionamento das unidades do SAA, sendo elas: vazão de produção ( $Q_{PROD}$ ), vazão da adutora de água tratada ( $Q_{AAT}$ ) e vazão de distribuição ( $Q_{DIST}$ ).

Figura 4 – Vazões das unidades do SAA



A razão entre o volume consumido e o volume demandado de água pode ser entendida como o rendimento de abastecimento de água do SAA, no qual um dos objetivos do gerenciamento dos SAA deve levar os valores de demanda de água o mais próximo possível dos valores de consumo. No entanto, de acordo com Bezerra e Cheung (2013), as perdas de água são inerentes a todos os SAA.

#### 3.2.4. Mananciais de captação de água

O manancial de captação de água é um importante elemento condicionante da concepção das instalações dos SAA's. Richter e Azevedo Netto (1991) comentam que, quando houver dois ou mais mananciais passíveis de serem escolhidos para a captação de água, a seleção deve ser apoiada em amplos estudos, abrangendo não apenas os aspectos econômico-financeiros, mas também a qualidade da água, as tendências futuras quanto à preservação do manancial e as condições de segurança.

Segundo a ANA (2010), para o abastecimento de municípios de pequeno porte, em grande parte presente nos estados do Piauí, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Pará, Amazonas, Roraima e Tocantins, são predominantemente usados mananciais subterrâneos.

Isso ocorre devido à existência de aquífero com grande potencial hídrico e pela simplicidade da operação do abastecimento de água por poços.

Villar (2016) corrobora ao comentar que as águas subterrâneas têm utilização destacada em municípios de pequeno porte, pois garantem uma água segura e com baixo custo de tratamento. No entanto, sua utilização também ocorre em cidades de médio e grande porte.

Quanto aos mananciais superficiais, ANA (2010) ressalta a sua importância nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, principalmente para o abastecimento das regiões metropolitanas e cidades de maior porte populacional.

Vale destacar que também pode haver combinação com a utilização de mananciais subterrâneos e superficiais em SAA's. Em localidades com elevadas demandas de água é possível que seja adotada essa alternativa para suprir o abastecimento público de água.

Segundo Belém (2014), a Região Metropolitana de Belém apresenta 19 setores abastecidos com água superficial e 37 setores abastecidos com água subterrânea. Além disso, Bertolo et al. (2015) identificou como possível a utilização de água subterrânea em larga escala para complementar o abastecimento público de água na Região Metropolitana de São Paulo.

Além disso, para que a continuidade da utilização dos recursos hídricos seja possível, sem onerar o tratamento de água, é necessário que tanto os mananciais superficiais quanto os subterrâneos sejam preservados, evitando a poluição dos mesmos.

Nesse sentido, Silva e Porto (2003), levando em consideração a problemática da urbanização, comentam a importância da gestão integrada da água para, dentre outros objetivos, inibir os processos de degradação dos mananciais por meio de uma importante articulação com o desenvolvimento urbano e com a oferta de espaço às populações, evitando que áreas às margens dos mananciais sejam ocupadas.

Portanto, a escolha do manancial é tarefa a ser realizada no estudo de concepção, já que influencia na extensão das adutoras, na localização da ETA e nos custos operacionais, como o de energia elétrica.

### 3.2.5. Instalações existentes

Os estudos de concepção de abastecimento de água devem ser realizados em locais que já possuam instalações e que precisam expandir o abastecimento de água. Heller e Pádua (2016) citam que as instalações existentes geralmente foram construídas com recursos

públicos ou por mobilização da comunidade, devendo ser avaliada a possibilidade de reaproveitar o máximo dessas instalações quando realizado o estudo de uma nova concepção de SAA.

Essa avaliação nem sempre é simples, uma vez que envolve a análise de tubulações enterradas, sendo que muitas vezes não existem informações nos cadastros e documentos das prestadoras de serviço de abastecimento de água.

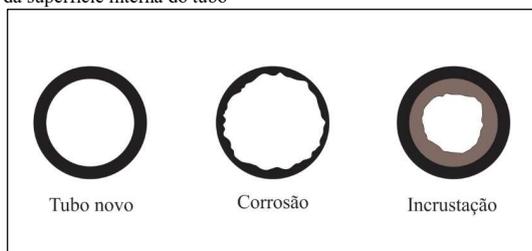
Também é importante observar que o aproveitamento de instalações existentes nem sempre é possível, em razão da incompatibilidade da sua capacidade com a nova demanda de água do SAA. Wada et al. (2016) comentam que, para sustentar a crescente demanda por alimentos e a elevação do padrão de vida, o uso global de água aumentou quase seis vezes nos últimos 100 anos e continua crescendo.

Essa incompatibilidade entre as instalações existentes e a atual demanda de água pode ser percebida em casos que as estações elevatórias são ineficientes ou possuem capacidade de bombeamento de água inferior à necessária, em que as tubulações estão com diâmetros subdimensionados e quando reservatórios estão mal posicionados e com alturas inferiores às necessárias.

Stavenhagen, Buurman e Tortajada (2018), em sua pesquisa realizada em quatro cidades europeias, obtiveram como resultado que a política de gestão de demanda de água de renovação e manutenção de redes foi classificada como uma das duas políticas de maior impacto na redução de demanda de água.

Outro fator que pode dificultar a reutilização das instalações existentes é possibilidade da ocorrência de incrustação e corrosão das tubulações. Azevedo Netto e Fernández (2015) comenta que com o tempo, tubulações de ferro fundido e de aço são acometidas por fenômenos químicos relativos aos minerais presentes na água, podendo ocasionar corrosão das tubulações. Também pode ocorrer deposição de substâncias contidas na água, as quais se aderem progressivamente à parede da tubulação, ocasionando incrustações (Figura 5).

Figura 5 – Alterações da superfície interna do tubo



Fonte: Adaptado de Azevedo Netto e Fernández (2015).

O'Day<sup>5</sup> (1982; apud SARZEDAS, 2009) comentam que as principais causas de quebra das tubulações são o exerce de carga, a temperatura e a corrosão. Moruzzi et al. (2012), em sua pesquisa de potencial de recuperação da capacidade hidráulica de rede de distribuição de água, identificou que a incrustação em alguns fragmentos da rede foi de tal magnitude que poderia causar praticamente o bloqueio dos trechos da rede, comprometendo o transporte da água.

Portanto, no estudo de concepção é preciso avaliar o que pode ser aproveitado da infraestrutura existente do SAA, sempre observando a segurança técnica, a economia de recursos a serem investidos na ampliação do sistema e as condições atuais e futuras de operação e de manutenção das unidades.

### 3.3. GESTÃO OPERACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Além de o SAA ser concebido de forma apropriada e ser construído obedecendo aos modernos requisitos técnicos, é preciso que sejam estabelecidas as condições para a operação adequada do sistema, visando otimizar os processos e reduzir falhas e desperdícios de água e energia. Nesse sentido, as práticas gerenciais funcionam como forma de organizar e atender as demandas para que esses objetivos sejam alcançados.

De acordo com Bergue<sup>6</sup> (2007; apud PEREIRA; CONDURÚ, 2014, p.53), gestão “é um processo complexo, que resulta da interação constante de quatro elementos ou fases fundamentais, no caso: planejamento, organização, direção e controle”.

<sup>5</sup> O'DAY, D. K. et al. (1986) Water main evaluation for rehabilitation/replacement. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO. 1986.

<sup>6</sup> BERGUE, Sandro Treccastro. **Gestão de pessoas em organizações públicas**. 2. Ed. ver. E atual. Caxias do Sul: EDUCS, 2007.

Em SAA's, a prática de gestão é fundamental para a promoção da sustentabilidade do sistema. Heller e Pádua (2016) comentam que para se conceber e aprimorar os serviços de abastecimento de água pelas prestadoras de serviço, no mínimo, devem ser consideradas as seguintes atividades:

1. operar adequadamente o sistema;
2. manter programa permanente de proteção dos mananciais, que pode envolver ações de educação sanitária e ambiental junto aos ocupantes das bacias hidrográficas;
3. prover manutenção preventiva e corretiva do sistema;
4. estabelecer e manter atualizada a estrutura tarifária;
5. manter a contabilidade em dia e dentro dos exigidos pela administração pública;
6. manter canais eficientes de atendimento ao usuário e de relação com a comunidade;
7. controlar a qualidade da água e elaborar relatórios periódicos à autoridade sanitária e aos usuários;
8. manter registros cadastrais atualizados das unidades do sistema;
9. manter registros comerciais atualizados, incluindo cadastros dos usuários residenciais, comerciais, industriais e públicos;
10. acompanhar evolução do consumo, mediante histogramas adequados;
11. realizar medição de consumo de água e manter rotina de controle operacional, incluindo controle de perdas;
12. desenvolver campanhas junto aos usuários para o correto uso da água, especialmente visando ao combate ao desperdício;
13. planejar e executar pequenas obras de expansão;
14. elaborar projetos de ampliação;
15. executar obras de ampliação;
16. realizar periodicamente pesquisa de opinião, para aferir grau de satisfação e queixas dos usuários.

No entanto, as deficiências na etapa de planejamento ainda resultam em problemas hidroenergéticos na gestão de SAA. De acordo com Brasil (2018), nos municípios brasileiros participantes de sua pesquisa, foi constatado índice médio de perda no valor de 38,1% na distribuição de água, sendo também verificado que a despesa decorrente do consumo de energia elétrica correspondeu a 14,6% da despesa de exploração dos prestadores de serviços de saneamento participantes da pesquisa, ficando abaixo apenas das despesas com pessoal próprio e com serviço terceirizado, que somados corresponderam a 59,9% da despesa de exploração.

Portanto, é de grande importância que na gestão dos SAA's seja levando em consideração a minimização da retirada de água dos mananciais por meio da otimização do seu uso em todas as unidades do sistema e do uso racional pelos consumidores, o que pode ser realizado com o desenvolvimento adequado planejamento e boa gestão de demanda de água, bem como por meio de ações que incentivem o uso racional da água. Além disso, em virtude do consumo de energia elétrica representar parcela significativa da despesa das prestadoras de

serviço de saneamento, é indicado estudo e escolha da melhor alternativa de concepção para que a energia elétrica seja utilizada de forma eficiente.

### 3.3.1. Gerenciamento de demanda de água

A previsão da demanda de água, tanto de longo quanto de curto prazo, é ferramenta essencial para o planejamento e expansão de SAA's; para o dimensionamento e operação de reservatórios, estações de bombeamento, estações de tratamento e tubulação; para a gestão de águas urbanas; para políticas de preços; e para restrições de uso de água (HERRERA et al., 2010).

O gerencialmente da demanda passou a ter sua importância reconhecida pelos prestadores de serviço de abastecimento de água devido fatores como (STAVENHAGEN; BUURMAN; TORTAJADA, 2018):

- a) a diminuição de recursos hídricos inexplorados perto das cidades;
- b) a contaminação e redução dos recursos hídricos subterrâneos;
- c) o aumento da ocorrência de secas;
- d) competição mais intensa por água entre os usuários urbanos, industriais e agrícolas;
- e) o crescimento da consciência sobre os custos ambientais dos empreendimentos de infraestrutura hídrica em grande escala;
- f) a maior compreensão do público sobre a interdependência da água para um ecossistema funcional e para a saúde humana ;
- g) os altos custos de construção e manutenção de infraestrutura hídrica.

Zhou et al. (2002) comentam que os valores de demanda são afetados pelo clima, pelos padrões de consumo de água aos finais de semana e em feriados, bem como pelas atividades domésticas e industriais dos consumidores.

Para Stavenhagen, Buurman e Tortajada (2018), a base conceitual do gerenciamento da demanda de água é a conservação da água com qualquer redução benéfica no seu uso ou nas perdas. Assim, gerenciar a demanda de água também implica em mudar o comportamento individual e organizacional para padrões de uso mais sustentáveis.

Nesse sentido, o combate às perdas de água nos SAA's é uma ação importante para a gestão da demanda de água. A primeira atividade para a realização de ações que

possibilitem a redução das perdas é a identificação dos valores de perda de água nas unidades dos SAA's e a localização dos pontos em que elas ocorrem. Para esse fim, são realizados balanços hídricos em SAA's, identificando os diversos destinos da água que entra no sistema.

De acordo com Bezerra e Cheung (2013), a contribuição mais relevante na definição das perdas foi a proposta pelo grupo de pesquisadores da IWA, a qual apresentava métodos para classificar, padronizar e uniformizar uma terminologia para o tema (Quadro 4).

Quadro 4 –Balanço hídrico proposto pela IWA para SAA's<sup>7</sup>

Volume de entrada no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (incluir água exportada)	Água faturada	
			Consumo Faturado não medido (estimado)		
	Consumo autorizado não faturado		Consumo não faturado medido (uso próprio, caminhão pipa, etc.)	Água não faturada	
			Consumo não faturado não medido (combate a incêndio, favelas, etc.)		
	Perdas de água	Perdas aparentes			Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)
					Erros de medição (micromedição)
		Perdas físicas			Vazamentos nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)
					Vazamentos nas adutoras ou redes de distribuição
			Vazamentos ou extravasamento nos reservatórios		
			Vazamentos nos ramais (montante do ponto de medição)		

Fonte: ALEGRE et al. (2005)

Contudo, alguns dos itens apresentados no Quadro 4, como os volumes de extravasamento de reservatórios e de uso não autorizado de água, são de difícil obtenção, o que torna necessário, por vezes, o uso de valores estimados, comprometendo a confiabilidade dos resultados obtidos pelo balanço hídrico de SAA's por esse método.

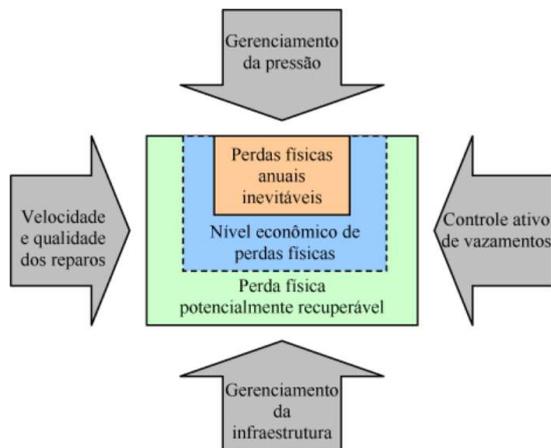
Lambert e Hirner (2002) constataram que o efetivo controle de perdas físicas é realizado por meio de quatro atividades complementares, conforme mostrado na Figura 6 e citadas a seguir:

- a) gerenciamento de pressão: objetiva minimizar os excessos de pressões do sistema e a faixa de duração de pressões máximas;

<sup>7</sup> Os conceitos dos termos adotados para os itens do Quadro 4 estão apresentados no Anexo A.

- b) controle ativo de vazamentos: pesquisa de vazamentos não visíveis, realizada por meio da escuta do solo (com geofones mecânicos ou eletrônicos correlacionadores);
- c) velocidade e qualidade dos reparos: tempo gasto desde a detecção de um vazamento até sua localização e reparo com qualidade. Isso porque a baixa qualidade no serviço pode causar reincidência de vazamentos;
- d) gerenciamento da infraestrutura: Realizar reparo e substituição de trechos de tubulações e de equipamentos quando necessário.

Figura 6 – Estratégia de controle de perdas de água



Fonte: LAMBERT; HIRNER<sup>8</sup> (2000; apud MORAIS, CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010, p.19).

Como na maioria dos SAA's, para o deslocamento de água entre as diversas unidades do sistema, há bombeamento de água, a redução do desperdício de água, a otimização do seu uso nos processos de produção de água tratada e o uso racional de água pelos usuários implica em economia de energia elétrica (FONTANA; GIUGNI; PORTOLANO, 2012; SANTOS; SOARES; DA SILVA, 2016)

Cheung et al.<sup>9</sup> (2007; apud PEREIRA; CONDURÚ, 2014, p.78) colaboram com essa informação ao estimarem que são utilizados 0,6 kWh para produzir 1 m<sup>3</sup> de água potável em SAA's, em média.

<sup>8</sup> LAMBERT, A. O.; HIRNER, W. H. "Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures". IWA Blue Pages. 2000

Estudos sobre a variação de demanda de água em curto prazo têm sido realizados para otimização de unidades de bombeamento de água. Kozłowski et al. (2018) comentam que os modelos de análise harmônica e de análise de tendências para previsão de demanda de água, apresentados em sua pesquisa, podem ser aplicados para projetar controladores de conjuntos motor e bomba de SAA's.

De acordo com Herrera et al. (2010) A previsões horárias de demanda de água em um modelo matemático calibrado é crucial devido possibilitar:

- a) que os gerentes de água determinem esquemas ótimos de regulação e bombeamento para suprir a demanda prevista;
- b) a promoção da eficiência energética através de um menor consumo de energia no bombeamento de água;
- c) a identificação da combinação mais adequada de fontes de água para obter um determinado padrão na água fornecida;
- d) que seja realizada comparação entre as medições de vazões previstas e reais, o que pode ajudar na identificar possíveis falhas de rede (vazamentos de água e rupturas de tubulação);

Segundo Gleick (2000), os prestadores de serviço de abastecimento de água passaram a praticar ações para melhoria da eficiência e a implementar alternativas de gerenciamento de demanda de água para reduzir as lacunas dos projetos e para atender às necessidades futuras.

Comentado [F1]: Olhar o que o autor quis dizer

### 3.3.2. Eficiência hidroenergética

Os esforços requeridos na relação homem-natureza para o uso adequado e não extrapolado dos bens presentes no meio e disponíveis à humanidade, dentre os quais podem ser destacadas a água e a energia, são de grande importância à viabilização e à manutenção da vida contemporânea. Para Cavalcanti (2012), essa relação deve ocorrer de forma sustentável, munida de processo socioeconômico em que se minimize o uso de matéria e energia, bem como os impactos ambientais provenientes da ação antrópica, e que se maximize a eficiência do uso dos recursos e sua utilidade social.

<sup>9</sup> CHEUNG, Peter Batista et al. Curso de eficiência energética no saneamento. Brasília, 2007.

Vale destacar que cerca de 3% da energia elétrica gerada no Brasil são consumidos no setor de abastecimento de água e no tratamento de esgoto, sendo que, de cada dez quilowatts-hora, mais de nove são utilizados em conjuntos motor e bomba (GONÇALVES, JORDÃO, JANUZZI, 2009).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), 10,6 milhões de MWh/ano são utilizados em SAA's e 1,2 milhões MWh/ano em esgotamento sanitário, totalizando valor de 11,8 milhões de MWh/ano, o que equivale ao consumo anual de energia elétrica de cerca 18,5 milhões de habitantes (BRASIL, 2018).

De acordo com Luz et al. (2016), o consumo demasiado de energia em estações elevatórias de água deve-se, muitas vezes, aos equipamentos obsoletos e não dimensionados conforme a necessidade. Barry (2007) ressalta que o consumo de energia elétrica corresponde a 74% do investimento realizado ao longo da vida útil de instalações de bombeamento.

Também é importante observar que a despesa de energia elétrica pode ser influenciada pelo baixo valor do fator de potência, que é relacionado ao consumo e demanda de energia elétrica reativa excedente.

Além disso, é preciso atentar que o aumento na demanda de água pode resultar em funcionamento dos equipamentos de bombeamento no horário de ponta, que é o período de três horas consecutivas em que o valor da tarifa de energia elétrica é maior do que o cobrado nas demais horas do dia (horário fora de ponta).

Outro fator que eleva a despesa com energia elétrica no bombeamento é o volume perdido de água entre as unidades de captação e de distribuição de água. Bezerra e Cheung (2013) comentam que a perda de água em SAA's resulta em desperdício da energia elétrica utilizada em todo o processo do SAA.

A eficiência em SAA's é caracterizada pela prática contínua e progressiva de medidas que promovam a minimização do consumo dos recursos naturais, como água, energia elétrica e produtos químicos, assim como dos recursos financeiros, técnicos e humanos.

As práticas de eficiência hidroenergética em SAA's ocasionam economia no uso de água e de energia elétrica, a diminuição da exploração dos recursos naturais e a sustentabilidades dos sistemas, sem prejudicar os usuários do sistema. Segundo Brasil (2010) o potencial de economia de energia elétrica é elevado nos SAA's devido à existência de:

- a) elevadas perdas de água nas redes e ramais prediais;
- b) dimensionamento inadequado dos equipamentos elétricomecânicos e operação desses equipamentos em faixas de rendimento baixas;

- c) utilização inadequada dos potenciais de reservação, o que afeta a redução do consumo de energia elétrica no horário de ponta do setor elétrico;
- d) ineficiência operacional causada pela ausência de medição dos parâmetros elétricos e hidráulicos, telemetria e sistemas supervisórios, principalmente nos sistemas de distribuição;
- e) deficiência de setorização dos sistemas e comprometimento do controle de pressão;
- f) deficiência no controle de vazamentos;
- g) deficiência na gestão da infraestrutura;
- h) escassez de mão de obra qualificada;
- i) prevalência da manutenção corretiva em detrimento de ações da preditiva e preventiva.

Brasil (2010) identificou potencial de recuperação de energia elétrica no setor de saneamento igual a 4,705 TWh, correspondente a 45,19% do consumo de energia elétrica do setor de saneamento, sendo:

- a) 2,62 TWh com redução de perdas reais de água até os valores de perdas reais anuais inevitáveis (estipulado no seu estudo igual a 10% do volume de perdas reais de água);
- b) 2,08 TWh com redução da altura manométrica de bombeamento, modulação das cargas dos equipamentos eletromecânicos, uso de conversores de frequência, eficiência no dimensionamento e na operação dos sistemas de bombeamento e utilização de motores mais eficientes e de alto rendimento.

Tsutiya (2001) apresenta algumas ações básicas para redução da despesa de energia elétrica em SAA's conforme apresentado no Quadro 5.

---

 Quadro 5 – Ações básicas para redução de despesa de energia elétrica em SAA's
 

---

## Ações Administrativas – 1ª fase

- Correção da classe de faturamento
- Alteração da estrutura tarifária
- Desativação das instalações sem utilização
- Conferência de leitura da conta de energia elétrica
- Entendimentos com as companhias energéticas para redução de tarifas

## Ações Operacionais – 2ª fase

- |   |   |  |
|---|---|--|
| (A) Ajuste dos equipamentos                       | } | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Correção do fator de potência</li> <li>• Alteração da tensão de alimentação</li> </ul>  |
| (B) Diminuição da potência dos equipamentos       | } | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria no rendimento do conjunto motor- bomba</li> <li>• Redução das perdas de carga nas tubulações</li> <li>• Melhoria do fator de carga nas instalações</li> <li>• Redução do índice de perdas de água</li> <li>• Uso racional da água</li> </ul> |
| (C) Controle operacional                          | } | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração no sistema de bombeamento-reservação</li> <li>• Utilização do inversor de frequência</li> <li>• Alteração nos procedimentos operacionais da estação de tratamento de água</li> </ul>  |
| (D) Automação do sistema de abastecimento de água |   |  |
| (E) Alternativas para geração de energia elétrica | } | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproveitamento de potenciais energéticos</li> <li>• Uso de geradores nos horários de ponta</li> </ul>   |
- 

Fonte: TSUTIYA (2001)

As ações listadas por Tsutiya (2001) podem ser divididas em dois grandes grupos, no caso, grupo de ações administrativas, as quais não há a necessidade de intervenção nas unidades dos SAA's ou em seus arranjos de operação, bastando apenas ações de caráter burocrático. Por outro lado, há o grupo de ações operacionais, que está mais voltado para a intervenção de forma direta no sistema e na sua rotina operacional.

Para isso, é necessário estudar as possíveis alternativas de intervenção nas infraestruturas de abastecimento de água, especialmente pelas deficiências no planejamento resultarem em valores expressivos de consumo e de despesa de energia elétrica.

Segundo Haguiuda, Santos Netto e Coura<sup>10</sup> (1996; apud BUZOLIN JUNIOR; BARBOSA; DEANTONI, 2016) nos sistemas operados pela SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, 90% de toda a energia elétrica utilizada é consumida na operação dos motores elétricos, 7,5% nos serviços auxiliares e 2,5% na iluminação. Nesse sentido, a minimização do consumo de energia elétrica em SAA's requer o estudo de alternativas técnicas para viabilizar a eficiência hidroenergética das unidades de bombeamento dos Sistemas.

---

<sup>10</sup> HAGUIUDA, C., SANTOS NETTO, L. F., e COURA, S. P. Gestão de Energia Elétrica da SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, Racionalização do Uso e Redução dos Gastos. **Revista Saneas**. n.9. VII Encontro técnico AESABESP, São Paulo, Set. 1996.

### 3.4. SETORIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Segundo Bezerra e Cheung (2013) a metodologia baseada na setorização para gestão de perdas foi introduzida, no início da década de 80, na indústria da água no Reino Unido, e tem ganhado notoriedade no controle e na gestão da distribuição de água em SAA.

O setor de abastecimento de água é a unidade básica operacional de distribuição de água, correspondente às linhas primárias e secundárias da região e que pode ser abastecida por derivação de adutoras (alimentação direta), ou por reservatório setorial (alimentação indireta), e tem como diretriz principal a definição da área de influência abastecida pelas unidades a sua montante, como reservatórios, estação elevatória de água e boosters (MOTTA, 2010).

De acordo com Yoshimoto, Tardelli Filho e Sarzedas (1998), o setor de abastecimento de água é definido pela área que é alimentada por um reservatório de distribuição destinado à regularização da vazão e ao condicionamento da pressão na rede de distribuição.

A setorização consiste no isolamento de parcela da rede através de seccionamento de tubulações ou instalações de registros a fim que a mesma opere de forma independente do restante da rede. Além disso, para o adequado controle dos setores de distribuição de água, são instalados equipamentos de monitoramento dos parâmetros hidráulicos para auxiliarem na identificação de problemas na rede (CAMPBELL et al., 2016a; CAMPBELL et al., 2016b; FONTANA; MORAIS, 2015).

A divisão da rede de distribuição de água em setores é uma medida que possibilita o melhor gerenciamento da produção do sistema, tornando a identificação de falhas na rede e as ações de correção, tarefas mais simples. De acordo com Dantas, Gonçalves e Machado (1999), a setorização deve ser a primeira atividade no controle de perdas por possibilitar a tomada de decisões de forma mais eficiente na redução de perdas através do tratamento isolado de um dado setor.

Vale destacar que a prática da setorização tem implicações positivas do ponto de vista energético, já que melhora o controle do volume de água desperdiçado na rede de distribuição, o qual é relacionado com a despesa dos SAA's por possuir agregado o valor de energia elétrica consumida em todas as estações elevatórias instaladas a montante da rede de distribuição (SANTOS, 2015; PEREIRA; CONDURÚ, 2014).

Para adequado controle de pressão e redução de perda de água em setores de abastecimento de água, devem ser estrategicamente instalados equipamentos de medição permanente e pontos de acesso para monitoramentos temporários dos parâmetros hidráulicos. Além disso, para a identificação das perdas de água, devem ser instalados macromedidores de vazão do volume de água que entra no setor, e micromedidores de vazão nos pontos de consumo, sendo a diferença entre esses dois valores, o volume de água perdido.

Biasutti (2016), em sua pesquisa realizada com 42 prestadores de serviço de abastecimento de água, identificou que a 47,6% dos participantes responderam que a principal estratégia para controle ativo de pressão na rede é a setorização e a utilização de válvula redutora de pressão.

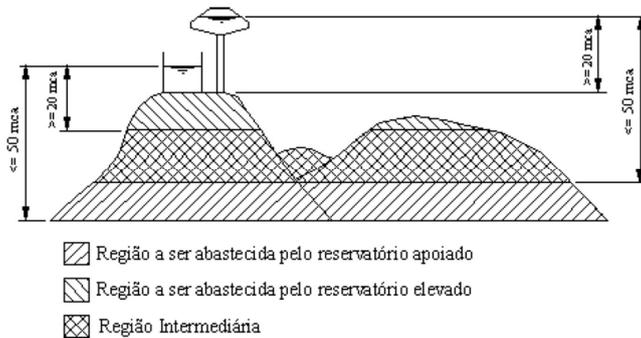
É importante destacar que a ação de criação de setores de abastecimento de água não é tarefa simples por causa da falta ou da desatualização de cadastro técnico das redes de distribuição para verificação dos limites e dos traçados da rede, bem como pela dificuldade de obtenção da estanqueidade dos setores. Além disso, pode haver ocorrência de problemas de qualidade da água e, durante a fase de implementação, a aceitação da população poderá ser baixa em função de provisórias paralisações no abastecimento de água e de redução de pressão e alguns pontos da rede.

Os setores de abastecimentos de água podem ser constituídos de uma ou mais zonas de pressão que serão determinadas em função da topografia da localidade. Na setorização são definidas as zonas de pressão levando em conta os limites de pressão, disposto na ABNT NBR 12.218 (1994), de 500 kPa de pressão estática máxima e de 100 kPa de pressão dinâmica mínima, sendo o local onde se identifica a menor pressão dinâmica denominada de ponto crítico. É importante destacar que valores da pressão estática superiores à máxima e da pressão dinâmica inferiores à mínima podem ser aceitos, desde que justificados técnica.

Motta (2010) comenta que a partir dos limites de pressão é que se inicia a concepção do setor de abastecimento de água com a definição do posicionamento e da altura dos reservatórios, os limites das zonas de pressão, as áreas abastecidas por boosters e controladas por válvulas redutoras de pressão.

Na Figura 7 é representado o abastecimento de água de uma localidade por meio de um reservatório apoiado para o abastecimento da zona de menor cota altimétrica, e um reservatório elevado para a zona de maior cota altimétrica.

Figura 7 – Setorização para abastecimento de zona alta e zona baixa



Fonte: Yoshimoto, Tardelli Filho e Sarzedas (1998)

No caso do exemplo apresentado, com a utilização de dois reservatórios com diferentes cotas para atender as zonas de pressão, existe uma região intermediária que pode ser abastecida por ambos os reservatórios.

Souza Júnior (2014) explica que a alternativa de uso de boosters para abastecimento de zonas altas ou zonas de coroa tem sido adotada em alguns sistemas, isso devido o menor custo de implantação e a maior facilidade de manutenção se comparado com os reservatórios elevados. Esses equipamentos podem ser instalados com controladores lógicos programáveis e inversores de frequência, permitindo que as pressões no setor sejam mantidas dentro dos limites recomendados.

A vantagem da utilização de reservatórios para o abastecimento do setor, em relação à utilização de estações elevatórias e boosters, é que, fazendo-se uso do volume de reservação, o bombeamento de água pode ser paralisado no setor durante as três horas de ponta do setor elétrico sem que o fornecimento de água para o cliente seja paralisado, o que tem reflexo positivo na despesa de energia elétrica. No entanto, para atender a esse objetivo de forma eficiente, os reservatórios devem ser adequadamente dimensionados.

Moreira (2018), por meio de simulação hidroenergética realizada no software EPANET 2.0, identificou valor de R\$ 0,11 por m<sup>3</sup> de água distribuída no setor estudado com este operando com o volume de reservação atualmente instalado, e valor de R\$ 0,06 por m<sup>3</sup> com o setor operando com volume de reservação calculado por método de dimensionamento

que considera a paralisação do bombeamento de água para o reservatório elevado durante as três horas de ponta do setor elétrico.

Ainda na ABNT NBR 12.218 (1994) são apresentadas algumas diretrizes para a setorização, tais como:

- a) O setor de medição deve, preferencialmente, abranger consumidores da mesma categoria residencial, comercial ou industrial.
- b) Não deve ser necessário fechar mais de 20 válvulas para isolar um setor de medição;
- c) A extensão máxima da rede abrangida pelo setor de medição é de 25 km;
- d) A alimentação do setor de medição deve ser feita pelo menor número viável de pontos;
- e) Os medidores de vazão e de pressão utilizados nos pontos de controle da rede podem ter previsão de instalação permanente ou temporária com dispositivos para sua inserção, quando da realização as campanhas de medição.

De acordo com Gonçalves e Lima (2007), nos setor de abastecimento, a operação é realizada em um ou mais subsectores denominados:

- 1) Zona de pressão – área abrangida por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados.
- 2) Setor de macromedição – parte da rede de distribuição delimitada e isolável com finalidade de acompanhar a evolução do consumo, e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida continuamente por meio de macromedidor instalado na(s) linha(s) de alimentação e de saída, quando houver transferência para outro setor.
- 3) Distrito de medição temporária – parte da rede de distribuição delimitada e isolável com a finalidade de acompanhar, temporariamente, a evolução do consumo e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida por intermédio de equipamentos portáteis ou de instalação provisória.
- 4) Setor de manobra – menor subdivisão da rede de distribuição, cujo abastecimento pode ser isolado sem afetar o abastecimento do restante da rede.

Na norma ABNT NBR 12.218 (1994) são apresentados dois tipos de setores: o setor de manobra e o setor de medição. O setor de manobra é a menor subdivisão da rede de distribuição de água em que pode ser realizado o isolamento, com paralisação do abastecimento de água para esse setor de manobra, sem afetar o abastecimento do restante da rede quando necessária a realização de obras e serviços de reparos. O setor de medição é a parte da rede de distribuição de água adequadamente isolada onde são realizados os

monitoramentos das vazões de alimentação do setor e de consumo dos usuários, bem como dos valores de pressão na rede, para a avaliação das perdas de água de forma precisa.

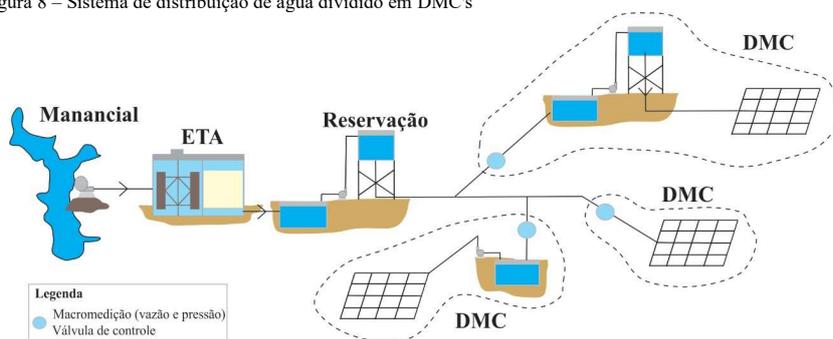
Bezerra e Cheung (2013) comentam que a delimitação de rede em setores de menores dimensões de fronteiras conhecidas e bem delimitadas pode ser denominada de Setores de Medição, Distritos de Monitoramento e Controle e Distritos de Medição e Controle (DMC). No entanto, é importante ressaltar que é comum a divisão da rede em grandes setores, que não necessariamente são DMC's.

O DMC pode ser entendido como um setor dentro de um sistema de distribuição de água no qual a vazão que entra no setor é medida e controlada, e que tem suas fronteiras criadas pelos fechamentos de válvulas ou desconexão de tubulações que, anteriormente, as interligavam com o restante da rede de distribuição (BEZERRA; CHEUNG, 2013; WATER AUTHORITIES ASSOCIATION AND WATER RESEARCH CENTRE, 1980).

O objetivo principal do DMC é reduzir as perdas reais a um nível economicamente aceitável e manter esse nível por meio da aplicação de estratégias proativas, como o controle ativo de fuga de água (CHARALAMBOUS; FOUFEAS; PETROULIAS, 2014).

Bezerra e Cheung (2013) Pontuam que, de modo geral, a adoção de DMC's permite: o conhecimento do comportamento dos consumos da localidade, a determinação da vazão mínima noturna, a agilização de identificação de ocorrência de vazamentos na rede, a otimização da gestão das perdas reais e aparentes no setor, a análise dos resultados dos dados adquiridos da rede de distribuição e a elaboração de planejamento eficaz das ações de combate à perda de água. Na Figura 8 é apresentada ilustração de um sistema de distribuição de água dividido em DMC's.

Figura 8 – Sistema de distribuição de água dividido em DMC's



No Quadro 6 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens da setorização dos sistemas de abastecimento de água.

Quadro 6 – Vantagens e desvantagens dos DCM's para os sistemas de distribuição de água

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As áreas da rede são menores e mais gerenciáveis;</li> <li>• Os vazamentos de água são identificados e remediados mais rapidamente;</li> <li>• Facilita a aplicação das ações para redução de perda de água;</li> <li>• Melhor controle das pressões no DMC.</li> <li>• Economia financeira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de qualidade da água associados a “becos sem saída” na rede;</li> <li>• Reclamações dos clientes devido à redução da pressão da água no sistema.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Charalambous, Foufeas e Petroulias (2014).

A setorização pode ocasionar a criação de pontos com baixo fluxo de água nas extremidades do setor onde foram instaladas as válvulas de isolamento. Segundo Motta (2010) o isolamento de um DMC pode ocasionar descolamento de incrustações presentes nas paredes das tubulações da rede e acúmulo de sujeira em determinados pontos, ocasionando aumento de reclamação dos consumidores.

Os DMCs podem ter dimensões variadas dependendo das características da localidade. Bezerra e Cheung (2013) comentam que DMC com mais de 5.000 propriedades possuem características que dificultam a detecção de pequenos vazamentos.

Em DMC's muito grandes, a detecção de rupturas na rede por meio de vazões mínimas noturnas é mais difícil e a localização do vazamento leva maior tempo. Por outro lado, para divisão da rede de distribuição em DMC's de menores dimensões é requerido maiores investimentos para instalação e manutenção de maior quantidade de válvulas, de medidores de vazão e de medidores de pressão (DRAGAN; FERRARI, 2014).

Pelo exposto, é possível verificar que o planejamento com destaque para o estudo de alternativas de concepção é indispensável para o uso racional de água e para a eficiência no consumo e na despesa de energia elétrica nos SAA's.

Ainda é oportuno citar que o estudo de alternativa de concepção possibilita a seleção e a tomada de decisão de forma mais segura tecnicamente, tendo reflexo direto na eficiência hidroenergética do SAA.

Além disso, de acordo com a NBR 21215-1 (2017), “O dimensionamento e a análise do funcionamento global do sistema hidráulico devem ser realizados por simulação

hidráulica”. Essas simulações devem garantir as vazões, pressões e velocidades demandadas no projeto e normatizadas.

Dessa forma, a combinação de estudo de concepção e simulação computacional é de grande importância para agilizar a análise e a tomada de decisão quando à concepção do SAA, sendo importante ferramenta na busca do atendimento aos princípios de universalização do abastecimento de água à população, de sustentabilidade econômica dos sistemas e de fomento à eficiência energética da Lei 11445 de 2007 – Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007).

## 4. METODOLOGIA

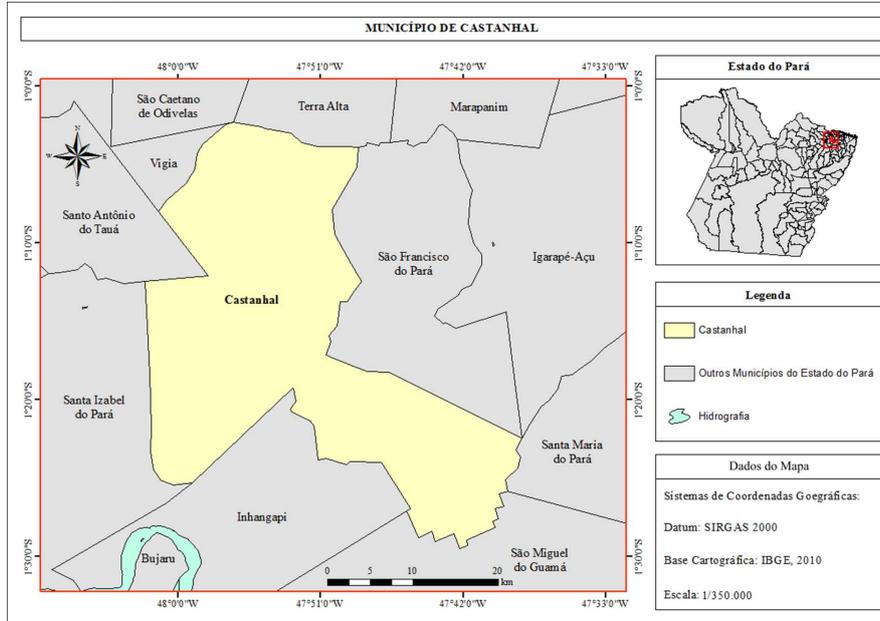
Neste capítulo são apresentados a área de estudo, os procedimentos metodológicos e as etapas desenvolvidas ao longo da pesquisa para a execução dos objetivos pretendidos. Isso possibilitou o estudo de alternativas de concepção de SAA e a simulação computacional do consumo e da despesa de energia elétrica, considerando a universalização do atendimento com abastecimento de água no período de 2017 a 2037.

A pesquisa pode ser classificada como pesquisa experimental, tendo como objeto de pesquisa o Sistema de Abastecimento de Água do município de Castanhal e as principais variáveis estudadas são os volumes de água produzidos no SAA, os valores consumidos de energia elétrica no bombeamento de água e as despesas de energia elétrica na operação do SAA.

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada foi a área urbana de Castanhal, município que pertence à mesorregião Metropolitana de Belém e à microrregião Castanhal (FAPESPA, 2016). O município é localizado no nordeste do estado do Pará a 68 km da capital paraense, tendo, em estimativa do IBGE (2017b), população de 195.253 habitantes no ano de 2017. A sede Municipal de Castanhal tem as seguintes coordenadas geográficas: 01°17'42" de latitude sul e 47°55'00" e é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Mapa de localização do município de Castanhal



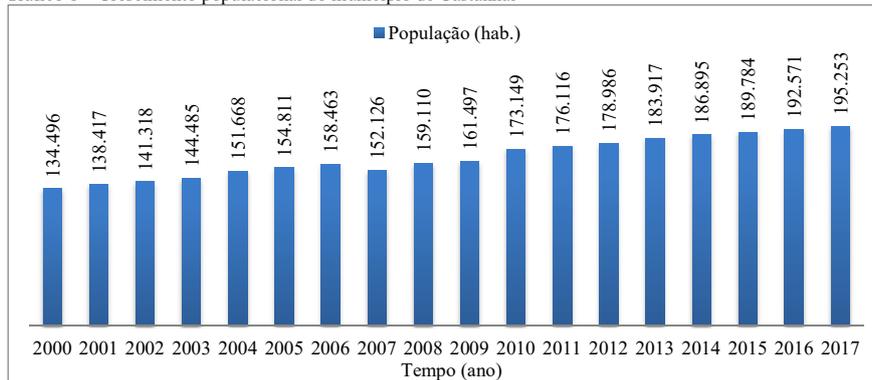
A área do município de Castanhal é de 1.028,89 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017c), tendo limite ao norte com os municípios de Terra Alta e Vigia, ao sul com o município de Inhangapi, a leste com os municípios de São Francisco do Pará, Santa Maria do Pará e São Miguel do Guamá e a oeste com os municípios de Santo Antônio do Tauá e Castanhal. A localização geográfica do município de Castanhal é estratégica para a economia do estado do Pará por ter acesso direto em rodovias que facilitam o escoamento das mercadorias e o fluxo de pessoas e serviços entre a região e a capital do Estado.

Essa localização estratégica em importantes rodovias do estado do Pará facilita o fluxo migratório e o desenvolvimento do município de Castanhal. Segundo Castanhal (2017), o município é o quinto maior gerador de emprego na indústria de transformação e o nono maior exportador do estado do Pará. Além disso, em 2016, Castanhal teve 31.463 empregos formais, sendo 55% no comércio, 22% na indústria de transformação e 18% na administração pública.

De acordo com os dados de população do município de Castanhal apresentados pelo IBGE para o ano de 2017 e os organizados por Fapespa (2016), o crescimento

populacional no município foi de cerca de 45%, passando de 134.496 hab em 2000 para 195.253 hab em 2017, como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Crescimento populacional do município de Castanhal

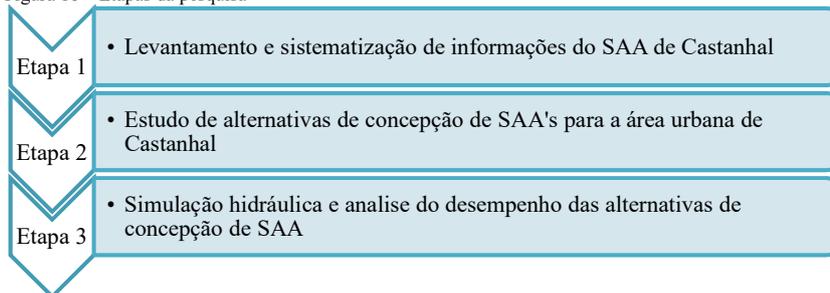


Fonte: IBGE

O município de Castanhal é dividido em dois distritos, no caso o distrito-sede Castanhal e o distrito Apeú, que são distantes cerca de 9 km se considerados os respectivos centros urbanos. Como o presente estudo foi destinado à área urbana de Castanhal, os dois distritos foram escolhidos como integrantes a área estudada.

Para contemplar os objetivos da pesquisa, foram estabelecidas três etapas ordenadas e organizadas conforme representado na Figura 10.

Figura 10 – Etapas da pesquisa



A seguir são detalhadas as etapas realizadas durante a pesquisa, sendo apresentados os materiais e métodos adotados, as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa e a ordem do seu encaminhamento.

## 4.2. ETAPA 1: LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES DO SAA DE CASTANHAL

A primeira etapa da pesquisa foi dividida em duas fases, sendo a primeira responsável pelo levantamento de informações gerais do município, e a segunda fase responsável pela caracterização do SAA do município de Castanhal, que, atualmente, é de responsabilidade da prestadora do serviço de abastecimento de água é a Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).

### 4.2.1. Fase 1.1: Levantamento das informações básicas do município de Castanhal

Nessa fase foram identificados a área territorial da zona urbana do município de Castanhal e o número de bairros que compõem essa área. Também foram identificados os principais corpos d'água superficial e subterrâneo são localizados no território do município de Castanhal e nas proximidades. Essa informação foi utilizada na Etapa 2 para a seleção dos mananciais a serem utilizados para captação de água das alternativas de concepção estudadas.

### 4.2.2. Fase 1.2: Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água

Nessa etapa foram realizadas pesquisas em documentos oficiais do município de Castanhal e da COSANPA, no Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento e no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para a caracterização do Sistema de Abastecimento de Água do município de Castanhal.

Na pesquisa foram identificadas as localidades do município de Castanhal abastecidas pela prestadora de serviço de abastecimento de água no município. Além disso, foi levantada a série história da população urbana e de população urbana atendida com abastecimento de água de 2010 a 2016 para o cálculo do índice de atendimento de população com abastecimento de água nesse período. Para a determinação do índice de atendimento com abastecimento de Água, foi utilizada a equação (4.1).

$$Ia = \frac{Pa}{Pu} \quad (4.1)$$

Onde:

Ia = índice de atendimento da população urbana com abastecimento de água (%);

Pa = população urbana atendida pelo Sistema de abastecimento de água (hab);

Pu = população urbana total (hab).

Também foram pesquisados os números de economias ativas de água, de economias inativas e de economias factíveis, bem como o número de domicílios urbanos do município de Castanhal. Esses dados foram utilizados para calcular o índice de cobertura do SAA de Castanhal utilizando a equação (4.2).

$$Ic = \frac{Eat+Ein+Efac}{Durb} \quad (4.2)$$

Onde:

Ic = índice de cobertura urbana do SAA (%);

Eat = número de economias ativas (eco);

Ein = número de economias inativas (eco);

Efac = número de economias factíveis (eco);

Durb = número de domicílios urbanos (dom).

Além disso, foi verificada a divisão da área urbana de Castanhal para o abastecimento de água e se isso ocorre de forma integrada ou de forma isolada. Também foi identificado o uso de fonte alternativa de abastecimento de água de parcela da população. Quanto às unidades do SAA de Castanhal, identificadas as seguintes informações:

- Captação: foi pesquisado o manancial em que é realizada a captação de água do SAA de Castanhal, bem como a quantidade, a localização e as características das unidades de captação;
- Tratamento: sobre o tratamento do SAA, foi pesquisado o tipo de tratamento realizado para adequação da qualidade da água para o abastecimento público e o volume de água tratado;
- Reservação: foram identificadas as unidades de reservação existentes no SAA, o tipo de reservação e se há controle de nível para operação das estações elevatórias.

- Rede de distribuição de água: foi levantada a quantidade de economias e de volume de água micromedidos no SAA de Castanhal.

Ainda foram pesquisados os valores de volume de água utilizado como água de serviço, o volume de água tratada importado e o volume de água consumido. Esses valores, juntos ao valor de volume de água produzido, foram utilizados para calcular o índice de perda na distribuição do SAA de Castanhal. Para isso, foi utilizada a equação (4.3).

$$Ip_{dist} = \frac{Vp+Vti-Vc-Vs}{Vp+Vti-V} \quad (4.3)$$

Onde:

$Ip_{dist}$  = índice de perda na distribuição (%);

$Vp$  = Volume de água produzido ( $m^3/ano$ );

$Vti$  = Volume de água tratada importado ( $m^3/ano$ );

$Vc$  = Volume de água consumido ( $m^3/ano$ );

$Vs$  = Volume de água de serviço ( $m^3/ano$ ).

Também foi identificado o valor de consumo de energia elétrica do SAA e calculado o valor de Consumo Específico de Energia Elétrica (CE) utilizando a equação (4.3).

$$CE = \frac{Ec}{Vp} \quad (4.3)$$

Onde:

CE = Consumo específico de energia elétrica ( $kWh/m^3$ );

$Ec$  = Energia elétrica consumida ( $kWh/ano$ );

$Vp$  = Volume de água produzido ( $m^3/ano$ ).

Como o valor de CE e o volume de água perdido no SAA, foi estimado valor de energia elétrica desperdiçada em decorrência do volume de água perdido na distribuição do SAA. Em seguida, foram pesquisados os valores discriminados de despesa de exploração do SAA, no caso, despesas com pessoal próprio, com produtos químicos, com energia elétrica, com serviços de terceiros, despesas fiscais ou tributárias computadas e outras despesas. Foi identificado o valor percentual da despesa de energia elétrica na despesa de exploração do

SAA. Por fim, foi calculado o valor de Despesa Específica de Energia Elétrica (DE) utilizando a equação (4.4).

$$DE = \frac{Den}{Ec} \quad (4.4)$$

Onde:

CE = Consumo específico de energia elétrica (kWh/m<sup>3</sup>);

Den = Despesa de energia elétrica (R\$/ano).

Vp = Volume de água produzido (m<sup>3</sup>/ano).

#### 4.3. ETAPA 2: ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DE SAA'S PARA A ÁREA URBANA DE CASTANHAL

Nessa etapa foram estudadas duas alternativas de concepção do SAA, observando o arranjo de unidades em função das recomendações da ABNT NBR 12.211/1992 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Essa etapa foi realizada nas três fases descritas a seguir.

##### 4.3.1. Fase 2.1: Projeção populacional

Nessa fase foi pesquisada a projeção populacional para o município de Castanhal no período de 2017 a 2037. Para isso, foram consultados dados do Plano Estadual de Saneamento Básico, sendo identificada a parcela da projeção referente à população urbana, a qual foi utilizada no desenvolvimento da presente pesquisa.

##### 4.3.2. Fase 2.2: Caracterização das alternativas de concepção do SAA

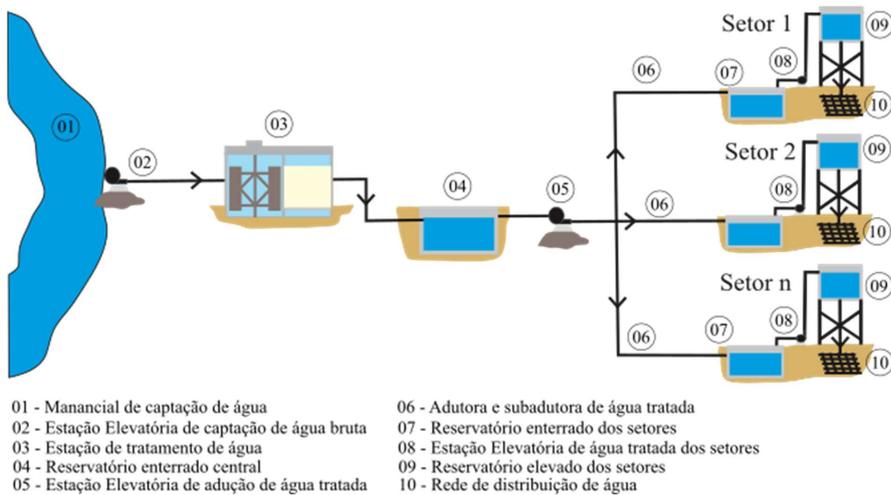
Nessa fase foram estudadas duas alternativas de concepção de abastecimento de água com a captação de água sendo realizada em mananciais superficiais situados nas proximidades da área urbana de Castanhal.

Para isso, foram selecionados os mananciais superficiais para a realização da captação de água das alternativas de concepção, como critério para a seleção dos mananciais foram adotados os seguintes critérios: a) está localizado nas proximidades da região urbana do

município de Castanhal e b) ter vazão com capacidade para abastecer a população do último ano do horizonte de projeto.

Nas concepções estudadas foi adotada a localização da Estação de Tratamento de Água (ETA) nas proximidades do manancial superficial. Também foi previsto que a água tratada seria armazenada no reservatório enterrado da ETA e, então, bombeada e aduzida para os setores de abastecimento de água da área urbana. Nos setores, a água seria distribuída para a população. A distribuição de água adotada para o presente estudo foi realizada por setores de abastecimento de água conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Esquema ilustrativo do arranjo das concepções



Também, foram selecionadas pontos para a instalação das unidades de reservação e de elevação dos setores dentro das áreas dos setores de abastecimento. Os critérios para a seleção desses pontos foram: a) a cota de terreno deveria ser a maior possível dentro da área dos setores e b) os pontos selecionados não poderiam ter área construída.

Com o auxílio do Software Google Earth, foram identificadas as distâncias e as cotas altimétricas das unidades de elevação e de reservação para a determinação do comprimento das tubulações de sucção, barrilete e recalque, e das alturas geométrica de bombeamento das unidades de elevação de água.

As duas concepções do SAA estudadas tiveram a mesma divisão dos setores de abastecimento de água, os quais tiveram limites estabelecidos no Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Castanhal, elaborado em 2009.

Com o SAA dividido em setores, foi necessário calcular a população no horizonte de projeto (2017-2037). Para isso, foi identificado o percentual populacional de cada área dos setores em relação à população total do município e pelo produto dos percentuais de população dos setores com os valores de população urbana projetados, foram calculadas as populações de cada área dos setores de 2017 a 2037.

Em seguida, foram identificadas as demandas médias diárias de água de cada setor para os anos do horizonte de projeto. Para isso, foram pesquisados documentos oficiais da COSANPA e no SNIS e obtidos os dados de demanda per capita de água.

Utilizando os valores de população projetada dos setores, de demanda per capita e a equação (4.5), foram calculados os valores de demanda de água para os anos do horizonte de projeto (2017-2037).

$$D = P \times q \quad (4.5)$$

Onde:

D = Demanda de água (m<sup>3</sup>/d);

P = População do ano de referência (hab);

q = demanda per capita de água (m<sup>3</sup>/hab.d)

#### **4.3.3. Fase 2.3: Dimensionamento das unidades do SAA**

Nessa fase, foram realizados os dimensionamentos das unidades de elevação de água bruta, de reservação e de elevação de água tratada das alternativas de concepção de SAA. Para o dimensionamento das unidades de reservação, foram utilizados dois métodos diferentes de dimensionamento, sendo um aplicado para o dimensionamento do Reservatório Enterrado da ETA (RENTeta) e o outro aplicado para o dimensionamento dos Reservatórios Enterrados dos setores (RENT-S) e Elevados (REL-S).

Para o dimensionamento do RENTeta, foi utilizada a equação (5.9) apresentada por Heller e Pádua (2016) para o cálculo da capacidade mínima de reservação acrescida de coeficiente de segurança (C).

$$V_{res} = C \times \frac{k_2 - 1}{\pi} \times 24 \times k_1 \times \bar{Q} \quad (4.6)$$

Onde:

$V_{res}$  = volume de reservação (m<sup>3</sup>);

$k_1$  = coeficiente do dia de maior consumo;

$k_2$  = coeficiente da hora de maior consumo;

$\bar{Q}$  = Vazão média horária (m<sup>3</sup>/h);

$C$  = Coeficiente de segurança;

A equação (4.6) de capacidade mínima de reservação foi utilizada para o dimensionamento do RENTeta para que o seu volume de reservação atenda à necessidade dos sistemas sem que seja maior do que o necessário.

Para o dimensionamento do volume total de reservação de água das unidades de reservação dos setores, foi utilizada a equação (4.7) apresentada por Heller e Pádua (2016) e Tsutiya (2006).

$$V_{res} = \frac{1}{3} \times D_{dia} \times k_1 \quad (4.7)$$

Onde:

$k_1$  = coeficiente do dia de maior consumo;

$D_{dia}$  = demanda média diária de água (m<sup>3</sup>/dia).

As equações (4.6) e (4.7) foram desenvolvidas utilizando a vazão média horária total de final de plano, bem como o valor de 1,2 para  $k_1$ , de 1,5 para  $k_2$  e de 1,2 para  $C$ . No caso dos volumes de reservação dos setores, do volume total calculado, 80% foram adotados para a unidade de reservação enterrada e 20% para a unidade de reservação elevada.

Para o RENTeta foi utilizado 7 m de altura útil e para os reservatórios elevados e enterrados foram consideradas altura útil de 7 m e de 4 m, respectivamente. Além disso,

foram utilizados 0,5 m entre o fundo do reservatório e o nível mínimo de água, e 0,5 m entre nível máximo de água e o teto do reservatório, totalizando 8,0 m de altura para os reservatórios elevados e 5,0 m de altura para os reservatórios enterrados. As cotas das unidades de reservação água foram identificadas com o auxílio do software Google Earth, com o qual é possível visualizar a cota da superfície do solo.

A forma geométrica da base dos reservatórios foi considerada circular para facilitar a simulação no software EPANET 2.0. Assim, utilizando o volume de reservação e as alturas dos reservatórios, foram calculados os diâmetros das unidades de reservação.

Para o dimensionamento dos CMB's das estações elevatórias de água, foi necessário determinar as vazões de bombeamento e as suas alturas manométricas de operação. Para a determinação da vazão de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta (EAB) de captação, foi utilizada a equação (4.8).

$$Q_{CAP} = \frac{\bar{Q} \times k_1 \times \left(1 + \frac{q_{ETA}}{100}\right)}{t} \quad (4.8)$$

Onde:

$Q_{CAP}$  = Vazão de captação de água (m<sup>3</sup>/d);

$\bar{Q}$  = Vazão média demandada de água do SAA (m<sup>3</sup>/d);

$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

$q_{ETA}$  = Consumo de água na estação de tratamento de água (%);

$t$  = tempo de operação da estação elevatória por dia (h/dia).

Para a determinação da vazão da Estação Elevatória de Água Tratada da ETA (EATeta) de adução foi utilizada a equação (4.9).

$$Q_{AAT} = \frac{\bar{Q} \times k_1}{t} \quad (4.9)$$

Onde:

$Q_{AAT}$  = Vazão de adução de água (m<sup>3</sup>/h);

$\bar{Q}$  = Vazão média demandada de água no SAA (m<sup>3</sup>/d);

$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

$t$  = tempo adotado de operação da estação elevatória por dia (h/dia).

E para a determinação da vazão das Estações Elevatórias de Água Tratada dos Setores (EAT-S), foi utilizada a equação (4.10).

$$Q_{setor} = \frac{\bar{Q}_{setor} \times k_1 \times k_2}{t} \quad (4.10)$$

Onde:

$Q_{setor}$  = Vazão de adução de água do setor ( $m^3/h$ );

$\bar{Q}_{setor}$  = Vazão média demandada por setor de abastecimento de água ( $m^3/d$ );

$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

$k_2$  = Coeficiente da hora de maior consumo (adimensional);

Para a presente pesquisa foi adotado o valor de 1,2 para o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ). As vazões médias demandas de água utilizadas para o dimensionamento das estações elevatórias foram as demandas médias de final de plano dos setores e total. O valor percentual de consumo na ETA utilizado na equação (4.8) foi identificado nos resultados da pesquisa. O tempo de operação adotado foi de 20 horas de bombeamento por dia com a finalidade de possibilitar: a) a paralisação do bombeamento de água nas três horas do horário de ponta do setor elétrico e b) a adoção de uma hora de paralisação do bombeamento de água para eventuais paralisações para manutenção do sistema de abastecimento.

Os valores de vazões de bombeamento foram divididos para o número de CMB's em operação no final de plano, no caso, quatro CMB's. Esse valor de vazão de bombeamento por CMB foi utilizado para a determinação da altura manométrica de operação e para a seleção do modelo de CMB para as estações elevatórias.

As vazões de bombeamento dos CMB's da EAB, da EATeta e das EAT-S foram utilizadas como valor de referência para verificar quantos CMB's seriam necessários para operar no ano de início de plano (2017) e por quantas horas por dia eles operariam para atender a vazão demandada de água na captação.

Em seguida, foram calculados os diâmetros das tubulações das estações elevatórias, das adutoras e subadutoras. Para isso, foram consultados os valores limites de velocidade nas tubulações de sucção, de barrilete, de recalque e de adução nas normas técnicas da ABNT conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Limites de velocidades de acordo com as normas técnicas

Limite	Sucção NBR 12.214 (1992)		Barrilete NBR 12.214 (1992)		Adutora NBR 12.215 (2017)	
	Material transportado	Velocidade (m/s)	Velocidade (m/s)		Tipo de água	Velocidade (m/s)
<b>Mínimo</b>	Matéria orgânica	0,30	0,60		Água bruta	0,60
	Suspensões siltosas	0,30			Água tratada	0,30
	Suspensões arenosas	0,45				
<b>Máximo</b>	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Material	Velocidade (m/s)	Velocidade (m/s)	
	50	0,70	Aço ou ferro fundido	3,00	3,00	
	75	0,80				
	100	0,90				
	150	1,00				
	200	1,10				
	250	1,20				
	300	1,40				
≥400	1,50					

Com isso, foram calculados os valores de altura manométrica das estações elevatórias de água utilizando os parâmetros de altura geométrica (referente à diferença de cota do ponto de onde se é captada a água e a cota do ponto para onde a água é destinada) e de perda de carga total proveniente do deslocamento da água nos condutos. Para a identificação da altura manométrica, foi utilizada a equação (4.11).

$$H_{man} = H_g + h_{f_{total}} \quad (4.11)$$

Onde:

$H_{man}$  = altura manométrica (m);

$H_g$  = altura geométrica (m);

$h_{f_{total}}$  = perda de carga (m).

As alturas geométricas das estações elevatórias de água foram identificadas a partir dos níveis de água das unidades de reservação, sendo usado para na altura geométrica de sucção o nível mínimo de água no reservatório de sucção, e para altura geométrica de recalque a cota de chegada da tubulação. Já para a identificação dos valores de perda de carga total, foram utilizados os valores das perdas de cargas ao longo da tubulação e as perdas de

cargas localizadas provocadas por peças especiais e demais singularidades do sistema hidráulico. A Equação (4.12) foi utilizada para calcular a perda de carga total.

$$hf_{total} = hf_{dist} + hf_{loc} \quad (4.12)$$

Onde:

$hf_{dist}$  = perda de carga distribuída (m),

$hf_{loc}$  = perda de carga localizada (m).

Para a identificação da perda de carga localizada, foi utilizada a expressão geral das perdas localizadas conforme a equação (4.13).

$$hf_{loc} = K \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (4.13)$$

Onde:

$hf_{loc}$  = perda de carga localizada (m).

K = coeficiente de perda de carga localizada (adimensional);

v = velocidade do fluido (m/s);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Os valores de k utilizado nos dimensionamentos das estações elevatórias de água são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de k utilizados na pesquisa

Peça	Valor de k	Peça	Valor de k
Curva longa 90°	0,4	Válvula de pé	4,0
Curva de 22,5°	0,1	Válvula borboleta	0,5
Curva longa 45°	0,2	Crivo	3,0
Tê de passagem direta	0,6	Redução excêntrica	0,4
Tê bifurcação simétrica	1,5	Ampliação concêntrica	0,3
Tê de saída lateral	1,4	Saída de tubulação	1,0
Retenção	2,5	-	-

Os valores de k foram adotados das faixas de valores de k apresentados por Azevedo Netto e Fernández (2015).

Para a identificação da perda de carga distribuída foi utilizada a fórmula de Darcy-Weisbach (ou fórmula Universal) conforme a equação (4.14).

$$hf_{dist} = f \times \frac{L \times v^2}{d \times 2 \times g} \quad (4.14)$$

Onde:

$hf_{dist}$  = perda de carga distribuída (m),

f = coeficiente de atrito (adimensional);

L = comprimento da canalização (m);

v = velocidade do fluido (m/s);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Para a determinação do valor do coeficiente de atrito (f) da equação (4.14) foram utilizadas as mesmas equações adotadas no software EPANET 2.0, que realiza simulações hidráulicas pelo método de Darcy-Weisbach. No caso, são adotadas, no EPANET, a fórmula de Hagen-Poiseuille (4.15) para fluxos de água com valores de Número de Reynolds inferiores a 2.000, a interpolação cúbica a partir do ábaco de Moody para valores de entre 2.000 e 4.000 e a fórmula de Swamee e Jain (4.16) para valores superiores a 4.000.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (4.15)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \times D_i} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (4.16)$$

Onde:

f = coeficiente de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

$\varepsilon$  = rugosidade absoluta (m);

D = diâmetro interno do tubo (m).

De acordo com Haktanir e Ardiçlıoğlu (2004), a equação de Darcy-Weisbach para a perda de carga em tubos resulta em precisão melhor que outras equações, como Hazen-Williams, porque o fator de atrito que envolve é determinado como uma função tanto da rugosidade relativa da parede do tubo quanto do número de Reynolds. O valor de rugosidade absoluta utilizado no dimensionamento das estações elevatórias de água foi de 0,075, que é o valor recomendado por Azevedo Netto e Fernández (2015) de para tubulações de ferro fundido dúctil e aço com revestimento permanente (epóxi).

No caso do presente estudo, foi adotado tubulação de ferro fundido dúctil para compor o sistema hidráulico. O Número de Reynolds foi calculado pela equação (4.17).

$$Re = D_i \times \frac{v}{\nu_{cn}} \quad (4.17)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds (adimensional);

$D_i$  = diâmetro interno da tubulação (m);

$v$  = velocidade do fluido (m/s);

$\nu_{cn}$  = viscosidade cinemática ( $m^2/s$ ).

Com os valores de vazão por CMB e de altura manométrica, foram selecionadas os modelos de bomba e identificados os valores das curvas de bombeamento e de rendimento para serem utilizados na simulação hidráulica das alternativas de concepções de SAA na Etapa 3.

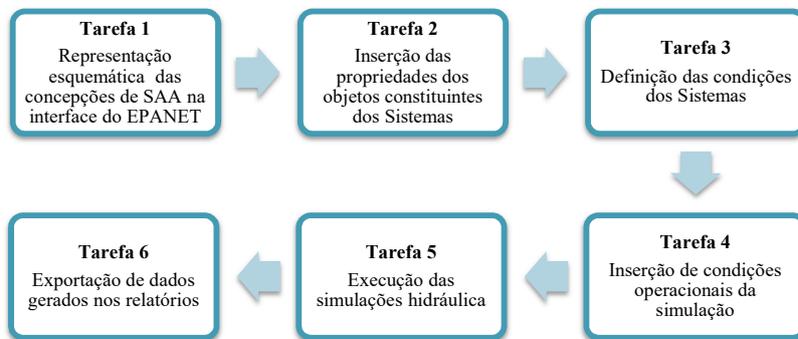
#### 4.4. ETAPA 3: SIMULAÇÃO HIDRÁULICA E ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO DE SAA

Nessa etapa foram realizadas as simulações hidráulicas das alternativas de concepção de abastecimento de água estudadas no software EPANET 2.0, analisado o comportamento operacional das concepções e identificando os seus valores de consumo e de despesa de energia elétrica no horizonte de projeto (2017-2037). Para isso, foram realizadas as fases descritas a seguir:

#### 4.4.1. Fase 3.1: Simulação hidráulica das alternativas de concepção

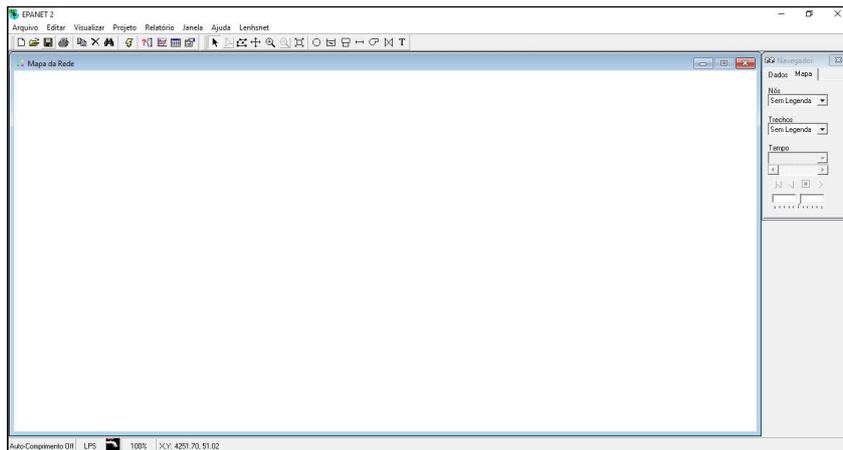
As simulações hidráulicas para a geração dos dados de operação das duas alternativas de concepção de SAA foram realizadas em seis tarefas, conforme apresentado no fluxograma apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Fluxo de tarefas para simulação hidráulica e geração de dados



Assim, para a realização da simulação hidráulica, foi desenhada a representação esquemática das alternativas de concepção de abastecimento de água na interface do Software EPANET 2.0 (Figura 13).

Figura 13 – Interface do EPANET 2.0



Na interface do EPANET 2.0 foram inseridos os objetos físicos (nós e trechos) que constituem os sistemas das alternativas de concepção. Os objetos físicos disponíveis no EPANET e as informações neles inseridas para a simulação das alternativas de concepção são apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Informações dos objetos físicos do EPANET 2.0

Nós			Trechos		
Nó	RNF <sup>11</sup>	RNV <sup>12</sup>	Trecho	Bomba	Válvula
					
Cota	Nível de Água	Cota	Comprimento	Curva da Bomba	Diâmetro
Consumo-Base	-	Altura de Água Inicial	Diâmetro	Estado Inicial (Lig./Deslig.)	Tipo
Padrão de Consumo	-	Altura de Água Mínima	Rugosidade	Curva de Rendimento	Parâmetro de Controle
-	-	Altura de Água Máxima	Coef. Perda de Carga Singular	-	-
-	-	Diâmetro da base	-	-	-

Os objetos físicos do EPANET 2.0 tiveram as utilidades descritas a seguir para simulação das alternativas de concepção:

- **Nó:** foi utilizado como ponto de conexão dos diferentes trechos de tubulação, bombas e válvulas; e como nó de consumo representando os consumos de água das redes de distribuição dos setores;
- **RNF:** foi utilizado para simular os mananciais de água adotados nas alternativas de concepção de SAA;
- **RNV:** foi utilizado para simular as os reservatórios enterrados e elevados;
- **Trecho:** foi usado para simular as tubulações de sucção, de barrilete, de recalque, das adutoras, das subadutoras e as demais tubulações dos sistemas hidráulicos das alternativas de concepção de abastecimento de água. Em alguns trechos também foram inserida a característica de válvula de retenção, a qual permite o fluxo de água em apenas uma direção;
- **Bomba:** foi utilizado para simular a operação dos CMB's selecionados para as estações elevatórias das alternativas de concepção;

<sup>11</sup> Reservatório de Nível Fixo

<sup>12</sup> Reservatório de Nível Variado

- **Válvula:** foi utilizado como Válvula Sustentadora de Pressão para modelar a entrada de vazão de água na cota superior dos RNV, no caso, dos reservatórios enterrado e elevados dos sistemas.

Para a simulação do consumo de água nos setores de abastecimento de água, foi utilizado o valor de demanda média horária de água para o respectivo setor de abastecimento. Para simular a variação do consumo de água ao longo das 24 horas do dia, foram inseridos como padrão temporal, valores de fator multiplicativo nos Nós de consumo de água. Os fatores multiplicativos adotados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de fator multiplicativo de vazão de consumo horário

Hora	Fator multiplicativo	Hora	Fator multiplicativo
1h00	0,56	13h00	1,40
2h00	0,56	14h00	1,38
3h00	0,55	15h00	1,34
4h00	0,55	16h00	1,25
5h00	0,56	17h00	1,15
6h00	0,65	18h00	1,16
7h00	0,91	19h00	1,35
8h00	0,91	20h00	1,18
9h00	0,89	21h00	1,07
10h00	1,01	22h00	1,06
11h00	1,27	23h00	0,96
12h00	1,50	24h00	0,78

Nas simulações, os valores horários de vazão de consumo dos Nós que representam a rede de distribuição dos setores foram gerados pelo produto dos valores demanda média horária de água e os valores de fator multiplicativos para os horários correspondentes das simulações.

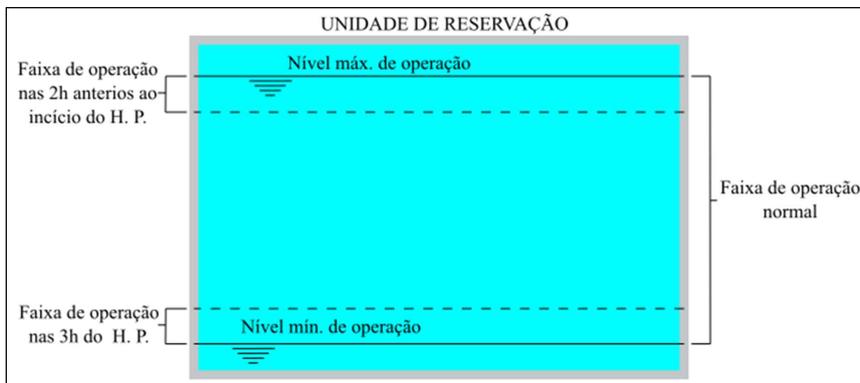
Também foram inseridas as características das bombas selecionadas no EPANET 2.0, tais como as curvas de operação das bombas e as curva de rendimento. Para a simulação hidráulica, foi definida como fórmula para o cálculo de perda de carga a equação de Darcy-Weisbach.

Para a operação das estações elevatórias de água e das unidades de reservação, foram inseridos comandos de controle objetivando reduzir o funcionamento do bombeamento de água no horário de ponta do setor elétrico (18h30-21h30). Os controles são descritos a seguir:

- **Controle 1:** Nas duas horas anteriores ao instante de início do horário de ponta do setor elétrico (16h30-18h30), os CMB's operaram em faixa de nível próxima ao nível máximo de reservação para manter os valores de volume de água reservado próximos à capacidade máxima de reservação no instante de início do horário de ponta.
- **Controle 2:** No instante de início do horário de ponta, os CMB's das estações elevatórias são desligados, voltando a funcionar no instante em que o nível mínimo de reservação é atingido. A faixa de nível de operação das bombas nas três horas do horário de ponta é reduzida para que os CMB's recalquem apenas o volume de água necessário para manter o abastecimento da rede.
- **Controle 3:** Fora do período dos Controles 1 e 2, os CMB's operam nas capacidades normais de reservação de acordo com os níveis máximo e mínimo.

Os controles dos CMB's utilizados nas simulações hidráulicas em função dos níveis de reservação são ilustrados na Figura 14.

Figura 14 – Ilustração dos níveis de operação das unidades de reservação



As simulações das duas alternativas de concepção foram do tipo “dinâmica”, com tempo de simulação de um mês, considerando 30 dias por mês (720 h/mês). Além disso, foram considerados os valores de intervalo de cálculos hidráulicos<sup>13</sup> e de intervalo de tempo de relatório<sup>14</sup> iguais a 1 min (um minuto) para a visualização mais detalhada do

<sup>13</sup> Intervalo de tempo entre cálculos hidráulicos do sistema

<sup>14</sup> Intervalo de tempo entre os registros dos resultados da simulação para o relatório.

comportamento dos sistemas simulados e para o cálculo mais preciso de consumo e despesa de energia elétrica.

Dessa forma, por simulação hidráulica foram gerados 43.200 minutos de relatório. Como foram realizadas simulações hidráulicas das duas alternativas de concepção estudadas para cinco anos do horizonte de projeto (2017, 2022, 2027, 2032 e 2037), foram gerados nas 10 simulações hidráulicas 432.000 minutos de relatório.

#### 4.4.2. Fase 3.2: Análise das simulações das alternativas de concepção

Nessa fase foi analisado o comportamento operacional das duas alternativas de concepção de SAA no trigésimo dia da simulação hidráulica do ano 2037. A análise foi realizada de forma separada por grupos de elevação e reservação. Os grupos e os dados analisados resultantes das simulações foram os seguintes:

- **Grupo 1:** Nesse grupo foram analisados os comportamentos da EAB, do RENTeta e da EATeta. Os dados analisados foram: vazão de captação, nível de água no RENTeta e vazão de adução de água tratada da EATeta;
- **Grupo 2:** Nesse grupo foram analisados os comportamentos das EAT-S, dos RENT-S e dos REL-S. Os dados analisados foram: vazão de adução de chegada aos RENT-S, nível de água nos RENT-S, vazão de bombeamento das EAT-S, nível de água nos REL-S e vazão de distribuição de água.

Em seguida foram determinados os valores de consumo de energia elétrica das alternativas de concepção. Como o software EPANET 2.0 não apresenta relatório de potência ativa em cada instante de simulação, foi utilizada a equação (4.18) para o cálculo das potências ativas.

$$P = \frac{\gamma \times Q \times Hman}{\eta} \quad (4.18)$$

Onde:

P = Potência ativa (kW);

$\gamma$  = peso específico da água (kN/m<sup>3</sup>);

$Q$  = Vazão de bombeamento ( $m^3/s$ );

$H_{man}$  = Altura manométrica (m);

$\eta$  = Rendimento (%).

No entanto, devido à simulação no EPANET 2.0 não gera o valor de rendimento em cada instante de relatório, foi utilizada o software Excel para a criação de equação de regressão polinomial de quarta ordem com linha de tendência tendo como variável independente o parâmetro “vazão” e como variável independente o parâmetro “rendimento”, e a partir das equações de regressão polinomial e do valor de vazão de bombeamento, foram calculados os valores de rendimento dos CMB's para cada instante simulado e, então, calculados os valores potência ativa de bombeamento.

Para o cálculo do valor de consumo de energia elétrica simulado das estações elevatórias, foi utilizada a equação (4.19).

$$C_{e_{bomb}} = P_{média} \times T \quad (4.19)$$

Onde:

$C_{e_{bomb}}$  = consumo de energia elétrica no bombeamento de água num determinado período de tempo (kWh);

$P_{média}$  = potência ativa média consumida num determinado período de tempo (kW);

$T$  = tempo referente ao período de cálculo do consumo de energia elétrica (h);

Na presente pesquisa, o consumo de energia elétrica foi calculado para dois períodos distintos do dia, no caso, para o horário de ponta (18h30-21h30) e para o horário fora de ponta (21h30-18h30) do setor elétrico. Com os valores de consumo de energia elétrica desses dois períodos, foram determinados os valores totais de consumo de energia elétrica no bombeamento de água das duas alternativas de concepção.

Porém, como em SAA's ocorrem outros consumo de energia elétrica além de no bombeamento de água (Ex: ETA, prédios administrativos e entre outros), no presente estudo, conforme comentado Gomes (2012), Brandt et al (2011); Brandt, Middleton, Wang (2010); e Ormsbee e Walski <sup>15</sup>(1989; apud Sobrinho e Borja, 2016), foi considerado que a energia

<sup>15</sup> ORMSBEE, Lindell & WALSKI, Tom. Identifying Efficient Pump Combinations. Journal American Water Works Association. v.81. 1989.

elétrica consumida no bombeamento de água representou 90% do consumo total de energia elétrica do SAA, tendo o consumo na ETA e em outras partes do SAA representado 10%. Assim, o consumo de energia elétrica total do SAA foi calculado utilizando a equação (4.20).

$$Ce_{total} = Ce_{bomb} \times \left( \frac{1}{1 - PC_{outros}} \right) \quad (4.20)$$

Onde:

$Ce_{total}$  = consumo total de energia elétrica no SAA

$Ce_{bomb}$  = consumo de energia elétrica no bombeamento de água (kWh);

$PC_{outros}$  = Percentual de consumo de energia elétrica na ETA e outros consumos (kWh).

Também foram identificados os percentuais de consumo de energia elétrica das estações elevatórias em relação a consumo total de energia elétrica das alternativas de concepção. Além disso, foram discriminados os valores de consumo de energia elétrica no horário de ponta e no horário fora de ponta do setor elétrico, bem como calculado os valores de CE das estações elevatórias e de CE global das duas alternativas de concepção de SAA estudadas.

Em seguida, para calcular os valores de despesa de energia elétrica, foi aplicada a metodologia apresentada por Gomes (2012, p. 439), com o acréscimo das tarifas de PIS e COFINS. Para tanto, foi empregada a equação (4.21).

$$Den = [(FC + FD + FER + FDR) \times (1 - desc) + FU] \times \left( \frac{1}{1 - PIS - COFINS} \right) + outros \quad (4.21)$$

Onde:

Den = Despesa de energia elétrica (R\$);

FC = Fatura de consumo de energia elétrica ativa (R\$);

FD = Fatura de demanda energia elétrica ativa (R\$);

FER = Fatura de consumo de energia elétrica reativa (R\$);

FDR = Fatura de demanda de energia elétrica reativa (R\$);

FU = Faturado de demanda de ultrapassagem (R\$);

Desc = Valor de desconto (%);

PIS = Taxa dos programas de integração social e de formação do patrimônio do serviço público (%);

COFINS = Taxa de contribuição para financiamento da seguridade social (%);

ICMS = Taxa do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (%);

Outros = outros valores de despesa eventuais acrescidos (R\$).

Para o cálculo do valor da fatura de consumo de energia elétrica ativa, foi utilizada a equação (4.22).

$$FC = Ce_p \times Tc_p + Ce_{fp} \times Tc_{fp} \quad (4.22)$$

Onde:

$Ce_p$  = Valor de energia elétrica ativa consumida no horário de ponta (kWh);

$Tc_p$  = Tarifa de consumo de energia elétrica do horário de ponta (R\$);

$Ce_{fp}$  = Valor de energia elétrica consumida no horário fora de ponta (kWh);

$Tc_{fp}$  = Tarifa de consumo de energia elétrica do horário fora de ponta (R\$);

A equação (4.23) foi utilizada para calcular o valor faturado de demanda de energia elétrica ativa.

$$FD = Dc \times Td \quad (4.23)$$

Onde:

$Dc$  = Valor demandado de energia ativa contratada (kW);

$Td$  = Tarifa de demanda de energia elétrica ativa (R\$/kW).

O valor de demanda de energia elétrica contratada para a operação do SAA foi igual à soma das potências nominais mais próximas das potências máximas de operação dos CMB's. Devido o arredondamento para os valores nominais de potência elétrica, valor superior aos efetivamente demandados pelos CMB's, não foi considerado o valor de demanda de energia referente ao consumo de energia na ETA e em outras partes do SAA.

O valor faturado do consumo de energia elétrica reativa excedente pode ser calculado com a equação (4.24).

$$FER = Ce \times \left( \frac{fr}{ft} - 1 \right) \times Tc \quad (4.24)$$

Onde:

fr = Valor de fator de potência de referência;

ft = Valor de fator de potência da instalação elétrica;

Tc = Tarifa de consumo de energia elétrica (R\$/kWh).

Para o cálculo do valor faturado de demanda de energia elétrica reativa excedente é usada a equação (4.25).

$$FDR = \left[ \left( Dm \times \frac{fr}{ft} \right) - Dc \right] \times Td \quad (4.25)$$

Onde:

Dm = Valor de demanda de energia elétrica ativa monitorada (kW).

Com a equação (4.26) é possível calcular o valor faturado de demanda de ultrapassagem.

$$FU = Duf \times Tud \quad (4.26)$$

Onde:

FU = Fatura de demanda de ultrapassagem (R\$);

Duf = Valor de demanda e ultrapassagem de energia elétrica faturável (kW);

Tud = Tarifa de ultrapassagem faturável de demanda de energia elétrica (R\$/kW).

Assim, foi calculada a despesa de energia elétrica mensal simulada das duas alternativas de concepção no ano de final de plano (2037) e identificado os percentuais de participação dos componentes da fatura de energia elétrica no valor total de despesa de energia, além de calculados os valores de DE das alternativas de concepção.

Em seguida, utilizando os valores de despesa de energia elétrica calculados para os cinco anos estabelecidos (2017, 2022, 2027, 2032 e 2037), foram estimadas as despesas de

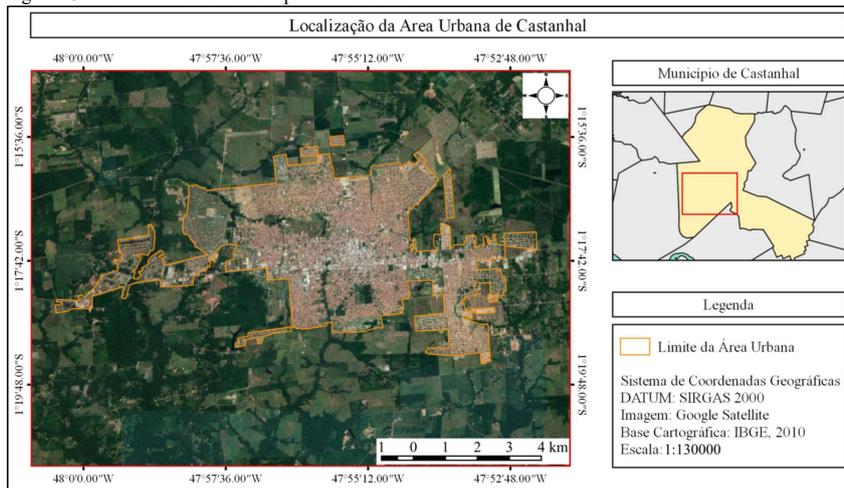
energia elétrica dos demais anos do horizonte de projeto. Com esses dados, foi possível calcular os valores projetados de despesa de energia elétrica para as duas alternativas de concepção estudadas. Em seguida, foi identificada a alternativa mais econômica do ponto de vista energético e quantificando a economia no valor de despesa de energia elétrica da alternativa mais econômica em relação à alternativa mais dispendiosa.

Por fim, utilizando os resultados de população total, de população atendida, de volume de água produzido, de consumo de energia elétrica e de despesa de energia elétrica das alternativas de concepção no primeiro ano de horizonte de projeto (2017), foi realizada comparação com o SAA atualmente em operação no município de Castanhal.

## 5. RESULTADOS

A área urbana do município de Castanhal é constituída pelo distrito-sede de Castanhal e pelo distrito de Apeú. De acordo com Castanhal (2006), a área urbana do município é de 40,80 km<sup>2</sup>, representando apenas 3,97% da área total. A localização da área urbana de Castanhal é apresentada na Figura 15.

Figura 15 – Área Urbana do município de Castanhal



Quanto aos recursos hídricos, o município de Castanhal pertence à Região Hidrográfica Costa Atlântico Nordeste Ocidental, que é constituída pelas bacias dos rios Guamá-Moju, Gurupí e pelas bacias da região do Atlântico (PARÁ, 2005). Os principais rios do Município de Castanhal são os rios Inhangapi, Apeú, Marapanim, Maracanã e Caranã. Além desses rios situados no território de Castanhal, é preciso destacar o rio Guamá, que é de grande capacidade e localizado nas proximidades do município, distando cerca de 22 km do centro urbano.

Além dos mananciais superficiais, o município de Castanhal tem aquíferos subterrâneos pertencentes ao Grupo Barreiras e à Formação Pirabas passíveis de uso para abastecimento de água do município (PINHEIRO, 2009).

De acordo com o Plano Diretor Participativo de Castanhal de 2006, o abastecimento de água na sede do município é de responsabilidade da Companhia de

Saneamento do Pará (COSANPA), enquanto na zona rural o abastecimento de água é gerenciado pela prefeitura municipal.

O serviço de abastecimento de água potável, na sede do município, é de responsabilidade da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA. Na zona rural do município, segundo informações da gerência da COSANPA, o abastecimento de água é feito através de poços e torneiras públicas, gerenciados pela Prefeitura Municipal (CASTANHAL, 2006, p. 94).

Assim, na parte inicial do presente estudo foi avaliado o abastecimento de água realizado na área urbana do município de Castanhal.

### 5.1.1. Sistema de abastecimento de água da COSANPA em Castanhal

O SAA de Castanhal é constituído por 14 sistemas menores de abastecimento de água, sendo 11 integrados e três isolados. Desses sistemas, 11 atendem a área central de Castanhal, dois atendem áreas periféricas da sede do município (Titanlândia e Jaderlândia) e um atende o distrito de Apeú. A relação dos SAA's é apresentada na Tabela 4 (COSANPA, 2011).

Tabela 4 – Sistemas de abastecimento de água de Castanhal

<b>Tipo/Área</b>	<b>Sistemas de abastecimento de água</b>
<b>Integrado/Central</b>	Usina
	Comandante Assis/Coronel Leal
	Milagre
	Salgado Grande
	Propira
	Caiçara
	Santa Helena
	Imperador
	Ianetama
	Cristo Redentor
	COHAB
<b>Isolado/Periférica</b>	Jaderlândia
	Titanlândia
	Apeú

Fonte: Castanhal (2011).

A integração de SAA's prejudica o gerenciamento do abastecimento de água por tornar mais complexo e difícil o monitoramento do fluxo de água entre os sistemas e a quantificação e a localização de perdas de água na rede de distribuição. As características dos 14 SAA's que abastecem o município de Castanhal são apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Características dos SAA's de Castanhal

Sistemas	Quantidade de poços		Tratamento			Reservação		
	Rasos	Profundos	Desferrização	Filtração	Desinfecção	Apoiado	Elevado	Medidor de nível
Usina	13	1	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
Comandante Assis/Cor. Leal	8	1	Não	Não	Sim	Sim	Não	
Milagre	-	2	Não	Não	Não	Sim	Não	
Salgado Grande	8*	-	Não	Não	Sim	Sim	Não	
Propira	-	1	Não	Não	Não	Não	Não	
Caçara	13	-	Não	Não	Não	Não	Não	
Santa Helena	-	1	Não	Não	Não	Não	Não	
Imperador	-	1*	Não	Não	Não	Não	Não	
Ianetama	-	1	Não	Não	Não	Não	Não	
Cristo Redentor	-	1	Não	Não	Não	Não	Não	
COHAB	12	1	Não	Não	Sim	Sim	Não	
Jaderlândia	-	3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	
Titanlândia	-	1	Não	Não	Não	Não	Não	
Apeú	-	1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	

Fonte: Castanhal, 2011; GPHS, XXX. Adaptado.

\*Poços desativados

Comentado [L2]: Verificar ano e documento

Apenas dois dos 14 SAA's de Castanhal realizam captação com poços rasos, três com poços profundos e poços rasos e nove apenas utilizam poços rasos. Os poços profundos variam de 70 m a 200 m de profundidade e captam água nos sistemas Barreira e Pirabas<sup>16</sup>, enquanto que os poços rasos variam de 18 m a 22 m de profundidade (CASTANHAL, 2011). Com isso, existe grande vulnerabilidade relacionada à qualidade da água bruta captada no município de Castanhal.

Quanto ao tratamento de água, dois SAA's possuem sistema de desferrização, filtração e desinfecção; quatro SAA's possuem tratamento apenas por desinfecção simples; e oito SAA's não realizam tratamento de água.

<sup>16</sup> De acordo com GPHS (2012), o sistema hidrogeológico Pirabas é o mais utilizado para captação de água, apesar de não ser aflorante na área do município, enquanto que o sistema Barreira, que aflora em 90% da área de Castanhal, é utilizado para abastecer cerca de 15% a 20% da cidade.

De acordo com Brasil (2018), o SAA de Castanhal não realizou tratamento de água em ETA no ano de 2016, sendo que 2 (4.476.920 m<sup>3</sup>) do volume total de água produzido no SAA (4.576.950 m<sup>3</sup>) foi tratado apenas com desinfecção simples, não tendo o volume restante nenhum tipo de tratamento. Essa situação, aliada à elevada quantidade de poços rasos utilizados na captação de água bruta, demonstra a fragilidade na qualidade da água disponibilizada para a população do município.

Quanto à reservação de água, dois setores apresentam reservatórios apoiados e elevados, cinco setores possuem apenas reservatório apoiado e sete não dispõem de unidade de reservação de água, ocorrendo bombeamento de água diretamente para a rede de abastecimento.

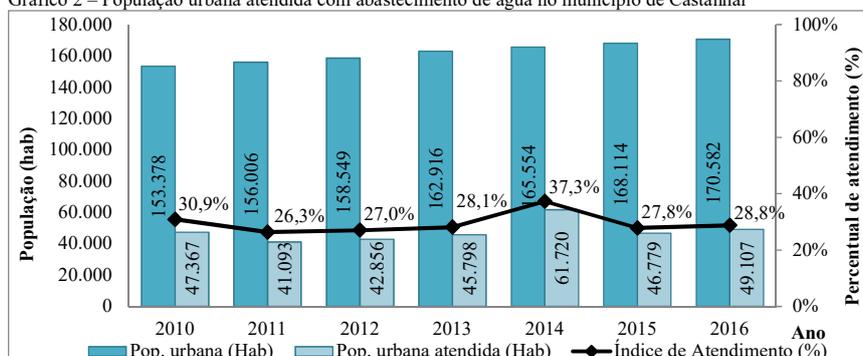
Com isso, é reduzida a flexibilidade operacional para atender às demandas de água nos horários de maior consumo. Vale observar que a inexistência de reservatório apoiado em sete SAA's e de reservatório elevado em 12 SAA's da área urbana de Castanhal, bem como a falta de medidor de nível em todos os sistemas de abastecimento, prejudicam a rotina operacional para a minimização do consumo de energia elétrica no horário de ponta.

As redes de distribuição de água de 11 dos 14 SAA's de Castanhal são interligadas, o que dificulta o gerenciamento e o controle de perdas de água na distribuição. Segundo Brasil (2018), apenas 3.706 (27,52%) das 13.466 economias totais ativas foram micromedidas no ano de 2016. Com isso, apenas 13,44% (615.180 m<sup>3</sup>/ano) do volume produzido foi micromedido, sendo o restante faturado com base em estimativa de consumo. Essa reduzida micromedição do volume de água consumido dificulta a quantificação precisa do volume de água perdido nos SAA's.

### **5.1.2. Cobertura do Abastecimento de Água**

Com base em dados de Brasil (2108), foi verificado que o valor de índice de atendimento da população urbana de Castanhal por SAA variou de 26,3% em 2011, com população urbana atendida de 41.093 hab, para 61.720 hab (37,3%) em 2014. Apesar do crescimento de 19,50%, a população urbana atendida (49.107 hab) no ano de 2016 representava apenas 28,8% da população urbana total do município de Castanhal (170.582 hab), conforme apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – População urbana atendida com abastecimento de água no município de Castanhal



Fonte: Brasil, 2018.

Segundo COSANPA (2017), a população atendida com abastecimento de água na área urbana de Castanhal no último mês de referência (junho de 2017) foi de 48.892 hab, o que demonstra pequena redução em comparação ao ano de 2016. Ainda foram identificados os valores de 12.912 economias residenciais ativas, de 3.764 economias residenciais inativas e de 4.011 economias residenciais factíveis, que somavam 20.687 economias residenciais em junho de 2017 no SAA da área urbana do município de Castanhal.

Considerando o número de domicílios urbanos fornecido pela COSANPA de 44.398 domicílios, o índice de cobertura da área urbana do município de Castanhal com SAA foi de 46,59% em 2017.

Contudo, quando considerada a soma das economias ativas e inativas (16.676 economias) e o número de domicílios urbanos, ocorreu redução para 37,56% no índice de cobertura em junho de 2017. Esse valor é bem menor do que o esperado em município desse porte, indicando que a população utiliza alternativa própria para o abastecimento de água, sendo a principal solução o emprego de poços para captação de água subterrânea.

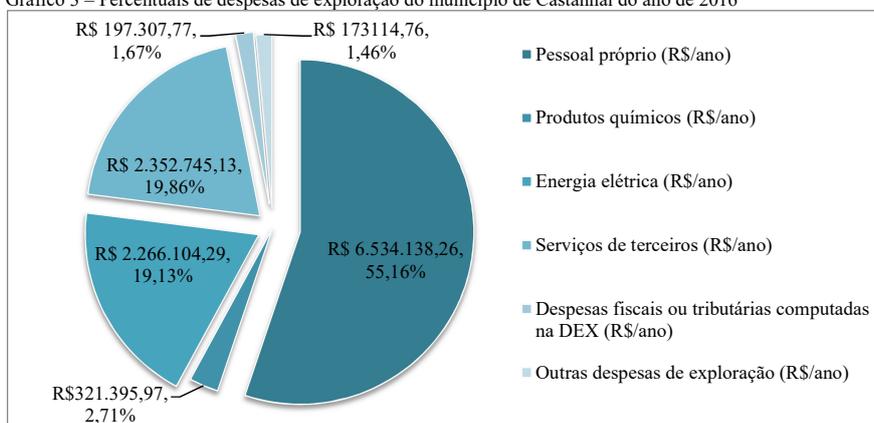
### 5.1.3. Perda de água, consumo e despesa de energia elétrica do SAA de Castanhal

De acordo com Brasil (2018), em 2016, o volume de água produzido no SAA de Castanhal foi de 4.576.950 m<sup>3</sup>, sendo 100.230 m<sup>3</sup> utilizados como água de serviço e 2.333.980 m<sup>3</sup> como volume consumido. Com isso, o índice de perda de água na distribuição foi de 47,86%.

Nesse mesmo ano, foram consumidos 4.846.670 kWh de energia elétrica em todo o SAA, com valor de consumo específico de 1,06 kWh/m<sup>3</sup>. Considerando esse valor e o do volume perdido de água, a perda de água representou desperdício de 2.269.0112 kWh no SAA em 2016.

Além disso, a despesa com energia elétrica do SAA (R\$ 2.266.104,29) foi 19,13% da Despesa de Exploração (DEX) do SAA do município de Castanhal no ano de 2016. A maior despesa do município de Castanhal foi com pessoal próprio (R\$ 6.534.138,26), representando 55,16% do DEX conforme relacionado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Percentuais de despesas de exploração do município de Castanhal do ano de 2016



Fonte: Brasil, 2018.

Com os valores de volume de água produzido pelo SAA (4.576.950 m<sup>3</sup>) e de despesa de energia elétrica (R\$ 2.266.104,29) do ano de 2016, foi possível identificar em R\$ 0,50 por m<sup>3</sup> o valor de DE do SAA em operação no município de Castanhal.

As características operacionais do SAA no ano de 2017 tiveram variações em relação ao ano de 2016. Na Tabela 5 são apresentadas as principais informações do SAA de Castanhal para os dois anos.

Tabela 5 – Informações da operação do SAA de Castanhal em 2016 e em 2017

Ano	Pop. urbana total (hab)	Pop. urbana atendida (hab)	Vol. de água produzido (m <sup>3</sup> /ano)	Energia consumida (kWh/ano)	Despesa de Energia (R\$/ano)	CE (kWh/m <sup>3</sup> )	DE (R\$/m <sup>3</sup> )
2016	170.582	49.107 (28,79%)	4.576.950	4.846.670	2.266.104,29	1,06	0,50
2017	172.958	49.058 (28,36%)	6.358.360	5.283.980	2.240.060,76	0,83	0,35

Fonte: BRASIL, 2018; BRASIL, 2019

Mesmo com o crescimento da população urbana de Castanhal, a população urbana atendida com abastecimento de água diminuiu de 2016 para 2017, tendo decréscimo 0,42% no índice de atendimento. Ainda assim, o volume de água produzido e o consumo de energia elétrica do SAA aumentaram enquanto a despesa de energia elétrica diminuiu, esse comportamento ocasionou valores de CE e de DE em 2017 menores do que em 2016.

Partindo desse cenário de apenas 28,36% de índice de atendimento no município de Castanhal, de grande parcela da água captada em poços rasos, de limitações no tratamento de água e de ineficiência hidroenergética, foram estudadas alternativas de concepção de SAA que possibilitem a produção de água para universalizar o atendimento da população, observando o consumo e a despesa de energia elétrica.

## 5.2. ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÕES PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CASTANHAL

Inicialmente foram pesquisados os dados de população necessários para a realização do estudo das duas alternativas de concepção do SAA da área urbana do município de Castanhal, no período de 2017 até 2037. Para tanto, foram utilizados os valores de população projetados no Plano de Saneamento Básico Integrado do Estado do Pará, conforme relacionado na Tabela 6.

Tabela 6 – Projeção populacional do município de Castanhal para o ano de 2037

Ano	Castanhal (hab)		
	Total	Urbana	Rural
<b>Base (2010)</b>	173.149	153.378	19.771
<b>2015</b>	189.784	168.114	21.670
<b>2016</b>	192.571	170.582	21.989
<b>2017</b>	195.253	172.958	22.295
<b>2018</b>	197.886	175.400	22.486
<b>2019</b>	200.444	177.771	22.672
<b>2020</b>	202.487	179.666	22.820
<b>2021</b>	204.530	181.561	22.969
<b>2022</b>	206.573	183.374	23.198
<b>2023</b>	208.615	185.187	23.428
<b>2024</b>	210.655	186.998	23.657
<b>2025</b>	212.694	188.808	23.886
<b>2026</b>	214.733	190.619	24.115
<b>2027</b>	216.773	192.429	24.344
<b>2028</b>	218.812	194.239	24.573
<b>2029</b>	220.851	196.049	24.802
<b>2030</b>	222.886	197.855	25.030
<b>2031</b>	224.418	198.901	25.517
<b>2032</b>	234.981	208.264	26.717
<b>2033</b>	246.685	218.638	28.047
<b>2034</b>	259.617	230.098	29.519
<b>2035</b>	273.853	242.715	31.138
<b>2036</b>	289.714	256.774	32.940
<b>2037</b>	305.692	270.935	34.757

Fonte: PARA (2017)

Do ano de 2017 ao ano de 2037 foi projetado crescimento de 56,65% da população urbana de Castanhal com aumento de 97.977 hab, bem como foi constatado que a população urbana de final de projeto representa 88,63% da população total do município enquanto a população rural apenas 11,37%. Assim, a população urbana a ser atendida no final de plano é igual a 270.935 hab.

### 5.2.1. Concepção do Sistema de Abastecimento de Água

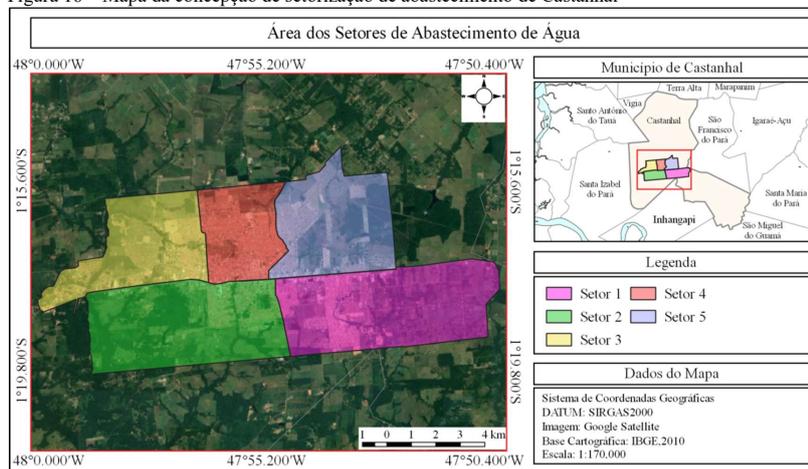
As duas alternativas de concepção de SAA foram definidas com captação de água bruta em manancial superficial, ETA para o tratamento da água bruta, reservatório para armazenar a água produzida na ETA, Estação elevatória que bombeia água da ETA para os setores, adutora e subadutoras para o transporte da água tratada para os Setores, reservatórios enterrados e elevados nos setores e estação elevatória dos setores para recalcar água do reservatório enterrado para o elevado. A principal diferença dessas alternativas estudadas foi o manancial de captação de água, no caso:

- **Alternativa 1** - Rio Guamá, que é localizado a sudoeste do centro urbano de Castanhal e dista desse 21,6 km em linha reta;
- **Alternativa 2** – Rio Inhangapi, que é localizado a sul do centro urbano de Castanhal, distando 13,1 km desse ponto de referência.

Foi adotada localização da ETA nas proximidades do manancial, sendo a água tratada armazenada no reservatório apoiado da ETA e, então, bombeada e aduzida para a área urbana. Vale observar que o estudo das alternativas de arranjo da unidade de tratamento de água não é objeto da presente pesquisa. A água tratada bombeada é transportada em adutoras até os setores de abastecimento de água, onde é armazenada e distribuída para a população.

A divisão do SAA em setores de abastecimento de água foi utilizada para otimizar o abastecimento, sendo a área urbana do município de Castanhal dividida em cinco setores de abastecimento de água. Na definição do número de setores foi procurado equilibrar os valores de população atendida com o número de setores, sendo, ainda, considerados os limites estabelecidos no Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Castanhal e observada a expansão da ocupação territorial entre o período do referido plano e o presente estudo. Isso resultou nos cinco setores da área urbana mostrados na Figura 16.

Figura 16 – Mapa da concepção de setorização de abastecimento de Castanhal



Com os limites estabelecidos na setorização, foi possível identificar os bairros localizados na área de abrangência de cada setor, sendo oportuno observar que apenas as áreas

dos bairros Centro e Ianetama foram divididas entre dois setores de abastecimento de água, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Bairros componentes dos setores de abastecimento de água

<b>Setor</b>	<b>Setor 1</b>	<b>Setor 2</b>	<b>Setor 3</b>	<b>Setor 4</b>	<b>Setor 5</b>
	Milagre	Saudade I	Vila do Apeú	Estrela	São José
	Jaderlândia	Saudade II	Betânia	Nova Olinda	Ianetama
	Santa Lídia	Pantanal	Santa Helena	Centro	Imperador
<b>Bairros</b>	Bom Jesus	Piraoira	Titãlandia	Caiçara	Salgadinho
	-	Cariri	Cristo	Ianetama	Santa Catarina
	-	Centro	Fonte Boa	-	-
	-	-	Tóquio	-	-

Na identificação da população dos cinco setores foram utilizados os valores percentuais da população dos setores de abastecimento de água sugeridos por GPHS (2009), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Percentual populacional por setor de abastecimento de água

<b>Setor</b>	<b>Setor 1</b>	<b>Setor 2</b>	<b>Setor 3</b>	<b>Setor 4</b>	<b>Setor 5</b>
<b>Percentuais populacionais por setor</b>	22,379%	18,024%	15,213%	21,350%	23,034%

Fonte: GPHS, 2009.

Com isso, foi possível calcular a população de cada setor, no caso, multiplicando o valor percentual (Tabela 8) pelo valor da população urbana do município de Castanhal (Tabela 6). Na Tabela 9 são apresentados os resultados da projeção população dos cinco setores no período de 2017 a 2037.

Tabela 9 – Valores populacionais estimados por setor de abastecimento de água

Ano	População (hab)					Total
	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5	
2017	38.706	31.174	26.312	36.927	39.839	172.958
2018	39.253	31.614	26.683	37.448	40.402	175.400
2019	39.783	32.042	27.044	37.954	40.948	177.771
2020	40.207	32.383	27.333	38.359	41.384	179.666
2021	40.631	32.725	27.621	38.763	41.821	181.561
2022	41.037	33.051	27.897	39.150	42.239	183.374
2023	41.443	33.378	28.173	39.537	42.656	185.187
2024	41.848	33.705	28.448	39.924	43.073	186.998
2025	42.253	34.031	28.723	40.311	43.490	188.808
2026	42.659	34.357	28.999	40.697	43.907	190.619
2027	43.064	34.683	29.274	41.084	44.324	192.429
2028	43.469	35.010	29.549	41.470	44.741	194.239
2029	43.874	35.336	29.825	41.856	45.158	196.049
2030	44.278	35.661	30.100	42.242	45.574	197.855
2031	44.512	35.850	30.259	42.465	45.815	198.901
2032	46.607	37.538	31.683	44.464	47.972	208.264
2033	48.929	39.407	33.262	46.679	50.361	218.638
2034	51.493	41.473	35.005	49.126	53.001	230.098
2035	54.317	43.747	36.924	51.820	55.907	242.715
2036	57.464	46.281	39.063	54.821	59.145	256.774
2037	60.633	48.833	41.217	57.845	62.407	270.935

No ano de final de plano (2037), as populações projetadas para os setores variaram de 41.217 hab no Setor 3 a 62.407 hab no Setor 5.

Para a projeção da demanda de água, foi utilizado o valor de demanda per capita de água do município de Castanhal. Nesse sentido, de acordo com dados de Brasil (2018), o consumo per capita de Castanhal no último ano de referência (2016), foi de 115 l/hab.d. Porém, considerando o volume de água total produzido, e não apenas o consumido, foi identificado valor de demanda per capita de água de 226 l/hab/d. Também foi adotado o valor de 5% do consumo de água da população como consumo industrial, conforme GPHS (2009).

Assim, a projeção de demanda de água para os cinco setores de abastecimento de água da área urbana do município de Castanha é apresentada na Tabela 10.

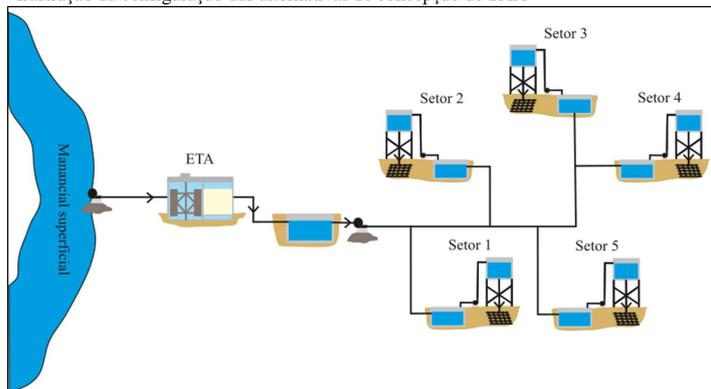
Tabela 10 – Projeção de demanda de água no horizonte de projeto

Ano	Demanda média de água (m³/dia)					Total
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	
2017	9.185	7.398	6.244	8.763	9.454	41.043
2018	9.315	7.502	6.332	8.886	9.587	41.622
2019	9.441	7.604	6.418	9.006	9.717	42.185
2020	9.541	7.684	6.486	9.103	9.820	42.635
2021	9.642	7.766	6.554	9.198	9.924	43.084
2022	9.738	7.843	6.620	9.290	10.023	43.515
2023	9.834	7.921	6.685	9.382	10.122	43.945
2024	9.931	7.998	6.751	9.474	10.221	44.375
2025	10.027	8.076	6.816	9.566	10.320	44.804
2026	10.123	8.153	6.881	9.657	10.419	45.234
2027	10.219	8.230	6.947	9.749	10.518	45.663
2028	10.315	8.308	7.012	9.841	10.617	46.093
2029	10.411	8.385	7.077	9.932	10.716	46.522
2030	10.507	8.462	7.143	10.024	10.815	46.951
2031	10.563	8.507	7.180	10.077	10.872	47.199
2032	11.060	8.908	7.518	10.551	11.384	49.421
2033	11.611	9.351	7.893	11.077	11.951	51.883
2034	12.219	9.842	8.307	11.658	12.577	54.602
2035	12.889	10.381	8.762	12.297	13.267	57.596
2036	13.636	10.982	9.270	13.009	14.035	60.932
2037	14.388	11.588	9.781	13.727	14.809	64.293

No ano de final de plano (2037), as demandas de água para os setores variaram de 9.781 m³/dia no Setor 3 a 14.809 m³/dia no Setor 5. Os valores de demanda de água foram utilizados no dimensionamento das unidades e nas simulações do consumo de água dos setores de abastecimento de água.

O arranjo dos setores de abastecimento de água selecionado no estudo é composto por um Reservatório Enterrar (RENT), uma estação elevatória que recalca a água do RENT para o Reservatório Elevado (REL) de onde a água é destinada para a rede de distribuição isolada do setor, conforme ilustrado na Figura 17.

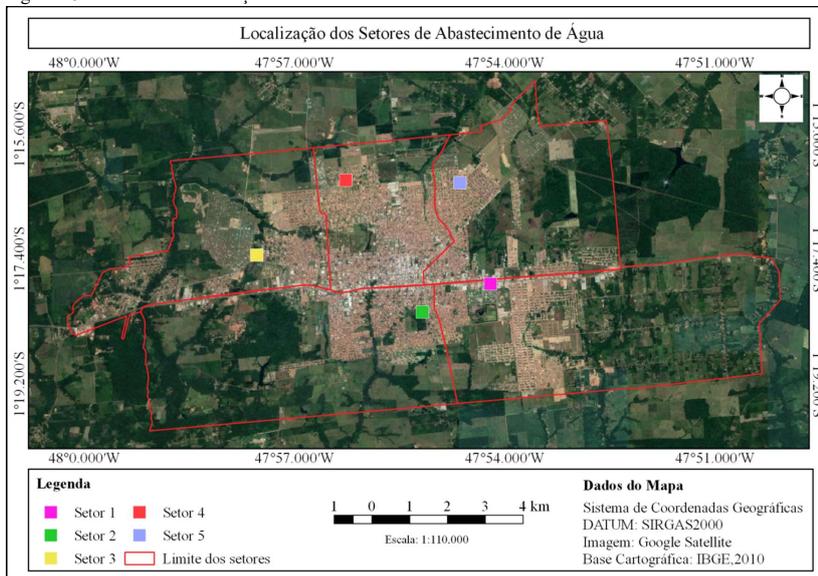
Figura 17 – Ilustração da configuração das alternativas de concepção de SAA



Para a instalação das unidades de reservação e de elevação em cada setor, foram selecionadas áreas ainda não edificadas do município de Castanhal, considerando a localização e a cota do terreno.

Com isso, foram selecionados os pontos com as maiores cotas de terreno dentro da área dos setores. Para a identificação da cota do terreno foi utilizado o software Google Earth. Os pontos de instalação das unidades dos setores são apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Pontos de localização das unidades dos setores



Os valores de cota do terreno onde as unidades de reservação e elevação dos setores foram alocadas são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de cota do terreno dos setores de abastecimento de água

Setor de Abastecimento	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
<b>Cota do terreno (m)</b>	47	58	45	60	48

Os dois mananciais de água superficiais adotados como alternativas de captação de água, no caso, o rio Inhangapi e o rio Guamá, foram selecionados por serem localizados nas proximidades da área urbana de Castanhal e por apresentarem capacidade para atender a demanda de água da área urbana de Castanhal no último ano do horizonte de projeto.

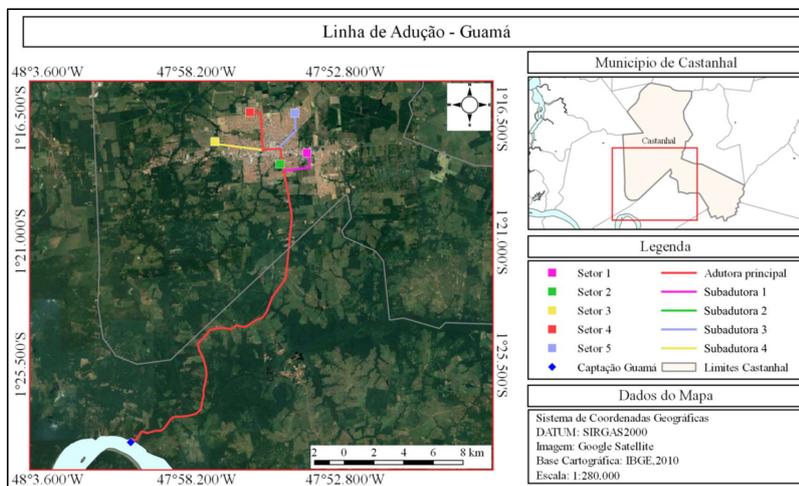
### 5.2.2. Alternativa de Concepção 1: Sistema Guamá

A distância entre o centro urbano do município de Castanhal e o trecho mais próximo do rio Guamá é de 21,6 km em linha reta. Além disso, de acordo com a Agência Nacional das Águas - ANA (2010), a vazão de água  $Q_{95}^{17}$  do rio Guamá é de 278.700 l/s (24.079.680 m<sup>3</sup>/dia). Com isso, o volume de água demandado para o abastecimento de água da área urbana do município de Castanhal para o ano de 2037 (64.293 m<sup>3</sup>/dia) corresponde a apenas 0,27% da vazão de água do rio Guamá.

De acordo com Pará (2014) “para outorgas em corpos hídricos superficiais no Estado do Pará, com uso a fio d’água, a vazão máxima outorgável é 70% da  $Q_{95}$ ”. Dessa forma, em termos de volume, a utilização do rio Guamá para captação de água para abastecer a área urbana de Castanhal é viável.

Assim, o ponto de localização da captação de água bruta e o encaminhamento da adutora de água tratada para os setores definidos nesta alternativa de concepção são apresentados na Figura 19.

Figura 19 – Encaminhamento da linha de adução do Sistema Guamá<sup>18</sup>



<sup>17</sup> A vazão  $Q_{95}$  tem o valor igual ou inferior a vazão que está presente no rio durante, pelo menos, 95% do tempo.

<sup>18</sup> De acordo com Monteiro et al (2009), o rio Guamá “é navegável numa extensão aproximada de 160 km até a localidade de São Miguel do Guamá”.

A captação de água a ser realizada para o abastecimento da área urbana de Castanhal é situada no referido trecho do rio, sendo que a área urbana mais próxima instalada as margens do rio Guamá é a cidade de Bujaru, que fica a jusante do ponto de captação selecionado.

Na captação de água bruta do rio Guamá, foi considerada estação elevatória contendo quatro CMB's em operação e um CMB reserva (operação 4+1), sendo todos os CMB's de mesma capacidade. As características da Estação Elevatória de Água Bruta (EAB) de captação do Sistema Guamá, usada para o bombeamento da água captada até a ETA, são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Características da EAB de captação de água do rio Guamá

<b>Características</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Altura Geométrica (m)</b>	13,2
<b>Comprimento de tubulação da sucção (m)</b>	11,47
<b>Comprimento de tubulação do barrilete (m)</b>	16,87
<b>Comprimento de tubulação do recalque (m)</b>	114,87

Na determinação da altura geométrica da EAB de captação, foi adotada a cota do rio Guamá igual a 1 m a partir da cota identificada no Google Earth.

A água tratada na ETA é armazenada no Reservatório Enterrado de Água da ETA (RENTeta), de onde é aduzida para os setores de abastecimento de água pela adutora principal de água tratada e por quatro subadutoras por meio do bombeamento de água da Estação Elevatória de Água Tratada (EATeta). A adutora principal liga o RENTeta aos RENT do Setor 4. Os outros setores são abastecidos pelas subadutoras que são ramificadas da adutora principal. As características da adutora principal e das quatro subadutoras são apresentadas na Tabela 13.

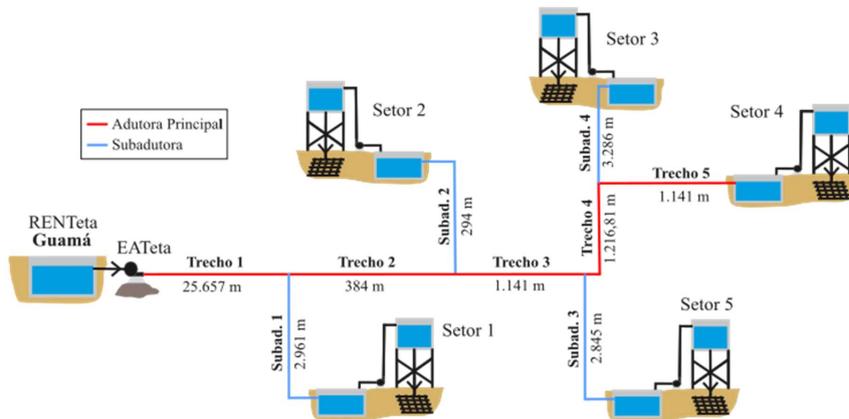
Tabela 13 – Características da adução de água tratada do Sistema Guamá

<b>Linha de adução</b>	<b>Setor abastecido</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Cota de montante (m)</b>	<b>Cota de jusante</b>
<b>Adutora principal</b>	Setor 04	31.663	6,5	60
<b>Subadutora 01</b>	Setor 01	2.961	50	47
<b>Subadutora 02</b>	Setor 02	292	48	58
<b>Subadutora 03</b>	Setor 05	2.880	45	48
<b>Subadutora 04</b>	Setor 03	3.400	40	45

A adutora principal do Sistema Guamá foi dividida em cinco trechos ao longo de sua extensão, sendo que o limite inicial dessa adutora é a EATeta, os limites intermediários

são os pontos de derivação para as subadutoras e o RENT do Setor 4 é o ponto de limite final. Na Figura 20 é apresentada ilustração esquemática dos trechos da adutora principal e das subadutoras de água tratada e do Sistema Guamá e seus respectivos comprimentos.

Figura 20 – Trechos da adutora principal e das subadutoras de água tratada do Sistema Guamá



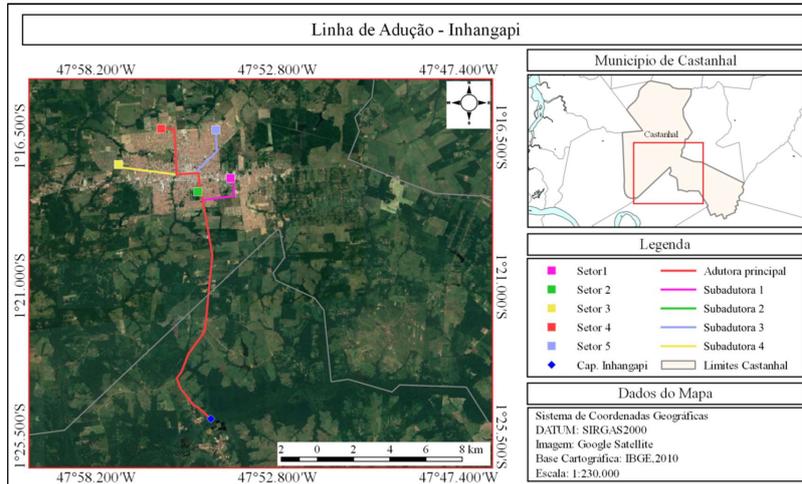
A água armazenada nos RENT's dos cinco setores é bombeada pelas EAT's dos setores para os Reservatórios Elevados (REL) de cada setor e, então, distribuída aos consumidores.

### 5.2.3. Alternativa de Concepção 2: Sistema Inhangapi

O trecho do rio Inhangapi mais próxima do centro urbano de Castanhal dista 13,1 km em linha reta. O rio Inhangapi já foi utilizado em proposta da ANA (2010) de ampliação do SAA do município de Castanhal. Além disso, de acordo com ANA (2010), o rio Inhangapi tem vazão  $Q_{95}$  igual a 117.107,2 l/s (10.118.062 m<sup>3</sup>/dia). Dessa forma, o valor do volume de água demandado para o abastecimento da área urbana do município de Castanhal no ano 2037 (64.293 m<sup>3</sup>/dia) corresponde a 0,64% da vazão do Rio Inhangapi. Assim, em termo de volume de água disponível, é possível que a captação de água para abastecer a área urbana de Castanhal seja realizada nesse rio.

Os pontos de localização da captação e o encaminhamento da linha de adução de água tratada são apresentados na Figura 21.

Figura 21 – Imagem do ponto de captação de água no rio Inhangapi



O rio Inhangapi é um manancial com baixo aglomerado urbano em suas margens, mas nas proximidades do ponto selecionado para captação está localizada a cidade de Inhangapi, por isso, na escolha do ponto de captação, foi selecionado um local que ficasse a montante da cidade em relação ao fluxo do rio.

Para a realização da captação de água foi utilizada EAB que bombeia a água bruta do rio Inhangapi para a ETA. Essa estação elevatória de água foi concebida com quatro CMB's em operação e um CMB reserva (Operação 4+1), sendo que todos os CMB's têm a mesma capacidade. As características dessa estação elevatórias são as apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Características da EAB de captação de água do rio Inhangapi

Características	Quantidade
Altura Geométrica (m)	13,2
Comprimento de tubulação da sucção (m)	11,46
Comprimento de tubulação do barrilete (m)	16,87
Comprimento de tubulação do recalque (m)	114,87

Na determinação das alturas geométricas da unidade de captação, foi adotada a cota do rio Inhangapi igual a 1 m em decorrência da cota identificada no Google Earth.

Após a ETA, a água tratada segue para o RENTeta. Desse reservatório, a água tratada é bombeada pela EATeta de adução para os setores de abastecimento de água por uma

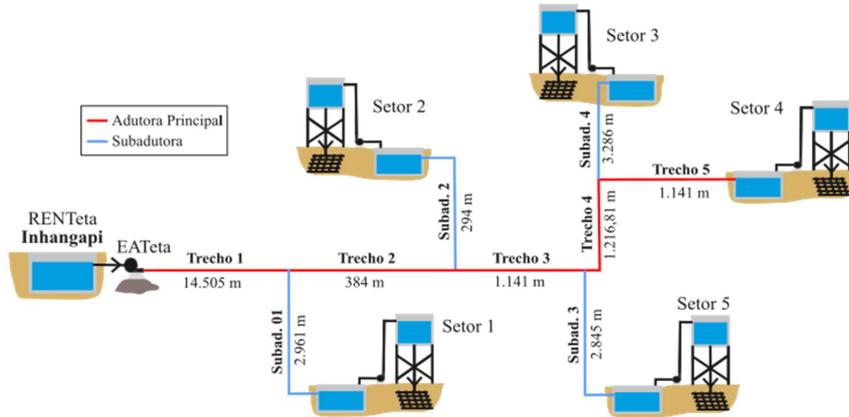
adutora principal e por quatro subadutoras. A adutora principal liga o RENTeta ao RENT do Setor 4 é ramificada em quatro subadutoras que alimentam o Setor 1, o Setor 2, o Setor 3 e Setor 5. Algumas características da adutora e das subadutoras são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Características da adução de água tratada de água do Sistema Inhangapi

Linha de adução	Setor abastecido	Comprimento (m)	Cota de montante (m)	Cota de jusante
<b>Adutora principal</b>	Setor 04	20.511	6,5	60
<b>Subadutora 01</b>	Setor 01	2.961	50	47
<b>Subadutora 02</b>	Setor 02	292	48	58
<b>Subadutora 03</b>	Setor 05	2.880	45	48
<b>Subadutora 04</b>	Setor 03	3.400	40	45

A adutora principal do Sistema Inhangapi é dividida em cinco trechos, tendo como limita inicial a EATeta, como limites intermediários os pontos de derivação das subadutoras e como limite final o RENT do Setor 04. Na Figura 22 é apresentado esquema ilustrando os trechos da adutora principal de água tratada do Sistema Inhangapi e seus respectivos comprimentos.

Figura 22 – Trechos da adutora principal de água tratada do Sistema Inhangapi



O volume de água aduzido na adutora e nas Subadutoras é armazenado nos RENT's dos cinco setores, de onde é bombeada pelas EAT's dos setores para os REL's de cada setor e, então, distribuída aos consumidores.

### 5.3. DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DO SAA

Para a realização da simulação hidroenergética das alternativas de concepções do SAA de Castanhal, foram realizadas três fases de dimensionamento das unidades de elevação, adução e reservação, conforme o Quadro 10.

Quadro 10 – Fases do dimensionamento das concepções de abastecimento de água

Fase 1: Produção	Fase 2: Adução	Fase 3: Distribuição
a) Estação elevatória de captação; b) Unidade de reservação da ETA.	a) Estação elevatória da ETA; b) Adução e subadutoras.	a) Unidades de reservação dos setores; b) Estações elevatórias dos setores.

O dimensionamento dessas fases seguiu o fluxo da água no sistema, sendo utilizados os valores de demanda de água de final de plano (ano 2037), conforme apresentado anteriormente na Tabela 10.

#### 5.3.1. Fase 1 - Produção

Nessa fase foram dimensionados os CMB's da estação elevatória de captação de água bruta e o RENTeta de água.

Para a captação de água das duas concepções estudadas (Sistema Guamá e Sistema Inhangapi) foram adotados cinco CMB's, sendo um reserva e quatro em operação (operação 4+1). Os CMB's foram selecionados a partir das vazões de bombeamento e das alturas manométricas calculadas, sendo adotado valor de 1,2 para o coeficiente do dia de maior consumo (k1).

A vazão média da estação elevatória de captação de água foi a demanda média total de final de plano (64.293 m<sup>3</sup>/dia), sendo considerado valor de 2% para água de serviço na ETA, portanto, mantendo o valor citado em GPHS (2009). Também foram consideradas as vazões singulares de grandes consumidores, como a parcela de consumo industrial de água. O tempo de operação adotado foi de 20 horas de bombeamento por dia, sendo a vazão da EAB determinada com a equação (5.1).

$$Q_{CAP} = \frac{\bar{Q} \times k_1 \times \left(1 + \frac{q_{ETA}}{100}\right)}{t} \quad (5.1)$$

Onde:

$Q_{CAP}$  = Vazão de captação de água ( $m^3/d$ );

$\bar{Q}$  = Vazão média demandada de água do SAA ( $m^3/d$ );

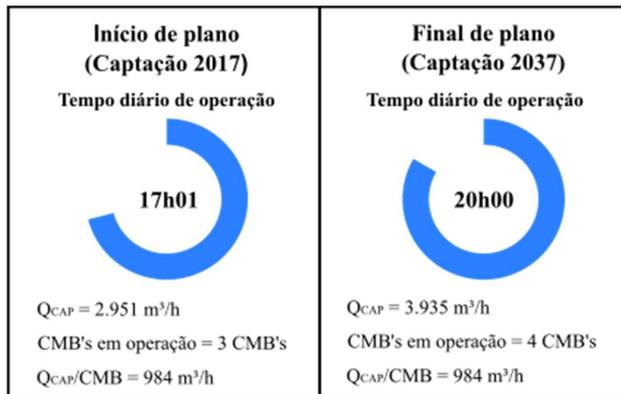
$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

$q_{ETA}$  = Consumo de água na estação de tratamento de água (%);

$t$  = tempo de operação da estação elevatória por dia (h/dia).

O valor de vazão da EAB de captação ( $3.858 m^3/h$ ) foi dividido para os quatro CMB's na operação de final de plano. Considerando a vazão de um CMB como referência, foram verificados quantos CMB's seriam necessários para operar e por quantas horas por dia eles funcionariam para atender a vazão demandada de água na captação no ano de início de plano (2017). O resultado é apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Informações da EAB no início e no final de plano



Na determinação dos diâmetros das tubulações das EAB's do Sistema Guamá e do Sistema Inhangapi, foram adotados os seguintes critérios:

- **Sucção:** na tubulação de sucção foi adotado o diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro calculado para a tubulação do barrilete. Vale observar que esse diâmetro deve atender aos critérios apresentados no Quadro 7;

- **Barrilete:** como ao longo do barrilete haverá acréscimo de vazões na operação em paralelo dos CMB's, foi adotado diâmetro que ocasione no trecho do barrilete

em que flua apenas a vazão de um CMB, velocidade superior a 0,6 m/s, e no trecho que flua a vazão dos quatro CMB's, velocidade inferior a 3 m/s;

- **Recalque/Adução:** para a determinação desses diâmetros, foi adotado o valor de velocidade igual a 1,5 m/s;

Os diâmetros calculados para a EAB e suas respectivas velocidades nos arranjos operacionais de início de plano (operação 3+2) e final de plano (operação 4+1) são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Valores de diâmetro calculados e velocidades médias no bombeamento da EAB

Estação elevatória de água bruta (EAB)				
Trecho	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Velocidade média (m/s) <sup>19</sup>	
			Início de plano (Operação 3+2)	Final de Plano (Operação 4+1)
Sucção	800	799	0,55	0,55
Barrilete	700	697	de 0,72 a 2,15	de 0,72 a 2,86
Recalque	1.000	1.000	1,04	1,39

Além disso, foram definidas as características do sistema hidráulico da EAB como: comprimento das tubulações, peças e conexões. Essas informações são apresentadas no Quadro 12.

<sup>19</sup> Vale observar que, ao calcular o valor de diâmetro utilizando as velocidades fixadas como parâmetro de dimensionamento e, em seguida, adotar o diâmetro comercial mais próximo do valor de diâmetro calculado, o valor de velocidade de fluxo, para a mesma vazão, é alterado.

Quadro 12 – Características da EAB

Trecho	Comprimento (m)	Peças e conexões	
		Característica	Quantidade
Sucção	11,47	Curva longa 90°	1
		Válvula de pé	1
		Crivo	1
		Redução excêntrica	1
Barrilete	16,87	Ampliação concêntrica	1
		Curva longa 90°	1
		Tê de saída lateral	1
		Tê de passagem direta	4
		Válvula borboleta	1
		Válvula de Retenção	1
Recalque	114,87	Ampliação concêntrica	1
		Curva longa 45°	2
		Curva longa 90°	4
		Válvula borboleta	1
		Saída de tubulação	1

Como as EAB's do Sistema Inhangapi e do Sistema Guamá foram concebidas com as mesmas características hidráulicas e a mesmo valor de distância até a ETA, a especificação dos CMB's foi utilizada na realização das simulações dos dois sistemas no software EPANET.

Para a identificação da altura manométrica, foram observados os parâmetros de altura geométrica, referente à diferença de cota do ponto em que ocorre a captação da água (Rio Guamá e Rio Inhangapi) e a cota do ponto para onde a água é destinada (ETA) e de perda de carga total proveniente do deslocamento da água nos condutos.

O valor de altura manométrica calculado para os CMB's da estação elevatória de captação de água do Sistema Guamá e do Sistema Inhangapi foi de 14,59 m, para vazão de bombeamento de água igual a 984 m<sup>3</sup>/h. Na Tabela 16 são apresentados os valores de vazão de operação, de altura geométrica e de perda de carga utilizados para o cálculo da altura manométrica.

Tabela 16 – Determinação de altura manométrica da EAB

Variável	Valor
Vazão por CMB (m³/h)	984
Vazão total (m³/h)	3.935
Altura geométrica (m)	13,20
Hf* Sucção (m)	0,12
Hf Barrilete (m)	0,75
Hf Recalque (m)	0,52
<b>Altura manométrica (m)</b>	<b>14,59</b>

\*Hf é a sigla utilizada para designar perda de carga

Com base nos valores de vazão e de altura manométrica calculados para os CMB's da EAB, foi selecionada o conjunto motor e bomba com as características operacionais apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Informações do CMB selecionado para a EAB

EAB de Captação – Sistema Guamá e Inhangapi – operação (4+1)			
Modelo da bomba: KWPK350-350-0633 GNNG10A -3N 010			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação	Potência adotada para motor
558 mm	2,22 m	586 rpm	55 kW

O valor do NPSH disponível na EAB é igual a 6,88 metros. Nesse sentido, o sistema hidráulico da EAB atende ao valor de NPSH requerido para a operação segura do CMB selecionado. Os valores da curva da bomba e de rendimento desse CMB são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Curva de operação dos CMB's da EAB

Q (m³/h)	Altura manométrica (m)	Rendimento (%)
0,00	17,53	0,00
200,00	17,59	38,05
400,00	17,37	63,40
600,00	16,82	78,25
800,00	15,93	86,42
983,68	14,62	88,50
1.000,00	14,50	88,36
1.200,00	12,73	86,64
1.350,00	11,28	83,31

Como o RENTeta é responsável por armazenar o volume de água para abastecer a todos os setores, no seu dimensionamento foi utilizado o valor de demanda média de água total de final de plano de 64.293 m<sup>3</sup>/dia, bem como os valores o valor de 1,2 para o k1, de 1,5 para o k2 e de 1,2 para o C. Com base nesses valores, o volume de reservação calculado para o RENTeta foi de 14.735 m<sup>3</sup>. As dimensões calculadas e adotadas para o RENTeta são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Volumes de reservação calculados do RENTeta

RENTeta	
Variável	Valor
Altura útil (m)	4,00
Altura total (m)	5,00
Cota superior (m)	11,00
Cota inferior (m)	6,00
Diâmetro (m)	68,40
Volume útil (m <sup>3</sup> )	14.698
Volume total (m <sup>3</sup> )	18.373

A diferença de um metro entre a altura útil e altura total é referente ao valor de altura de segurança de meio metro adotado abaixo do nível mínimo e acima do nível máximo do volume útil.

### 5.3.2. Fase 2 - Adução

Nessa fase foram dimensionados os CMB's da EATeta e as adutoras e subadutoras de água tratada que transportam a água tratada na ETA para os cinco setores de distribuição de água dos Sistemas Guamá e Inhangapi.

Os arranjos das EATeta's dos Sistemas Guamá e Inhangapi são compostos por quatro CMB's em operação e um reserva (operação 4+1). Para a determinação da vazão da EATeta, foi utilizada a equação (5.2).

$$Q_{AAT} = \frac{\bar{Q}xk_1}{t} \quad (5.2)$$

Onde:

$Q_{AAT}$  = Vazão de adução de água (m<sup>3</sup>/h);

$\bar{Q}$  = Vazão média demandada de água no SAA (m<sup>3</sup>/d);

$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

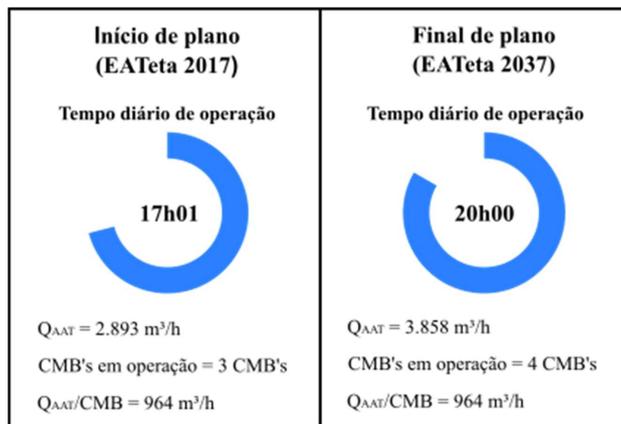
$t$  = tempo adotado de operação da estação elevatória por dia (h/dia).

No cálculo da vazão de adução foi utilizado valor de 1,2 para o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ). A vazão média demanda de água utilizada para o dimensionamento da EAT de adução foi a demanda média total de final de plano (64.293 m<sup>3</sup>/dia). O tempo adotado para a operação da estação elevatória de água foi de 20 horas por dia.

O valor de vazão de adução calculado (3.858 m<sup>3</sup>/h) foi dividido para os quatro CMB's que operarão no ano de final de plano, sendo esse valor de vazão por CMB utilizado para o cálculo da altura manométrica de bombeamento e para a seleção do modelo de CMB para a EATeta.

Com o valor de vazão por CMB e calculando a vazão de água a ser aduzido no ano de início de plano, foi identificado número de CMB's necessário para a operação no primeiro ano do horizonte de projeto (2017) e o tempo de operação por dia demandado para bombear a vazão de adução. O resultado é apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Informações da EATeta no início e no final de plano



Dessa forma, no primeiro ano do horizonte de projeto o uso de três CMB's é suficiente para atender a vazão de adução de água.

Para a determinação do diâmetro das tubulações da sucção, do barrilete e da adutora de água tratada, foram adotados os mesmos limites de velocidade descritos no

dimensionamento da estação elevatória de captação. Vale observar que, em função das derivações de volume de água ao longo da adutora para as subadutoras, a adutora de água tratada foi dimensionada dividida em cinco trechos considerando a vazão remanescente na após a derivação de água para as subadutoras.

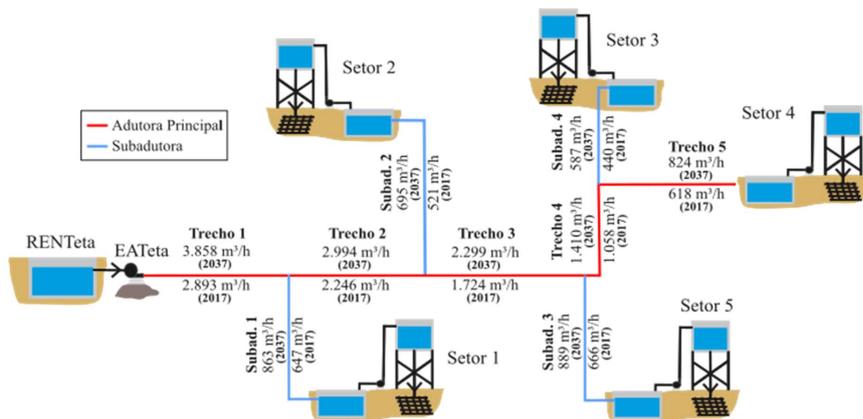
Para isso, utilizando a equação (5.2), foram identificados os valores de vazão de adução destinados aos setores de abastecimento de água no início e no final de plano apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores de adução destinados aos setores de abastecimento de água

Setor de abastecimento	Vazão de adução (m³/h)	
	Início de plano (3 CMB's operando)	Final de plano (4 CMB's operando)
Setor 1	647	863
Setor 2	521	695
Setor 3	440	587
Setor 4	618	824
Setor 5	666	889

Utilizando os valores de adução destinados aos setores e o arranjo da linha de adução, foram identificadas as vazões remanescentes na adutora nos cinco trechos da linha de adução de água tratada após as derivações das vazões encaminhadas aos setores de abastecimento de água (Figura 25).

Figura 25 – Valores de vazão das adutoras e subadutoras no início e no final de plano



Com os valores de vazão de adução de água tratada e os critérios de velocidades adotados para o dimensionamento (Quadro 7), foram adotados os diâmetros das tubulações de sucção, barrilete, trechos das adutoras e das subadutoras da EATeta. Os valores dos diâmetros e os valores de velocidade de início e final e plano dos trechos da EATeta são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Valores de diâmetro calculados e velocidades médias de bombeamento e de adução

<b>EATeta, adutora e subadutoras</b>				
<b>Trecho</b>	<b>Diâmetro nominal (mm)</b>	<b>Diâmetro interno (mm)</b>	<b>Velocidade média (m/s)</b>	
			<b>Início de plano (Operação 3+2)</b>	<b>Final de Plano (Operação 4+1)</b>
Sucção EATeta	800	798,8	0,53	0,53
Barrilete EATeta	700	697,2	de 0,70 a 2,11	de 0,72 a 2,81
<b>Adutora Trecho 1</b>	<b>1.000</b>	<b>1000,0</b>	<b>1,02</b>	<b>1,36</b>
Subadutora 1	350	352,6	1,84	2,46
<b>Adutora Trecho 2</b>	<b>900</b>	<b>899,4</b>	<b>0,98</b>	<b>1,31</b>
Subadutora 2	300	305,6	1,97	2,63
<b>Adutora Trecho 3</b>	<b>800</b>	<b>798,8</b>	<b>0,96</b>	<b>1,27</b>
Subadutora 3	400	402,8	1,45	1,94
<b>Adutora Trecho 4</b>	<b>600</b>	<b>605,2</b>	<b>1,02</b>	<b>1,36</b>
<b>Adutora Trecho 5</b>	<b>500</b>	<b>504,0</b>	<b>0,86</b>	<b>1,15</b>
Subadutora 4	300	305,6	1,67	2,22

Também foram definidas as características do sistema hidráulico da EATeta's dos SAA's Guamá e Inhangapi, tais como comprimento das tubulações, peças e conexões. Essas informações são apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 – Características das EATeta

Trecho	Comprimento (m)	Peças e conexões		
		Característica	Quantidade	
Sucção	8,45	Curva longa 90°	1	
		Válvula de pé	1	
		Crivo	1	
		Redução excêntrica	1	
Barrilete	20,36	Ampliação concêntrica	1	
		Curva longa 90°	1	
		Tê de saída lateral	1	
		Tê de passagem direta	4	
		Válvula borboleta	1	
		Válvula de Retenção	1	
		Válvula borboleta	1	
Adutora	Trecho 1 (Guamá)	25.657,45	Válvula borboleta	1
			Curvas de 22,5°	26
			Curvas de 45°	8
			Curvas de 90°	2
	Trecho 1 (Inhangapi)	14.505,26	Válvula borboleta	1
			Curvas de 22,5°	7
			Curvas de 45°	4
			Curvas de 90°	1
	Trecho 2	383,61	Válvula borboleta	1
			Tê de passagem direta	1
	Trecho 3	1.140,52	Válvula borboleta	1
			Tê de passagem direta	1
			Tê de saída lateral	1
			Curvas de 22,5°	2
	Trecho 4	1.216,81	Válvula borboleta	1
			Redução	1
			Curvas de 45°	2
			Tê de saída lateral	1
	Trecho 5	3.265,00	Válvula borboleta	1
			Curvas de 90°	4
Tê de passagem direta			1	
Saída de tubulação			1	

No Quadro 16 são apresentadas as características das subadutoras de água tratada que encaminham os volumes de água aduzidos para os Setores 1, 2, 3 e 5.

Quadro 16 – Características das subadutoras de água tratada

Trecho	Comprimento (m)	Peças e conexões	
		Característica	Quantidade
Subadutora 1	2.961	Válvula borboleta	1
		Curvas de 90°	3
		Tê de saída lateral	1
		Saída de tubulação	1
Subadutora 2	292	Válvula borboleta	1
		Curvas de 90°	2
		Tê de saída lateral	1
		Saída de tubulação	1
Subadutora 3	2.880	Válvula borboleta	1
		Curvas de 45°	2
		Curvas de 90°	2
		Tê de passagem direta	1
Subadutora 4	3.400	Saída de tubulação	1
		Válvula borboleta	1
		Curvas de 90°	2
		Tê de saída lateral	1
		Saída de tubulação	1

Vale observar que as configurações dos trechos das adutoras e das subadutoras dos dois SAA's são as mesmas, exceto pelo Trecho 1 da adutora principal que tem comprimento no SAA Guamá (25.657,45 m) 76,88% superior ao comprimento no SAA Inhangapi (14.505,26 m).

Utilizando os valores de vazão de operação da EATeta e as características do sistema hidráulico, foram calculados os valores de altura manométrica de operação das EATeta's dos Sistemas Guamá e Inhangapi, que foram iguais a 97,69 m e 84,13 m, respectivamente. Na Tabela 20 são apresentados os valores de vazão de operação, de altura geométrica e de perda de carga utilizados para o cálculo das alturas manométricas.

Tabela 20 – Determinação de altura manométrica da EATeta

Variável	EATeta	
	Sistema Guamá	Sistema Inhangapi
Vazão por CMB (m³/h)	964	964
Vazão total (m³/h)	3858	3858
Altura geométrica (m)	53,50	53,50
Hf Sucção (m)	0,12	0,12
Hf Barrilete (m)	0,49	0,73
Hf Recalque (m)	43,59	29,79
Altura manométrica (m)	<b>97,69</b>	<b>84,13</b>

Utilizando os valores de vazão por CMB e de altura manométrica, foram selecionados os CMB's das EATeta's dos Sistemas Guamá e Inhangapi com as características operacionais apresentadas no Quadro 17.

Quadro 17 – Características dos CMB's selecionado para as EATeta's

<b>EAT de adução – Sistema Guamá - Operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: RPH S6 250-630</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação	Potência adotada para motor
586 mm	5,69 m	1.493 rpm	400 kW
<b>EAT de adução - Sistema Inhangapi - Operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: RPH S6 250-630</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação	Potência adotada para motor
560 mm	5,76 m	1.491 rpm	330 kW

O modelo da bomba selecionada para a estação elevatória de adução de água tratada dos SAA's Guamá e Inhangapi foi o mesmo, porém com valores de diâmetro de rotor e rotação por minutos diferentes, o que ocasiona divergência na curva de operação dos dois CMB's. Além disso, a potência nominal requerida para o CMB's do Sistema Guamá (400 kWh) foi superior ao requerido para o Sistema Inhangapi (330 kWh). As curvas de operação dos CMB's selecionados para as EATeta's dos dois sistemas são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Curva de operação dos CMB's das EATeta's

<b>Sistema Guamá</b>			<b>Sistema Inhangapi</b>		
Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)	Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)
0,00	117,41	0,00	0,00	105,20	0,00
200,00	116,63	35,31	200,00	104,51	36,46
400,00	114,44	57,26	400,00	102,22	59,27
600,00	110,77	70,52	600,00	98,15	71,57
800,00	105,15	76,02	800,00	91,54	76,01
964,39	97,93	77,20	964,39	84,13	77,00
1000,00	96,20	77,03	1000,00	82,49	77,00
1200,00	85,49	76,14	1200,00	71,84	74,51
1400,00	73,44	72,42	1364,59	61,34	69,30
1466,31	69,08	70,00	-	-	-

Os valores das curvas das bombas foram utilizados na simulação hidráulica dos Sistemas Guamá e Inhangapi.

### 5.3.3. Fase 3 - Distribuição

Nessa fase foram dimensionados os Reservatórios Enterrados (RENT-S) e os Reservatórios Elevados (REL-S) dos cinco setores de abastecimento de água, bem como as Estações Elevatórias dos Setores (EAT-S). Para os RENT-S e REL-S foram consideradas altura útil de nível de água de 7 m e de 4 m, respectivamente. Além disso, foram utilizados 0,5 m entre o fundo do reservatório e o nível mínimo de água, e 0,5 m de borda livre, totalizando 8,0 m de altura para os REL-S e 5,0 m de altura para os RENT-S.

Utilizado os valores das cotas dos terrenos dos pontos de instalação dos sistemas elevação-reservação dos setores (Tabela 11) e as dimensões dos reservatórios, foram calculadas as suas cotas superiores e inferiores. Vale observar que em razão do desconhecimento dos valores de perda de carga hidráulica dos REL-S até os pontos mais desfavoráveis das redes de abastecimento de água dos setores, foi adotada a altura de 15 m entre as cotas do terreno e do fundo do REL-S. Com isso, foram calculadas as dimensões das unidades de reservação (Tabela 22).

Tabela 22 – Dimensões das unidades de reservação dos setores de distribuição de água

Variável	Setor 1		Setor 2		Setor 3		Setor 4		Setor 5	
	REL-S1	RENT-S1	REL-S2	RENT-S2	REL-S3	RENT-S3	REL-S4	RENT-S4	REL-S5	RENT-S5
Altura útil (m)	7,00	4,00	7,00	4,00	7,00	4,00	7,00	4,00	7,00	4,00
Altura total (m)	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	5,00
Cota superior (m)	70,00	47,00	81,00	58,00	68,00	45,00	83,00	60,00	71,00	48,00
Cota inferior (m)	62,00	42,00	73,00	53,00	60,00	40,00	75,00	55,00	63,00	43,00
Diâmetro (m)	15,90	38,30	14,20	34,40	13,10	31,60	15,50	37,40	16,10	38,80
Volume útil (m³)	1.390	4.608	1.109	3.718	943	3.137	1.321	4.394	1.425	4.729
Volume total (m³)	1.588	5.760	1.267	4.647	1.078	3.921	1.510	5.493	1.629	5.912

Para o dimensionamento das EAT-S, foi adotado arranjo com quatro CMB's em operação e um CMB reserva (Operação 4+1). Para a determinação da vazão de bombeada foi utilizada a equação (5.3).

$$Q_{setor} = \frac{\bar{Q}_{setor} \times k_1 \times k_2}{t} \quad (5.3)$$

Onde:

$Q_{setor}$  = Vazão de adução de água do setor (m<sup>3</sup>/h);

$\bar{Q}_{setor}$  = Vazão média demandada por setor de abastecimento de água (m<sup>3</sup>/d);

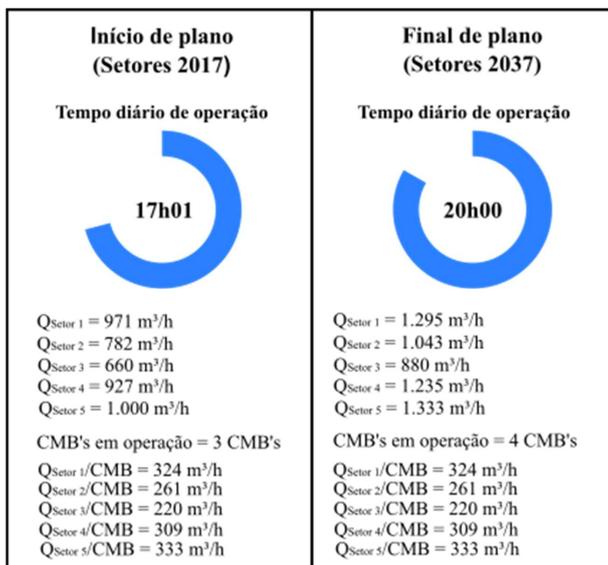
$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

$k_2$  = Coeficiente da hora de maior consumo (adimensional);

Os valores de  $k_1$  e  $k_2$  utilizados no cálculo das vazões foram iguais a 1,2 e 1,5, respectivamente. O tempo adotado para a operação das EAT-S foi de 20 horas por dia e a vazão de bombeamento foi dividida pelo número de CMB's utilizados.

Utilizando o valor de vazão de água por CMB e calculando a vazão de bombeamento das EAT-S dos cinco setores de abastecimento de água no início de plano (2017), foi identificado o número demandado de CMB's para a operação dos SAA's no início de plano e o tempo de operação por dia das EAT-S. Os resultados das elevatórias dos cinco setores são apresentados na Figura 26.

Figura 26 – Informações das EAT-S no início e no final de plano



Com isso, os valores de vazão de bombeamento foram usados para calcular os diâmetros das tubulações das EAT-S, sendo que os valores de velocidade de fluxo de água nas tubulações deveriam estar dentro dos limites recomendados nas normas técnicas da ABNT agrupadas no Quadro 7. Os resultados do dimensionamento dos diâmetros das tubulações são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 – Valores de diâmetro calculados e velocidades médias de bombeamento das EAT-S

Setor/ Trecho	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Velocidade média (m/s)		
			Início de plano (Operação 3+2)	Final de Plano (Operação 4+1)	
Setor 1	Sucção	450	452,8	0,56	0,56
	Barrilete	400	402,8	de 0,71 a 2,12	de 0,71 a 2,82
	Recalque	500	504,0	1,35	1,8
Setor 2	Sucção	400	402,8	0,57	0,57
	Barrilete	350	352,6	de 0,74 a 2,23	de 0,74 a 2,97
	Recalque	500	504	1,09	1,45
Setor 3	Sucção	400	402,8	0,48	0,48
	Barrilete	350	352,6	de 0,63 a 1,88	de 0,63 a 2,5
	Recalque	450	452,8	1,14	1,52
Setor 4	Sucção	450	452,8	0,53	0,53
	Barrilete	400	402,8	de 0,67 a 2,02	de 0,67 a 2,69
	Recalque	500	504	1,29	1,72
Setor 5	Sucção	450	452,8	0,57	0,57
	Barrilete	400	402,8	de 0,73 a 2,18	de 0,73 a 2,91
	Recalque	500	504	1,39	1,86

Em seguida foram definidas as características do sistema hidráulico das EAT-S, tais como comprimento das tubulações, peças e conexões. Essas informações são apresentadas no Quadro 19.

Quadro 19 – Características das EAT-S

Trecho	EAT-S					Peças e conexões	
	Comprimento (m)					Característica	Quantidade
	EAT-S1	EAT-S2	EAT-S3	EAT-S4	EAT-S5		
<b>Sucção</b>	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	Curva longa 90°	1
						Válvula de pé	1
						Crivo	1
						Redução excêntrica	1
<b>Barrilete</b>	10,50	10,65	10,70	10,70	10,50	Ampliação concêntrica	1
						Tê de saída lateral	1
						Tê de passagem direta	4
						Válvula borboleta	1
						Válvula de Retenção	1
<b>Recalque</b>	27,52	27,47	27,47	27,21	27,52	Curva de 90°	2
						Tê bifurcação simétrica	1
						Válvula borboleta	2

As EAT-S dos Sistemas Guamá e Inhangapi foram concebidas com as mesmas características. Assim, os resultados do dimensionamento das EAT-S e das unidades de reservação foram utilizados nos dois sistemas.

Utilizando os valores de vazão de operação das EAT-S, as características hidráulicas e as equações de dimensionamento, foram calculados os valores de alturas manométricas de operação das EAT-S, as quais são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Determinação de altura manométrica das EAT-S

Variável	Valor				
	EAT-S1	EAT-S2	EAT-S3	EAT-S4	EAT-S5
<b>Vazão por CMB (m³/h)</b>	324	261	220	309	333
<b>Vazão total (m³/h)</b>	1.295	1.043	880	1.235	1.333
<b>Altura geométrica (m)</b>	27,59	27,59	27,59	27,59	27,59
<b>Hf Sucção (m)</b>	0,13	0,13	0,09	0,12	0,13
<b>Hf Barrilete (m)</b>	0,75	0,84	0,60	0,68	0,54
<b>Hf Recalque (m)</b>	0,68	0,44	0,49	0,61	0,72
<b>Altura manométrica (m)</b>	<b>29,14</b>	<b>29,00</b>	<b>28,78</b>	<b>29,00</b>	<b>28,98</b>

Os valores de vazão por CMB e de altura manométrica de operação das cinco EAT-S foram utilizados para selecionar os CMB's dos setores de distribuição de água dos SAA's Guamá e Inhangapi. As características dos CMB's selecionados são apresentadas no Quadro 20.

Quadro 20 – Características do CMB selecionado para as EAT-S

<b>EAT-S1 – operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: ETN 200-150-315 GGSAA10GD503704B</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação da bomba	Potência adotada para motor
306 mm	2,65 m	1.482 rpm	37 kW
<b>EAT-S2 – operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: ETN 200-150-315 GGSAA10GD503004B</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação da bomba	Potência adotada para motor
300 mm	2,31 m	1.474 rpm	37 kW
<b>EAT-S3 – operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: ETN 150-125-315 GGSAA10GD502204B</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação da bomba	Potência adotada para motor
301 mm	2,32 m	1.471 rpm	30 kW
<b>EAT-S4 – operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: ETN 200-150-315 GGSAA10GD503004B</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação da bomba	Potência adotada para motor
306 mm	2,55 m	1.470 rpm	37 kW
<b>EAT-S5 – operação (4+1)</b>			
<b>Modelo da bomba: ETN 200-150-315 GGSAA10GD503704B</b>			
Diâmetro do rotor da bomba	NPSH requerido	Velocidade de rotação da bomba	Potência adotada para motor
308 mm	2,70 m	1.481 rpm	37 kW

Os valores de NPSH disponível das EAT-S1, da EAT-S2, da EAT-S3, da EAT-S4 e da EAT-S5 foram iguais a 7,37 m, 7,37 m, 7,41 m, 7,38 m e 7,37 m, respectivamente. Com isso, os sistemas hidráulicos atendem aos valores de NPSH requerido pelos CMB's selecionados.

Os CMB's das EAT-S2 e EAT-S4 e das EAT-S1 e EAT-S5 são do mesmo modelo, sendo que os CMB's dos EAT-S2 e EAT-S4 apresentam diâmetro de rotores diferentes e todos os CMB's apresentam valores de velocidade de rotação distintos<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Valores de velocidade de rotação específica em CMB's são possíveis lançando mão de inversores de frequência que, de acordo com Coutinho e Soares (2017), são "equipamentos capazes de alterar a frequência do sinal elétrico para que as bombas possam operar em diferentes velocidades de rotação".

As curvas das bombas das EAT-S são apresentadas na Tabela 24 com valores de vazão, de altura manométrica e de rendimentos identificados a partir da curva do fabricante.

Tabela 24 – Curva de operação dos CMB's das EAT-S

Setor 1			Setor 2			Setor 3			Setor 4			Setor 5		
Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)	Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)	Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)	Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)	Vazão (m³/h)	Altura man. (m)	Rendimento (%)
0	33,8	0,0	0	32,1	0,0	0	33,1	0,0	0	33,3	0,0	0	34,1	0,0
100	33,5	44,1	50	31,9	25,2	50	33,0	36,9	100	33,0	44,3	100	33,8	44,1
200	32,4	68,9	100	31,7	44,6	100	32,5	59,8	200	31,8	69,1	200	32,8	68,8
300	30,0	80,4	150	31,2	58,8	150	31,4	73,5	300	29,2	80,4	300	30,3	80,4
324	29,1	82,1	200	30,4	69,1	200	29,7	79,9	309	29,0	81,4	333	29,2	82,6
400	26,2	83,8	250	29,3	76,2	220	28,8	81,2	400	25,4	83,8	400	26,5	84,0
500	21,4	80,4	261	29,0	77,6	250	27,5	82,0	500	20,6	79,9	500	21,7	80,6
523	20,1	78,3	300	27,8	80,4	300	24,5	80,5	509	19,7	78,3	526	20,3	78,3
-	-	-	350	26,1	83,0	306	24,0	79,9	-	-	-	-	-	-
-	-	-	400	24,1	83,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	509	18,9	78,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

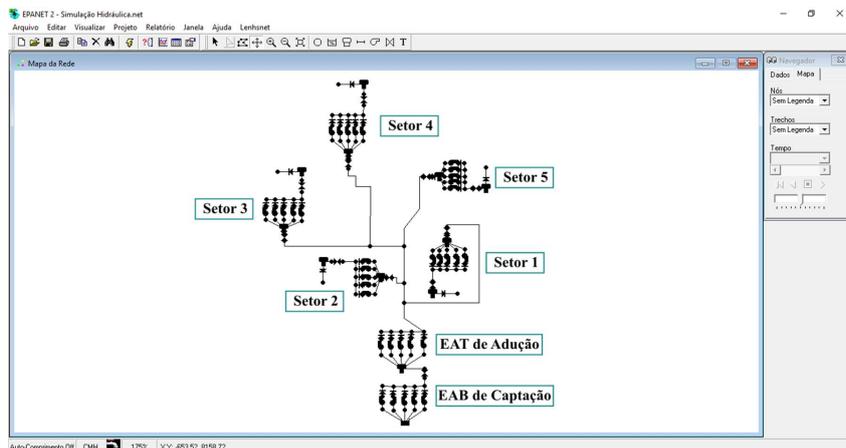
Os dados do dimensionamento das unidades dos Sistemas Guamá e Inhangapi foram utilizados como dados de entrada na simulação da operação dos SAA's Guamá e Inhangapi no EPANET 2.0.

#### 5.4. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

De acordo com a NBR 21215-1 (2017), “O dimensionamento e a análise do funcionamento global do sistema hidráulico devem ser realizados por simulação hidráulica”. Essas simulações devem garantir as vazões, pressões e velocidades demandadas no projeto e normatizadas.

Nesse sentido, para a simulação hidráulica das alternativas de concepção estudadas, foi desenhada a representação esquemática na interface do EPANET 2.0. O mesmo desenho esquemático foi utilizado para a simulação do Sistema Guamá e do Sistema Inhangapi, alterando apenas os dados divergentes entre os sistemas. O desenho esquemático das alternativas de Concepção pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 – Desenho esquemático das dos Sistemas Guamá e Inhangapi



A quantidade total de objetos físicos inseridos na simulação dos Sistemas Guamá e Inhangapi é apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 – Quantidade de objetos físicos inserido na simulação dos Sistemas

Objeto físico	Quantidade
Nó	136
RNF	1
RNV	11
Trecho	129
Bomba	35
Válvula	11

Os valores de cota das unidades de reservação, das estações elevatórias e das tubulações foram inseridos nos Nós dos Sistemas. Também foram inseridos valores de Consumo-Base apenas nos cinco Nós que representam a rede de distribuição de água. Os valores de Consumo-Base inserido nos Nós variaram de acordo com o ano do horizonte de projeto simulado, sendo esses valores calculados a partir do valor de consumo diário projetado para os cinco setores apresentado na Tabela 10. Os valores de Consumo-Base dos cinco setores nos cinco anos do horizonte de projeto simulados são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Valores de Consumo-Base dos setores de abastecimento de água

Setor	Consumo-Base (m³/h)				
	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
2017	382,71	308,23	260,16	365,12	393,91
2022	405,75	326,79	275,83	387,10	417,64
2027	425,80	342,93	289,45	406,22	438,25
2032	460,83	371,16	313,27	439,64	474,32
2037	599,51	482,84	407,53	571,94	617,05

Os demais dados inseridos nos objetos físicos Nós, RNF, RNV, Trechos, Bomba e nas válvulas foram adotados dos resultados obtidos no estudo das concepções e no dimensionamento das unidades dos sistemas.

Além disso, foram inseridos comandos de controle para a redução do funcionamento das estações elevatórias no horário de ponta do setor elétrico (18h30-21h30). Os controles foram baseados no acionamento e no desligamento das estações elevatórias de água em função no nível de água dos reservatórios a jusante. Para isso, foram criados três períodos horários ao longo do dia com diferentes faixas de nível de operação.

Para o primeiro período das 0h01 às 16h30 e das 21h31 às 24h, foi adotada a faixa de nível normal de operação. Para o período das 16h31 às 18h30, foi adotada faixa de nível próxima ao nível máximo de operação a fim de manter o volume de água reservado próximo à capacidade máxima de reservação. Já no período das 18h31 às 21h30, foi adotada faixa de nível de operação próxima ao nível mínimo de reservação, a fim de minimizar o bombeamento de água nesse período.

As faixas de nível de operação das estações elevatórias de água são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 – Faixas de nível operação das estações elevatórias de água

Estação Elevatória	Ação do CMB	Faixas de nível de operação (m)			
		(0h01-16h31)	(16h31-18h)	(18h31-21h30)	(21h31-24h00)
<b>EAB</b>	Desligar	4,50	4,50	1,00	4,50
	Ligar	1,50	4,00	0,50	1,50
<b>EATeta</b>	Desligar	Condição especial			
	Ligar	3	4	0,5	3
<b>EAT Setores</b>	Desligar	7,50	7,50	1,00	7,50
	Ligar	0,50	7,00	0,50	0,50

A condição especial de desligamento da EAT de Adução foi necessária devido à água por ela bombeada ser encaminhada para os cinco RENT's dos setores. Para evitar que os RENT's dos setores extravasassem após atingir o nível máximo de reservação com a EAT de adução ainda em funcionamento, foram adotadas, nas chegadas das tubulações de adução nos RENT's dos setores, válvulas com abertura e fechamento controlados pelo nível de água no reservatório. O controle adotado para o funcionamento das válvulas de nível dos RENT's dos setores é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Faixa de nível de operação das válvulas de nível de chegada dos RENT's dos setores

Ação da válvula	Faixas de nível de operação da válvula de nível (m)			
	(0h01-16h31)	(16h31-18h)	(18h31-21h30)	(21h31-24h00)
<b>Fechar</b>	4,5	4,5	0,5	4,5
<b>Abrir</b>	3	4	1	3

A condição especial de desligamento da EAT de Adução foi programada em função do estado das válvulas de nível dos RENT's dos setores, no caso, quando todas as válvulas de nível estivessem fechadas, a EAT de Adução, então, seria desligada. Os controles inseridos no EPANET 2.0 para a simulação dessas condições de operação são apresentados no Anexo B.

## 5.5. RESULTADO DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS

Para a identificação do consumo das despesas e energia elétrica dos Sistemas Guamá e Inhangapi, foram exportados e sistematizados 21.600.000 dados do EPANET, sendo 10.972.800 dados de vazão de água, 9.676.800 de altura manométrica dos CMB's e 950.400 de nível de água dos reservatórios.

Também foram elaborados gráficos da operação do trigésimo dia simulado do ano 2037 para facilitar a visualização dos resultados da simulação, bem como a análise da rotina de operação das unidades de bombeamento e reservação de água dos Sistemas Guamá e Inhangapi.

No Gráfico 4 são apresentadas as rotinas operacionais das unidades de produção de água e dos Setores 1 e 2 de abastecimento de água, enquanto o Gráfico 5 são apresentadas as rotinas de operação simulada das unidades dos Setores 3, 4 e 5 dos SAA's Guamá e Inhangapi.

Gráfico 4 – Rotina operacional da etapa de produção, do Setor 1 e do Setor 2 no trigésimo dia simulado de 2037

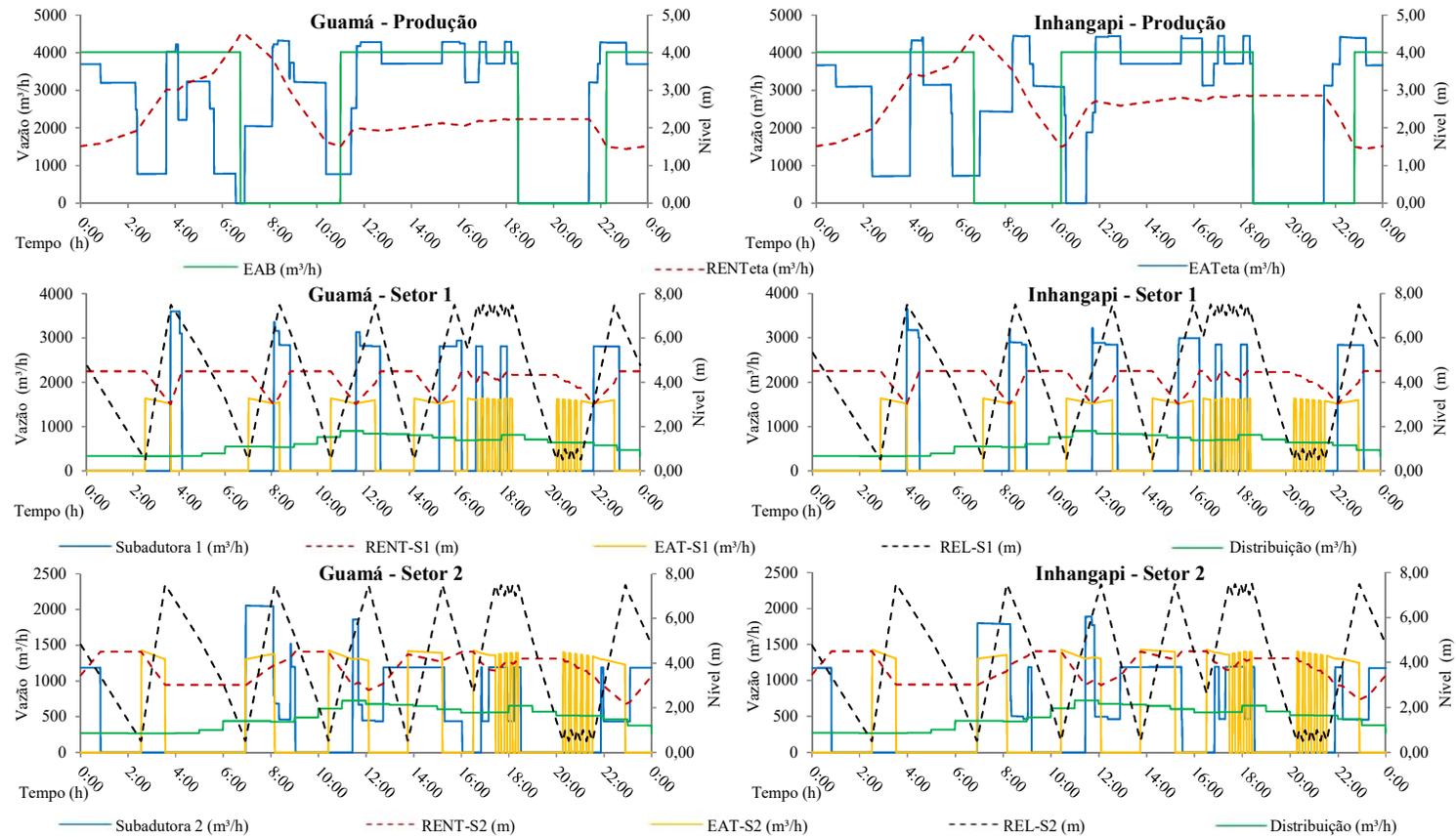
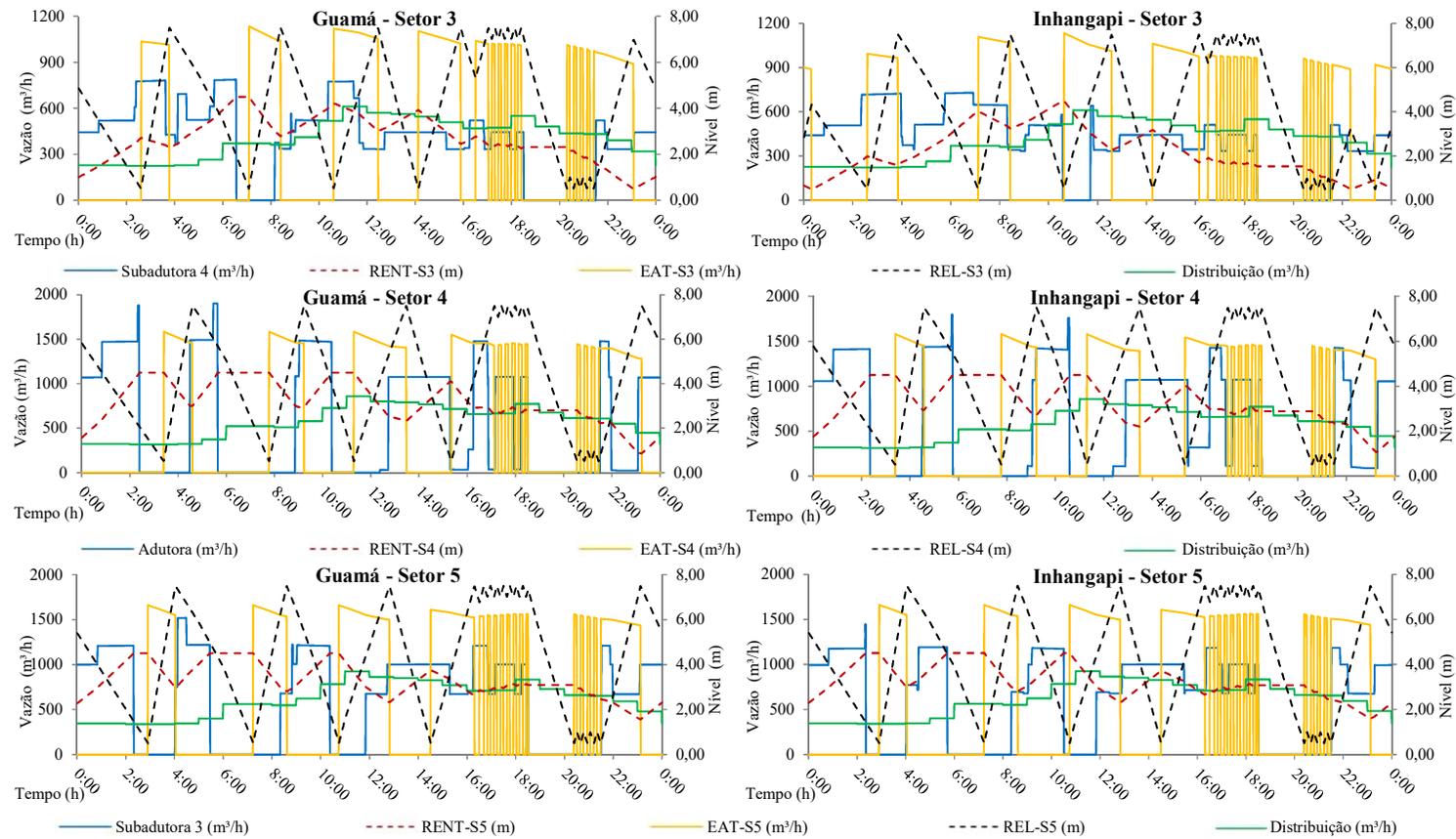


Gráfico 5 – Rotina operacional do Setor 3, do Setor 4 e do Setor 5 no trigésimo dia simulado de 2037



As EAB's dos Sistemas Guamá e Inhangapi bombearam 64.340 m<sup>3</sup> e 64.206 m<sup>3</sup> de água no dia simulado, com funcionamento de 16h02 e de 16h, respectivamente. Esses volumes foram integralmente bombeados no horário fora de ponta do setor elétrico, já que não foi atingido o nível mínimo de água no RENTeta nas três horas do horário de ponta. Isso foi possível pela paralisação das EATeta's no horário de ponta, sem que ocorresse prejuízo no abastecimento de água da população atendida pelo SAA Guamá ou pelo SAA Inhangapi.

A operação da EATeta do SAA Guamá bombeou 64.307 m<sup>3</sup> e da EATeta Inhangapi 64.207 m<sup>3</sup> de água no dia simulado, tendo funcionado durante 20h37 com valores de vazão transportada pela adutora entre 774 m<sup>3</sup>/h e 4.327 m<sup>3</sup>/h no SAA Guamá e entre 717 m<sup>3</sup>/h e 4.449 m<sup>3</sup>/h no SAA Inhangapi, que funcionou por 20h08.

A grande variação nos valores de vazão de adução foi decorrente dos diferentes pontos de operação dos CMB's, ocasionados pelas combinações variadas de fluxos de água nas linhas de adução que alimentam os reservatórios dos setores de distribuição de água tratada, indo desde o fluxo por apenas uma linha de adução (quando as válvulas de nível de quatro RENT's estiveram fechadas simultaneamente), até o fluxo por todas as linhas (quando todas as válvulas de nível dos RENT's estivessem abertas simultaneamente).

Na Tabela 29 são relacionados os valores do tempo e da vazão média de água na tubulação de entrada dos RENT's dos cinco setores de distribuição de água.

Tabela 29 – Adução de água para os RENT's dos setores

Setor abastecido	Linha de adução	Adução de água tratada para setores			
		Sistema Guamá		Sistema Inhangapi	
		Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	Tempo de adução	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	Tempo de adução
1	Subad. 1	2.923	4h55	2.927	4h54
2	Subad. 2	1.023	11h19	1.058	10h56
3	Subad. 4	504	19h24	491	19h52
4	Adutora	1.004	13h41	983	13h59
5	Subad. 3	993	14h57	964	15h22

Vale observar que os valores diferentes de vazão média e de tempo de adução resultaram em rotinas operacionais especificações de alimentação de cada setor, sendo que na linha de adução com menor vazão, foram identificados os maiores valores de tempo de operação. Assim, os volumes de água aduzidos no dia simulado foram proporcionais à população atendida nos cinco setores, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 – Relação de volume aduzido e população atendida

Setor abastecido	População atendida (hab)	Sistema Guamá		Sistema Inhangapi	
		Vazão diária de adução (m <sup>3</sup> /dia)	$\frac{\text{Vazão aduzida}}{\text{Pop. atendida}}$ (m <sup>3</sup> /hab.dia)	Vazão diária de adução (m <sup>3</sup> /dia)	$\frac{\text{Vazão aduzida}}{\text{Pop. atendida}}$ (m <sup>3</sup> /hab.dia)
1	60.633	14.373	0,237	14.342	0,237
2	48.833	11.577	0,237	11.562	0,237
3	41.217	9.780	0,237	9.755	0,237
4	57.845	13.732	0,237	13.740	0,238
5	62.407	14.845	0,238	14.808	0,237

Vale observar que os valores de vazão média e de tempo de adução tem impacto direto na variação do nível de água nos RENT's, que foram simulados para nível máximo de água de 4,5 m e nível mínimo de 0,5 m. Na Tabela 31 são apresentados os níveis de água médios de operação dos RENT's dos setores de abastecimento de água.

Tabela 31 – Nível de água médio de operação dos RENT's

Sistema	Nível médio de operação (m)				
	RENT-S1	RENT-S2	RENT-S3	RENT-S4	RENT-S5
Guamá	3,7	3,6	2,8	3,0	3,1
Inhangapi	3,7	3,6	2,2	3,0	3,1

Assim, é oportuno citar que o RENT-S1 teve o maior valor de nível médio de operação (3,7 m), sendo o menor valor observado no RENT-S3, no caso 2,8 m na operação do SAA Guamá e 2,2 m no SAA Inhangapi.

Em relação à rotina operacional das estações elevatórias dos setores (EAT-S), instaladas entre o RENT e o REL, foi constatado bombeamento de água no horário de ponta, em razão da capacidade dos REL's, dimensionada com os procedimentos citados em Heller e Pádua (2016) e Tsutiya (2006), não ser suficiente para suprir o volume de água demandado no período de 18h30 a 21h30.

Com isso, nas três horas do horário de ponta o maior período de funcionamento foi de 33 minutos (18,33%) na EAT-S3 nas simulações do SAA Guamá e do SAA Inhangapi. Por outro lado, o menor período com operação nesse horário de ponta foi da EAT-S4 do Sistema Inhangapi (24 minutos).

Como pode ser observado nos Gráficos 4 e 5, o nível de água nos REL-S foi mantido próximo ao valor máximo no período que antecede ao início do horário de ponta.

Essa programação teve como objetivo minimizar o bombeamento de água nesse período de maior valor tarifário de energia elétrica

Ainda é oportuno comentar que a vazão de distribuição de água teve variação conforme o padrão de consumo inserido na simulação hidráulica (Tabela 3), portanto, tendo impactado na rotina operacional das unidades anteriores dos dois SAA simulados.

### 5.5.1. Consumo de energia elétrica das alternativas de concepção

No bombeamento de água das unidades consumidoras de energia elétrica dos Sistemas Guamá e Inhangpi foram identificados os valores de potência ativa consumida por minuto do relatório do EPANET, com a equação (5.4).

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{\eta} \quad (5.4)$$

Onde:

P = Potência ativa (kW);

$\gamma$  = peso específico da água (kN/m<sup>3</sup>);

Q = Vazão de bombeamento (m<sup>3</sup>/s);

H<sub>man</sub> = Altura manométrica (m);

$\eta$  = Rendimento (%).

Para a identificação dos valores de rendimento, foram utilizadas equações de regressão polinomial de quarta ordem a partir de curva de tendência no software Excel. As curvas de tendência que geraram as equações de regressão polinomial são apresentadas no Anexo C.

Em seguida, para o cálculo do valor de consumo de energia elétrica consumida das estações elevatórias, foi utilizada a equação (5.5).

$$C_{e_{bomb}} = P_{média} \times T \quad (5.5)$$

Onde:

$C_{\text{bomb}}$  = consumo de energia elétrica no bombeamento de água num determinado período de tempo (kWh);

$P_{\text{média}}$  = potência ativa média consumida num determinado período de tempo (kW);

T = tempo referente ao período de cálculo do consumo de energia elétrica (h);

Na Tabela 32 são relacionados os valores de volume de água bombeado e de energia elétrica consumida nas estações elevatória de água no último ano do horizonte de projeto (2037). Com base nesses dados, foram determinados os valores de Consumo Específico de Energia Elétrica (CE) das estações elevatória.

Tabela 32 – Volume bombeado, energia elétrica consumida e CE das unidades de bombeamento em 2037

Unidade	Sistema Guamá			Sistema Inhangapi		
	Volume bombeado (m³/mês)	Energia consumida (kWh/mês)	CE (kWh/m³)	Volume bombeado (m³/mês)	Energia consumida (kWh/mês)	CE (kWh/m³)
EAB	1.903.772,41	86.384,12	0,045	1.903.638,65	86.378,05	0,045
EATeta	1.916.266,48	739.666,89	0,386	1.915.573,47	631.336,88	0,330
EAT-S1	430.093,15	37.605,84	0,087	430.606,50	37.645,85	0,087
EAT-S2	347.264,93	30.885,32	0,089	347.071,58	30.895,80	0,089
EAT-S3	293.109,85	26.737,45	0,091	292.673,29	27.054,04	0,092
EAT-S4	410.893,71	36.680,51	0,089	410.306,81	36.543,55	0,089
EAT-S5	442.545,51	39.473,97	0,089	444.043,97	39.598,13	0,089
ETA e outros	-	110.826,01	0,058	-	98.828,03	0,051
<b>Total</b>	-	<b>1.108.260,11</b>	-	-	<b>988.280,33</b>	-

A EAB foi a unidade de bombeamento com o menor valor de CE (0,045 kWh/m³) nos dois Sistemas. Vale citar que, mesmo tendo bombeado volume de água próximo ao valor da EATeta, o consumo de energia elétrica na EAB foi cerca de 88,32% (SAA Guamá) e 86,32% (Sistema Inhangapi) inferior ao da EATeta. Isso pode ser explicado pelos menores valores de cota geométrica e de distância de bombeamento, os quais, naturalmente reduziram a altura manométrica e a potência dos CMB's da EAB.

O consumo de energia elétrica na EATeta do Sistema Guamá foi 17,16% maior do que o da EATeta do Sistema Inhangapi. Essa diferença decorre dos valores de potência elétrica dos CMB's da EATeta do SAA Guamá (400 kW) e da EATeta do SAA Inhangapi (330 kW), ocasionados pela diferença de 11,15 km na extensão da adutora principal do SAA Inhangapi (14,51 km) e do SAA Guamá (25,66 km).

Os valores de energia elétrica consumida nos cinco Setores do SAA Guamá (171.383 kWh/mês) do SAA Inhangapi (171.737 kWh/mês) representaram 15,46% e 17,38% da energia elétrica total consumida nesses Sistemas, respectivamente.

O Setor 1 foi o que apresentou o menor valor de CE (0,087 kWh/m<sup>3</sup>) no SAA Guamá e no SAA Inhangapi, ficando o Setor 3 com os maiores valores no SAA Guamá (0,091 kWh/m<sup>3</sup>) e no SAA Inhangapi (0,092 kWh/m<sup>3</sup>). Como o nível de operação de água nos RENT's impacta diretamente nos valores de altura manométrica de operação dos CMB's e, por consequência, nos valores de energia elétrica consumida, o menor valor de CE do Setor 1 pode ser explicado pelo nível de água médio de operação de 3,7 m no RENT-S1 dos SAA Guamá e SAA Inhangapi, enquanto o Setor 3 teve nível de água médio de 2,8 m no RENT-S3 no SAA Guamá e de 2,2 m no SAA Inhangapi.

Para o cálculo de CE do item “ETA e outros” foi utilizada a soma dos valores de volume de água bombeado nos cinco setores de abastecimento de água, resultando no valor de CE de 0,058 kWh/m<sup>3</sup> no SAA Guamá e de 0,051 kWh/m<sup>3</sup> no SAA Inhangapi.

Assim, o valor de energia elétrica total consumida na simulação do SAA Guamá (1.108.260,11 kWh/mês) foi 12,14% superior ao valor observado no SAA Inhangapi (988.280,33 kWh/mês). Isso ocorre pelas diferentes potências de bombeamento das EATeta dos dois Sistemas.

No cálculo do valor de consumo específico global do sistema, ou seja, a quantidade de energia elétrica necessária para produzir um metro cúbico de água desde a captação até a sua entrega na rede de distribuição, foi considerada a energia elétrica agregada como o valor da soma do consumo de energia elétrica das estações de bombeamento de água de cada Sistema, no caso o consumo de energia elétrica na:

- a) estação elevatória de captação de água bruta (EAB);
- b) ETA e em outras instalações (ETA e outros);
- c) estação elevatória que bombeia a água tratada na ETA aos setores (EATeta);
- d) estação elevatória dos setores (EAT-S).

Dessa forma, foram calculados os CE agregados de cada setor de abastecimento de água utilizando a equação (5.6).

$$CE_{agregado} = CE_{EAB} + CE_{outros} + CE_{EATeta} + CE_{EAT-S} \quad (5.6)$$

Onde:

$CE_{\text{agregado}}$  = Consumo específico de energia elétrica agregado do setor (kWh/m<sup>3</sup>);

$CE_{\text{EAB}}$  = Consumo específico de energia elétrica da EAB de captação (kWh/m<sup>3</sup>);

$CE_{\text{outros}}$  = Consumo específico de energia elétrica do item “ETA e outros” (kWh/m<sup>3</sup>);

$CE_{\text{EATeta}}$  = Consumo específico de energia elétrica da EAT da ETA (kWh/m<sup>3</sup>);

$CE_{\text{EAT-S}}$  = Consumo específico de energia elétrica da EAT dos setores (kWh/m<sup>3</sup>).

Os valores de CE agregado dos cinco setores dos SAA’s Guamá e Inhangapi são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Valores de CE dos Sistemas Guamá e Inhangapi em 2037

Sistema	Setor	CE das unidades (kWh/m <sup>3</sup> )				CE agregado (kWh/m <sup>3</sup> )
		EAB	ETA e outros	EATeta	EAT setores	
Guamá	1	0,045	0,058	0,386	0,087	0,576
	2	0,045	0,058	0,386	0,089	0,578
	3	0,045	0,058	0,386	0,091	0,580
	4	0,045	0,058	0,386	0,089	0,578
	5	0,045	0,058	0,386	0,089	0,578
Inhangapi	1	0,045	0,051	0,330	0,087	0,514
	2	0,045	0,051	0,330	0,089	0,515
	3	0,045	0,051	0,330	0,092	0,519
	4	0,045	0,051	0,330	0,089	0,515
	5	0,045	0,051	0,330	0,089	0,515

Os maiores e os menores valores de CE’s agregados foram o do Setor 3 do Sistema Guamá (0,580 kWh/m<sup>3</sup>) e o do Setor 1 do SAA Inhangapi (0,514 kWh/m<sup>3</sup>), respectivamente.

Também foi verificado que todos os valores de CE do SAA Inhangapi foram menores do que os do SAA Guamá, em razão da diferença de consumo de energia elétrica da unidade EATeta dos dois Sistemas.

A partir da média dos valores de CE agregado dos cinco setores, foram calculados os valores de CE agregado global de 0,578 kWh/m<sup>3</sup> para o SAA Guamá e de 0,516 kWh/m<sup>3</sup> para o SAA Inhangapi. Assim, a produção de 1 m<sup>3</sup> de água no SAA Guamá consome 12,11% a mais de energia elétrica do que o observado no SAA Inhangapi.

### 5.5.2. Despesa de energia elétrica das alternativas de concepção

Na determinação da despesa de energia elétrica no ano de final de plano (2037) foram identificados os valores de consumo de energia elétrica no horário de ponta e fora de ponta do setor elétrico e os valores de demanda de energia elétrica contratada para suprir a capacidade dos equipamentos eletromecânicos, conforme relacionado na Tabela 34.

Tabela 34 – Valores de consumo e demanda de energia elétrica mensal dos SAA's em 2037

SAA	Energia elétrica			Demanda (kW)
	Consumo (kWh/mês)			
	Ponta	Fora de ponta	Total	
<b>Guamá</b>	10.112	1.098.148	1.108.260	2.532
<b>Inhangapi</b>	9.959	978.322	988.280	2.252

Os consumos de energia elétrica no horário de ponta e no horário fora de ponta do setor elétrico corresponderam a 0,91% e 99,09% do consumo total de energia elétrica no Sistema Guamá e a 1,01% e 98,99% no Sistema Inhangapi, respectivamente.

Vale destacar que os valores de demanda de energia elétrica contratada foram estipulados com base na soma das potências nominais dos motores elétricos dos CMB's das estações elevatórias de água dos dois Sistemas.

A determinação dos valores de consumo (kWh) possibilitou o cálculo da despesa de energia elétrica. Para isso, foram identificados os valores das alíquotas do PIS, CONFINS e ICMS em fatura da rede CELPA, no caso 1,5832%, 7,2925% e 25%, respectivamente.

Além dos valores dos tributos, também foram identificados os valores das taxas de consumo e de demanda de energia elétrica da modalidade tarifária adotada para o presente estudo, no caso, a hora sazonal verde, conforme relacionado na Tabela 35.

Tabela 35 – Valores tarifários de energia elétrica da estrutura tarifária hora sazonal verde

Estrutura hora sazonal verde A4 – de 2,3 kV a 44 kV	
Horário de ponta (R\$/kWh)	2,54902
Horário fora de ponta (R\$/kWh)	0,3499
Demanda (R\$/kW)	25,29

Fonte: CELPA (2019)

Vale observar que não foi considerado consumo de energia reativa excedente<sup>21</sup> e que não houve ultrapassagem de demanda de energia elétrica na operação dos CMB's dos dois SAA's. Com isso, a tarifa de ultrapassagem de demanda de energia elétrica teve valor nulo.

Também não foram considerados percentuais de desconto e nem outras despesas adicionais no cálculo da despesa de energia elétrica dos SAA's Guamá e Inhangapi.

Com base nessas informações, foi calculada a despesa de energia elétrica mensal no último ano de projeto dos Sistemas Guamá e Inhangapi, conforme apresentado na Tabela 36.

Tabela 36 – Despesa de energia elétrica mensal dos Sistemas Guamá e Inhangapi em 2037

Sistema	Energia Elétrica			ICMS (R\$/mês)	PIS (R\$/mês)	COFINS (R\$/mês)	Total (R\$/mês)
	Consumo (R\$/mês)		Demanda (R\$/mês)				
	Ponta	Fora de ponta					
<b>Guamá</b>	25.776	384.242	64.034	179.228	11.350	52.281	716.910
<b>Inhangapi</b>	25.385	342.315	56.953	160.551	10.167	46.833	642.204

O valor da despesa de energia elétrica no SAA Guamá (R\$ 716.910/mês) foi 11,63% maior do que o valor observado no Sistema Inhangapi (R\$ 642.204 por mês).

No SAA Guamá, o consumo de energia elétrica no horário fora de ponta (53,60%) foi o componente com maior impacto no valor de despesa de energia elétrica, enquanto a despesa com consumo de energia elétrica no horário de ponta correspondeu a 3,60%, a demanda de energia elétrica a 8,93% e os tributos (ICMS, PIS e COFINS) a 33,88% da despesa total de energia elétrica do Sistema.

Da mesma forma, o componente do Sistema Inhangapi com maior valor percentual na despesa total de energia elétrica foi o consumo de energia elétrica no horário fora de ponta com 53,30%, seguido pelas despesas tributárias com 33,88%, pela demanda de energia igual com 8,87% e pelo consumo de energia elétrica no horário de ponta com 3,95%.

O pequeno valor percentual da despesa com o consumo de energia elétrica no horário de ponta aconteceu em função da paralisação da EAB e da EATeta, e da pequena operação das estações elevatórias dos setores nesse período de operação dos dois Sistemas.

<sup>21</sup> A anulação do valor de energia reativa excedente consumida em motores elétricos é possível utilizando motores com valores de fator de potência superiores a 0,92 ou, no caso de motores com fatores de potência inferiores ao limite mínimo para a não cobrança de consumo de energia reativa excedente, utilizando capacitores para o ajuste dos valores de fator de potência.

Esse comportamento foi possível em virtude da capacidade das unidades de reservação e da rotina operacional programada para a operação das unidades de elevação, que objetivou a minimização do consumo de energia elétrica no horário de ponta.

Na pesquisa não foi possível atingir o objetivo de paralisação dos equipamentos no horário de ponta, pois, para isso, os reservatórios dos setores deveriam ter maior capacidade para o armazenamento do volume demandado pelos consumidores no horário de ponta sem que fossem abastecidos com água nesse período.

Na estimativa da despesa de energia elétrica de 2017 a 2037 foram utilizados os dados provenientes das simulações da operação dos Sistemas Guamá e Inhangapi nos anos de 2017, 2022, 2027, 2032 e 2037. Como as simulações foram realizadas com o período de um mês de cada ano, os resultados dessas simulações foram utilizados para estimar os valores de consumo de energia elétrica anual dos SAA's. A síntese dos resultados dessas simulações é apresentada na Tabela 37.

Tabela 37 – Valores de consumo de energia elétrica nos cinco anos simulados

Ano	Sistema	Energia elétrica			Demanda (kW) <sup>22</sup>
		Consumo (kWh/ano - percentual)			
		Ponta	Fora de ponta	Total	
2017	Guamá	6.194 - 0,08%	7.952.139 - 99,92%	7.958.333 - 100%	1.899
	Inhangapi	5.631 - 0,08%	7.254.676 - 99,92%	7.260.307 - 100%	1.689
2022	Guamá	16.128 - 0,19%	8.332.455 - 99,81%	8.348.583 - 100%	1.899
	Inhangapi	17.066 - 0,22%	7.567.837 - 99,78%	7.584.903 - 100%	1.689
2027	Guamá	21.974 - 0,25%	8.838.474 - 99,75%	8.860.449 - 100%	1.899
	Inhangapi	22.728 - 0,28%	7.986.548 - 99,72%	8.009.277 - 100%	1.689
2032	Guamá	46.172 - 0,49%	9.394.532 - 99,51%	9.440.704 - 100%	1.899
	Inhangapi	45.691 - 0,53%	8.543.764 - 99,47%	8.589.455 - 100%	1.689
2037	Guamá	123.029 - 0,91%	13.360.802 - 99,09%	13.483.831 - 100%	2.532
	Inhangapi	121.164 - 1,01%	11.902.914 - 98,99%	12.024.077 - 100%	2.252

O valor de demanda de energia elétrica contratada aumentou do ano de 2032 para o ano de 2037 em decorrência do aumento do número de três CMB's em operação por estação elevatória para quatro CMB's.

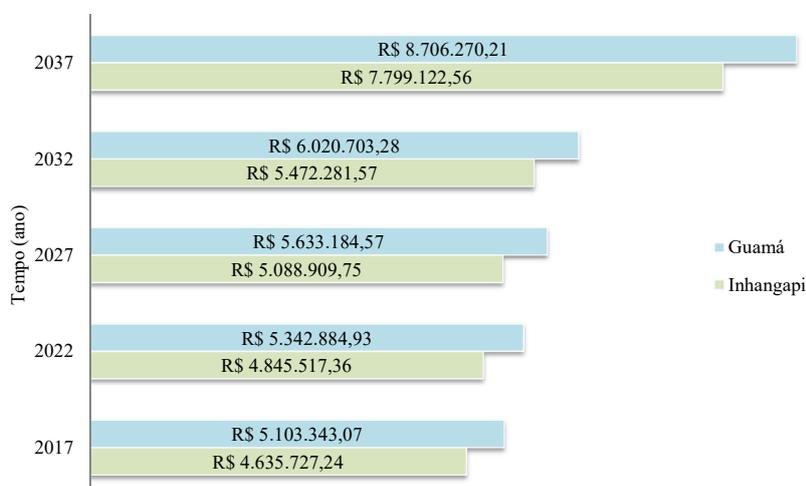
Além disso, o percentual de energia elétrica consumida no horário de ponta, em relação a consumo total, passou de 0,08% em 2017 nos Sistemas Guamá e Inhangapi para 0,91%, no Sistema Guamá, e 1,01%, no Sistema Inhangapi, em 2037. Esse aumento do consumo de energia elétrica no horário de ponta foi ocasionado pela elevação do volume de

<sup>22</sup> Valor de energia elétrica demandada a cada mês do ano

água consumido nos setores de abastecimento de água ao longo do horizonte de projeto, o que reduziu o tempo de esvaziamento dos REL's dos setores.

Os dados de consumo e demanda de energia elétrica, conjuntamente com os percentuais tributários e os valores das tarifas de energia elétricas, foram utilizados para calcular da despesa operacional de energia elétrica dos Setores Guamá e Inhangapi nos anos 2017, 2022, 2027, 2032 e 2037, conforme apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Despesas dos Sistemas Guamá e Inhangapi nos cinco anos simulados



A despesa anual de energia elétrica do Sistema Guamá passou de R\$ 5.103.343,07 em 2017 para R\$ 8.706.270,21 em 2037, tendo aumento de 70,60%. Já a despesa anual de energia elétrica do Sistema Inhangapi, nesse mesmo período, passou de R\$ 4.635.727,24 para R\$ 8.706.270,21, com aumento de 68,24%.

Com base nos valores de despesa de energia elétrica dos cinco anos simulados dos Sistemas Guamá e Inhangapi e utilizando a equação (5.7), foram estimados os valores das despesas de energia elétrica dos anos entre 2017 e 2037.

$$D_{ano} = D_{ip} + \left[ \frac{D_{fp} - D_{ip}}{T_{fp} - T_{ip}} \times (T_{ano} - T_{ip}) \right] \quad (5.7)$$

Onde:

$D_{ano}$  = Despesa anual de energia elétrica do ano calculado (R\$/ano);

$D_{ip}$  = Despesa do ano inicial do período em que a despesa calculada faz parte (R\$/ano);

$D_{fp}$  = Despesa do ano final do período em que a despesa calculada faz parte (R\$/ano);

$T_{ip}$  = Ano inicial do período em que a despesa calculada faz parte (ano);

$T_{fp}$  = Ano final do período em que a despesa calculada faz parte (ano);

$T_{ano}$  = Ano da despesa calculada (ano).

Na Tabela 38 são apresentados os valores de despesa de energia elétrica estimados dos SAA's Guamá e Inhangapi de cada ano do horizonte de projeto (2017-2037) e a despesa de energia elétrica acumulada nesse período.

Tabela 38 – Valores estimados de despesa de energia elétrica de 2017 a 2037

Ano	Despesa de energia elétrica (R\$/ano)	
	Guamá	Inhangapi
2017	5.103.343,07	4.635.727,24
2018	5.151.251,45	4.677.685,27
2019	5.199.159,82	4.719.643,29
2020	5.247.068,19	4.761.601,31
2021	5.294.976,56	4.803.559,34
2022	5.342.884,93	4.845.517,36
2023	5.400.944,86	4.894.195,84
2024	5.459.004,79	4.942.874,32
2025	5.517.064,71	4.991.552,80
2026	5.575.124,64	5.040.231,28
2027	5.633.184,57	5.088.909,75
2028	5.710.688,31	5.165.584,12
2029	5.788.192,05	5.242.258,48
2030	5.865.695,79	5.318.932,84
2031	5.943.199,54	5.395.607,21
2032	6.020.703,28	5.472.281,57
2033	6.557.816,66	5.937.649,77
2034	7.094.930,05	6.403.017,97
2035	7.632.043,44	6.868.386,17
2036	8.169.156,82	7.333.754,36
2037	8.706.270,21	7.799.122,56
<b>Total acumulado (2017-2037)</b>	<b>126.412.703,75</b>	<b>114.338.092,85</b>

A maior despesa de energia elétrica acumulada no horizonte de projeto (2017-2037) foi do SAA Guamá com R\$ 126.412.703,75, enquanto que o SAA Inhangapi teve valor de despesa de energia elétrica acumulada (R\$ 114.338.092,85) equivalente a 90,45% da despesa do SAA Guamá. Dessa forma, em termo de despesa de energia elétrica, o SAA Inhangapi é o mais econômico ao gerar economia total com despesa de energia elétrica ao longo do horizonte de projeto de R\$ 12.074.610,89 em relação ao SAA Guamá.

É oportuno pontuar que na presente pesquisa foram identificados apenas os custos operacionais de energia elétrica dos Sistemas Guamá e Inhangapi, sem abordar outros custos decorrentes da implantação, operação e manutenção de um SAA, tais como: custos construtivos, de tratamento de água, de pessoal, de manutenção e dentre outros.

A principal diferença entre o Sistema Guamá e o Sistema Inhangapi foi o comprimento da adutora de água tratada, sendo o comprimento da adutora do Sistema Guamá igual a 31.663,39 m e do Sistema Inhangapi igual a 20.511,20 m. Essa diferença de comprimento na linha de adução de água tratada ocasionou maior altura manométrica para a EATeta do Sistema Guamá, demandando CMB's com maiores potências para a operação da elevatória. Nesse sentido, o principal fator que impactou na diferença de despesa de energia elétrica entre os Sistemas Guamá e Inhangapi foi a distância do manancial de captação de água para o centro urbano do município de Castanhal.

### 5.5.3. Comparação do desempenho dos SAA's

Utilizando os valores populacionais, de consumo e de despesa de energia elétrica do ano de 2017, foi elaborada a Tabela 39 para comparação dos Sistemas Inhangapi e Guamá com o Sistema Atual em operação do município de Castanhal.

Tabela 39 – Comparação dos Sistemas Atual, Guamá e Inhangapi (2017)

Ano	Sistema	Pop. urb. total (hab)	Pop. urb. atendida (hab)	Vol. de água demandado (m <sup>3</sup> /ano)	Energia consumida (kWh/ano)	Despesa de Energia (R\$/ano)	CE (kWh/m <sup>3</sup> )	DE (R\$/m <sup>3</sup> )
2017	Atual*	172.958	49.058 (28,36%)	6.358.360	5.283.980	2.240.060,76	0,83	0,35
	Guamá	172.958	172.958 (100%)	14.980.695	7.958.333	5.103.343,07	0,53	0,34
	Inhangapi	172.958	172.958 (100%)	14.980.695	7.260.307	4.635.727,24	0,48	0,31

\*Dados retirados do Diagnóstico Anual de Água e Esgotos de Brasil (2019)

Os Sistemas Guamá e Inhangapi, em 2017, foram mais econômicos em termos de energia elétrica para a produção de água em relação ao Sistema Atual, tendo valor de CE de 0,53 kWh/m<sup>3</sup> e 0,48 kWh/m<sup>3</sup>, valores inferiores 36,07% e 41,68% ao CE do Sistema Atual (0,83 kWh/m<sup>3</sup>), respectivamente. Assim, os valores de DE do Sistema Guamá (R\$ 0,34 por m<sup>3</sup>) e do Sistema Inhangapi (R\$ 0,31 por m<sup>3</sup>) também foram inferiores ao do Sistema Atual (R\$ 0,35 por m<sup>3</sup>), o que revela as alternativas de concepção propostas na presente pesquisa mais econômicas para o abastecimento da área urbana de Castanhal do que o atual sistema em operação na área urbana de Castanhal.

Considerando as projeções realizadas (população e demanda de água) e o consumo e a despesa de energia elétrica simuladas no ano de 2047 nas concepções de SAA simuladas, foi elaborada a Tabela 40,

Tabela 40 – Comparação dos Sistemas Guamá e Inhangapi (2037)

Ano	Sistema	Pop. urb. total (hab)	Pop. urb. atendida (hab)	Vol. de água demandado (m <sup>3</sup> /ano)	Energia consumida (kWh/ano)	Despesa de Energia (R\$/ano)	CE (kWh/m <sup>3</sup> )	DE (R\$/m <sup>3</sup> )
2037	Guamá	270.935	270.935	23.466.945	13.483.831	8.706.270,21	0,57	0,37
	Inhangapi	270.935	270.935	23.466.945	12.024.077	7.799.122,56	0,51	0,33

Em 2037, os valores de CE e de DE do SAA Inhangapi (0,51 kWh/m<sup>3</sup> e 0,33 R\$/m<sup>3</sup>) permaneceram menores em relação aos valores de CE e DE identificados no SAA Guamá (0,57 kWh/m<sup>3</sup> e 0,37 R\$/m<sup>3</sup>). Dessa forma, o SAA Inhangapi consumiu 10,83% de energia elétrica a menos, tendo despesa de energia elétrica 10,42% mais econômica no último ano do horizonte de projeto em relação ao SAA Guamá. Assim, o SAA Inhangapi é a melhor alternativa de concepção para a universalização do abastecimento de água da área urbana de Castanhal considerando os parâmetros de consumo e de despesa de energia elétrica.

## 6. CONCLUSÃO

Na pesquisa foi identificado que quase a metade do volume de água produzido no sistema de abastecimento de água do município de Castanhal era perdida na distribuição e que apenas 13,44% era micromedido no ano de 2017. Ademais, foi verificado que menos de um terço da população urbana do município de Castanhal era atendida com serviços de abastecimento de água pela prestadora desse serviço do município.

Também foi observado que parcela da água utilizada para o abastecimento é captada em profundidades que indicam vulnerabilidade à contaminação, sendo que o tratamento de água realizado no município é apenas por desinfecção simples. Além disso, menos da metade dos domicílios da área urbana de Castanhal é coberta com rede de abastecimento de água.

Na simulação das alternativas de concepção desenvolvidas para o abastecimento do município de Castanhal, a EATeta foi a unidade que teve o maior consumo de energia elétrica, o que foi ocasionado pela elevada altura manométrica de bombeamento dessa unidade e CMB's com potências de operação superiores às potência das outras estações elevatórias de água dos Sistemas. Além disso, a EATeta do SAA Guamá demandou valor de potência elétrico dos CMB's maior que a EATeta do SAA Inhangapi em decorrência dos diferentes comprimentos das linhas de adução de água tratada dos dois SAA's.

O controle de programação utilizado para a operação das estações elevatórias de água ocasionou cerca de um por cento de consumo de energia elétrica no horário de ponta em relação ao consumo total. Porém, mesmo com esse pequeno percentual de consumo de energia elétrica no horário de ponta, a despesa da energia consumida nesse período foi de 3,60% (Sistema Guamá) e de 3,95% (Sistema Inhangapi) em relação à despesa total de energia elétrica no último ano simulado (2037) devido o elevado valor de tarifa de energia elétrica no horário de ponta.

Os valores de CE e de DE dos SAA's Guamá (0,53 kWh/m<sup>3</sup> e 0,34 R\$/m<sup>3</sup>) e Inhangapi (0,48 kWh/m<sup>3</sup> e 0,32 R\$/m<sup>3</sup>) foram inferiores aos valores do SAA atualmente em operação na área urbana de Castanhal (0,83 kWh/m<sup>3</sup> e 0,35 R\$/m<sup>3</sup>) em 2017. Assim, as alternativas de concepção propostas na presente pesquisa foram mais econômicas em relação ao SAA atual da área urbana de Castanhal.

Com a projeção da despesa de energia elétrica no horizonte de projeto (2017-2037), foi concluído que o Sistema Inhangapi é o sistema mais econômico do ponto de vista

energético, tendo despesa de energia elétrica acumulada 9,55% inferior à despesa do Sistema Guamá, com economia de R\$ 12.074.610,89.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

ANICETO, Diego Machado. Importância da correção do fator de potência nas instalações elétricas industriais. **Revista Especialize On-line IPOG**. ed. 11. v.1 Goiânia: jul. 2016. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n11-2016/importancia-da-correcao-do-fator-de-potencia-nas-instalacoes-eletricas-industriais/>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12211. Estudo de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12213. Projeto de captação de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12214. Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12215-1. Projeto de adutora de água. Parte 1: Conduto forçado. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12217. Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12218 - projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, 1994.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. Manual de Hidráulica. 9 ed. São Paulo: Blucher. 2015.

BAGGIO, Adelar Francisco; LAMPERT, Amauri Luis. **Planejamento organizacional**. Ijuí: Ed. Unijui, 2010. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/162>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

BARRY, Judith. Watergy: Energy and Water Efficiency in Water Supply and Wastewater Treatment. Wasngington, D.C.: Allianceto Save Energy. 2007. Disponível em: <<https://www.pseau.org/outils/biblio/resume.php?d=6511>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BELÉM. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará**. Concepção Técnica e Proposições. Belém. 2014. v. 1. Disponível em: <[http://www.belem.pa.gov.br/amae/wp-content/uploads/2014/09/PMSB-Bel%C3%A9m-PA\\_Volume-I2.pdf](http://www.belem.pa.gov.br/amae/wp-content/uploads/2014/09/PMSB-Bel%C3%A9m-PA_Volume-I2.pdf)>. Acesso: Acesso em: 04 abr. 2018.

BERTOLO, Reginaldo et al. Água subterrânea para abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala? **Revista DAE**, São Paulo, n. 199, p. 6-17, mai./ago. 2015. Disponível em: <<http://revistadae.com.br/downloads/edicoes/Revista-DAE-199.pdf>>. Acesso: Acesso em: 03 abr. 2018.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de água: tecnologia de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BIASUTTI, Saulo. **Indicadores de perdas para serviços de abastecimento de água: padronização e limitações da aplicação no Brasil**. 2016. 163 p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Orientação de Edumar Ramos Cabral Coelho. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_10185\\_DIS%20SAULO%20BIASUTTI.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_10185_DIS%20SAULO%20BIASUTTI.pdf)>. Acesso em: 13 mai. 2018.

BORJA, Patrícia Campos. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saude soc.** São Paulo, v. 23, n. 2, p. 432-447, jun. 2014. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-12902014000200432&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902014000200432&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em: 01 mai. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902014000200007>.

BRANDT, Malcolm et al. Energy efficiency in the water industry, a Global Research Project. Water Practice and Technology. 2011.

BRANDT, M.; MIDDLETON, R. A.; WANG, S. Energy Efficiency in the Water Industry: A Compendium of Best Practices and Case Studies - Global Report. Global Water Research Coalition. 2010. Disponível em: <<http://edepot.wur.nl/175846>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Gestão econômico-financeira no setor de saneamento - Funasa / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 2. ed. Brasília : Funasa, 2014. Disponível em: <[http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/gestao\\_economico\\_financeira\\_setor\\_saneamento\\_2\\_ed.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/gestao_economico_financeira_setor_saneamento_2_ed.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

BRITO, Luana Paula Gentil de; CAVENAGHI, Suzana; JANNUZZI, Paulo de Martino. Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do Rio de Janeiro em 2000 e 2007. **Rev. bras. estud. popul.**, São Paulo, v.27, n.1, p.35-57, jun. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-30982010000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-30982010000100004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 02 mai. 2018.

BUREK, Peter et al. Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report). **IIASA Working Paper**. Laxenburg, Austria: IIASA, 2016. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

BUZOLIN JUNIOR, Oswaldo; BARBOSA, Paulo Sérgio Franco; DEANTONI, Victor de Barros. Variáveis relativas a eficiência energética em estações elevatórias de água. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v.12, p. 15-30. 2016. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Vari%C3%A1veis-relativas-a-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-em-esta%C3%A7%C3%B5es-elevat%C3%B3rias-de-%C3%A1gua.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

CALVO, Maria Cristina Marino et al. Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 767-776, out./dez. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ress/v25n4/2237-9622-ress-25-04-00767.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

CAMPBELL, Enrique et al. Social-network-based water supply network sectorization methodology using monte carlo simulation to predict economical and operational benefits. **Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal**. Redes de Agua y Drenaje. v. 26, dez. 2016a. Disponível em: <<http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/1060>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

CAMPBELL, Enrique et al. A Novel Water Supply Network Sectorization Methodology Based on a Complete Economic Analysis, Including Uncertainties. **Water**. 2016b. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/8/5/179>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

CASTANHAL. **Diagnóstico de Castanhal**. Prefeitura Municipal de Castanhal. 2017. Disponível em: <<http://www.castanhal.pa.gov.br/plano-diretor/>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

CASTANHAL. **Plano Diretor de Castanhal 2007 – 2016**. Núcleo Gestor do Plano Diretor Participativo do Município de Castanhal. Castanhal: PM, 2006. Disponível em: <<http://www.castanhal.pa.gov.br/wp-content/uploads/2017/05/Plano-Diretor-Castanhal.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

CASTANHAL. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Prefeitura Municipal de Castanhal. Companhia de Saneamento Básico do Pará. 2011.

CASTANHAL. **Prefeitura e câmara municipal de castanhal discutem limites territoriais dos bairros de castanhal**. Site da Prefeitura Municipal de Castanhal. 2018. Disponível em:

<<http://www.castanhal.pa.gov.br/prefeitura-e-camara-municipal-de-castanhal-discutem-limites-territoriais-dos-bairros-de-castanhal/>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

CASTEJON, Rosana. A pertinência do planejamento estratégico para os gestores. **REA - Revista Eletrônica de Administração**, Franca. v. 4, n. 1, artigo 2, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://periodicos.unifacel.com.br/index.php/rea/article/view/186/38>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

CAVALCANTI, Clóvis. **Sustentabilidade: mantra ou escolha moral?** Uma abordagem ecológica-econômica. São Paulo. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142012000100004>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ – CELPA. **Tarifas**. 2019. Disponível em: <<http://www.celpe.com.br/informacoes/cobranca-de-tarifas>>. Acesso em: 24 MAR. 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ - COSANPA. **Relatório de Informações Gerenciais (RIG)**. Belém, 2017.

COUTINHO, Ricardo Santos; SOARES, Alexandre Kepler. Simulação de bombas com velocidade de rotação variável no EPANET. **Eng. Sanit. Ambient.** [online]. 2017, v.22, n.4, p.797-808. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522017005005101&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522017005005101&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CHARALAMBOUS, B.; FOUFEAS, D.; PETROULIAS, N.. Leak detection and water loss management. **Water Utility Journal**. p.25-30. 2014. Disponível em: <[http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ\\_2014\\_08\\_03.pdf](http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_08_03.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2018.

DANTAS, Maria da Paz; GONÇALVES, Elton; MACHADO, Miguel Ribeiro. Setorização de Redes de Distribuição de Água e Controle de pressão voltados para controle de perdas. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio**. Rio de Janeiro, ABES, 1999. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20//ii-087.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

DIRECCIÓN DE IGENIERÍA SANITARIA, SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. **Manual de saneamiento: vivienda, agua y desechos**. México: Limusa, 1980. Disponível em: <<http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc15143/doc15143.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

FONTANA, Marcele Elisa; MORAIS, Danielle Costa. Modelo para setorizar redes de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras. **Prod.** [online]. v.25, n.1, p.143-156. 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132015000100143&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132015000100143&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 25 jun. 2018.

FONTANA, Nicola; GIUGNI, Maurizio; PORTOLANO, Davide. Losses reduction and energy production in water-distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.138, n. 3, p. 237-244, 2012.

GUPPY, Lisa; ANDERSON, Kelsey e col. Global water crisis: the facts. United Nations University. 2017. Disponível em: <<http://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2017/11/Global-Water-Crisis-The-Facts.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

HAKTANIR, Efaruk; ARDIÇLIOĞLU, Mehmet. Numerical modeling of Darcy–Weisbach friction factor and branching pipes problem. **Advances in Engineering Software**. v. 35, ed. 12, p.773-779. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965997804001358>>. Acesso em: 29 nov.

2018.HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.) Abastecimento de água para consumo humano. 3 ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2010. 1v.

HERRERA, Manuel et al. Predictive models for forecasting hourly urban water demand. **Journal of Hydrology**. v.387, p.141-150, jun. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.005>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

GASTMANS, Didier et al. Caracterização de incrustações em equipamentos de bombeamento e tubulações instalados em poços tubulares profundos – estudo de caso. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2004. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23387/15477>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistema de Abastecimento de Água**: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 3 ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB. 2009.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistema de Bombeamento**: Eficiência Energética. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2012.

GONÇALVES, Elton; LIMA, Celso Vieira. Controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão. Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Brasília: SNSA, 2007.

GONÇALVES, Ricardo Franci; JORDÃO, Eduardo Pacheco; JANUZZI, Gilberto. Introdução. In: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso Racional de Água e Energia - Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**: Projeto PROSAB, Edital 5. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

GLEICK, Peter H. A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. **Water International**, v.25 p.127-138, jan. 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02508060008686804>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

GRUPO DE PESQUISA HIDRÁULICA E SANEAMENTO – GPHS. Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Castanhal: Detalhamento físico-financeiro da Alternativa Escolhida. Volume 7. Coordenador: José Almir Rodrigues Pereira. Companhia de Saneamento do Pará. 2012.

GRUPO DE PESQUISA HIDRÁULICA E SANEAMENTO – GPHS. Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Castanhal: Estudo do Crescimento da População por Setor de Abastecimento de Água de Castanhal – 2009 – 2030. Volume 4. Coordenador: José Almir Rodrigues Pereira. Companhia de Saneamento do Pará. 2009.

HAMDI, Mohamed et al. Hydrogeochemical and isotopic investigation and water quality assessment of groundwater in the Sisseb El Alem Nadhour Saouaf aquifer (SANS), northeastern Tunisia, **Journal of African Earth Sciences**. v.141, p.148-163, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X17304600>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Área da unidade territorial: Área territorial brasileira. Rio de Janeiro, 2017c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-izabel-do-para/panorama>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estimativas Populacionais, 2017b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-izabel-do-para/panorama>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Indicadores Sociais Municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, n. 28, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv54598.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Regiões de influência das cidades 2007. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/\\_arquivos/regic\\_28.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/regic_28.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2018.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011024629.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011024629.pdf)>. Acesso em 18 set. 2018.

KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. **Principios de Marketing**. 12. Ed. Madrid: Pearson Educación, S.A. 2008.

KOZŁOWSKI, Edward et al. Water demand forecasting by trend and harmonic analysis. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**. v.18, p.140-148, jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966517300699?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

LIU, Jian et al. Sustainability in hydropower development – A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n.19. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200648X>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

LUZ, Emanuel et al. **Economia de Energia no Sistema de Abastecimento de Água: Uma Abordagem Usando Algoritmos Genéticos**. Natal: DINCON, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5540/03.2016.004.01.0108>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

MORAIS, Danielle Costa; CAVALCANTE, Cristiano A. Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro ,v.30, n.1, p.15-32. jan./abr. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382010000100002>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

MONTEIRO, Milena et al. **Composição e distribuição do microfitoplâncton do rio Guamá no trecho entre Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil**. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Nat.* [online]. 2009, v.4, n.3. Disponível em: <[http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1981-81142009000300005&lng=pt&nrm=iso](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142009000300005&lng=pt&nrm=iso)>. ISSN 1981-8114. Acesso em 18 fev. 2019.

MOREIRA, F. N. C. **Dimensionamento do Volume Útil de Reservação de água Considerando o Consumo de Energia Elétrica no Horário de Ponta do Setor Elétrico**.

2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Orientação de José Almir Rodrigues Pereira.

MORUZZI, Rodrigo Braga et al. Caracterização química e mineralógica da incrustação em rede de ferro fundido e potencial de recuperação da capacidade hidráulica. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v.17, n.3, p 305-314, set. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522012000300007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000300007&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010. Orientação de Podalyro Amaral de Souza. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-18082010-171334/en.php>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

ORMSBEE, Lindell & WALSKI, Tom. Identifying Efficient Pump Combinations. *Journal American Water Works Association*. v.81. 1989.

PARÁ. **Plano de Saneamento Básico Integrado do Estado do Pará**. Volume I/IV: Região de Integração Guamá. Universidade Federal do Pará. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento – GPHS. 2017.

PARÁ. **Manual para usuários: outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém: SEMA, 2014.

PARÁ. **Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará: Lei nº 6.381/01 e legislação complementar**. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Belém: SECTAM, 2005. Disponível em: <<https://www.semas.pa.gov.br/cedoc/download/recursos%20hidricos.pdf>>. Acesso em 18 set. 2018.

PINA, José Hermano Almeida; LIMA, Osmar Almeida de; SILVA, Vicente de Paulo da. **Município e Distrito: um estudo teórico**. *Revista de Geografia Agrária*. v.3, n.6, p.125-142, ago. 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/48077116-Municipio-e-distrito-um-estudo-teorico-town-and-district-a-theoretical-study.html>>. Acesso em 31 mar. 2019.

PINHEIRO, Ana Valéria dos Reis. **Uso de ferramentas multidisciplinares na avaliação de vulnerabilidade e risco a subsidência no meio cárstico na cidade de Castanhal, Nordeste do Pará - Brasil**. 2009. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009. Orientação de Francisco de Assis Matos de Abreu.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente e Água*. Taubaté, v.12, n.3, p.435-456, mai/jun. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n3/1980-993X-ambiagua-12-03-00435.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

PRESTON, S. H.; HEUVELINE, P.; GUILLOT, M. *Demography: measuring and modeling population processes*. Oxford: Blackwell, 2001.

PROCEL INFO. **PROCEL SANEAR - Eficiência Energética no Saneamento Ambiental**. 2006. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6D82CF76DD284E7B8A607F31CB419A79PTBRIE.htm>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

RAMOS, Sandra Martins; GIUSTI, Donizeti Antonio; ROSA FILHO, Ernani Francisco da. Influência da geologia local no quimismo de águas superficiais e de sedimentos fluviais. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos Anais. São Paulo. 2015. Disponível em: <[http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-479\\_influencia-da-geologia-local-no-quimismo-de-aguas-superficiais-e-de-sedimentos-fluviais](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-479_influencia-da-geologia-local-no-quimismo-de-aguas-superficiais-e-de-sedimentos-fluviais)>. Acesso em: 09 de mai. de 2018.

REGO, Augusto da Gama et al. Evaluation of sustainability in the use of water within the Amazon deforestation area: a case study in Rondon do Pará, Pará State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v.35, n.2, p.237-245, abr./jun. 2013. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/13820/pdf>>. Acesso em: 18 de mai. de 2018.

RICHTER, Carlos, AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Tratamento de Água: Tecnologia atualizada**. Editora: Blucher. 1991.

SANTOS, Aline Christian Pimentel Almeida; PEREIRA, José Almir Rodrigues. SIG no gerenciamento de SAAS. **Revista DAE**. mai./ago. 2016. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_202\\_n\\_1641.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_202_n_1641.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

SANTOS, Aline Christian Pimentel Almeida. **Desenvolvimento de Modelo de Sistema de Informações Geográficas para Avaliação da Eficiência Hidroenergética em Sistema de Abastecimento de Água**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Orientação de José Almir Rodrigues Pereira. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7585>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SAMIR, Nourhan et al. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. **Alexandria Engineering Journal**. v.56, p.601-612. 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016817302363>>. Acesso em: 07 mai. 2018.

SANTOS, Layara de Paula Sousa; SOARES; Alexandre Kepler; SILVA; Sérgio Soares da. Eficiência hidroenergética em sistemas de distribuição de água: uma discussão teórica. **XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental**. Brasília. 2016. Disponível em: <<http://soac.unb.br/index.php/ENEEAmb/ENEEAmb2016/paper/viewFile/4842/1201>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SARZEDAS, Guaraci Loureiro. **Planejamento para a substituição de tubulação em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Orientação de Milton Tomoyuki Tsutiya. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-20072009-144606/pt-br.php>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

SILVA, Ricardo Toledo; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.17, n.47, jan./apr. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142003000100007>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

SOBRINHO, Renavan Andrade; BORJA, Patrícia Campos. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Eng. Sanit. Ambient.** [online]. v.21, n.4, p.783-795. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1413-41522016000400783&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1413-41522016000400783&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

SOUZA JÚNIOR, José do Carmo de. **Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água**. 2014. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Orientação de Paulo Vatavuk. 2014. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257966/1/SouzaJunior\\_JosedoCarmode\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257966/1/SouzaJunior_JosedoCarmode_M.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2018

SPERLING, Eduardo Von. Hydropower in Brazil: Overview of positive and negative environmental aspects. *Energy Procedia*, n.18, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021200793X>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

STAMM, Cristiano et al. A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. **Interações (Campo Grande)**. v. 14, n. 2, p.251-265, jul./dez. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1518-70122013000200011>>. Acesso: Acesso em: 04 abr. 2018.

STAVENHAGEN, Martin; BUURMAN, Joost; TORTAJADA, Cecilia. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. **Cities**. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275117307655?via%3Dihub>>. Acesso: Acesso em: 18 mai. 2018.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. 4. ed. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248, 2017. Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2018.

VELOSO, Tomás Pinheiro. **Avaliação de perdas de água do sistema de abastecimento de água da COSANPA, na Região Metropolitana de Belém-Pa**. 2006. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Orientação de Ana Rosa Baganha Barp. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/1667>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

VILLAR, Pilar Carolina. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v.19, n.1, p.83-102, jan./mar. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt\\_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf](http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf)>. Acesso: Acesso em: 03 abr. 2018.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WADA, Yoshihide et al. Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. **Geoscientific Model Development**.

2016. v. 9, p. 175–222. Disponível em: <<https://www.geosci-model-dev.net/9/175/2016/gmd-9-175-2016.html>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

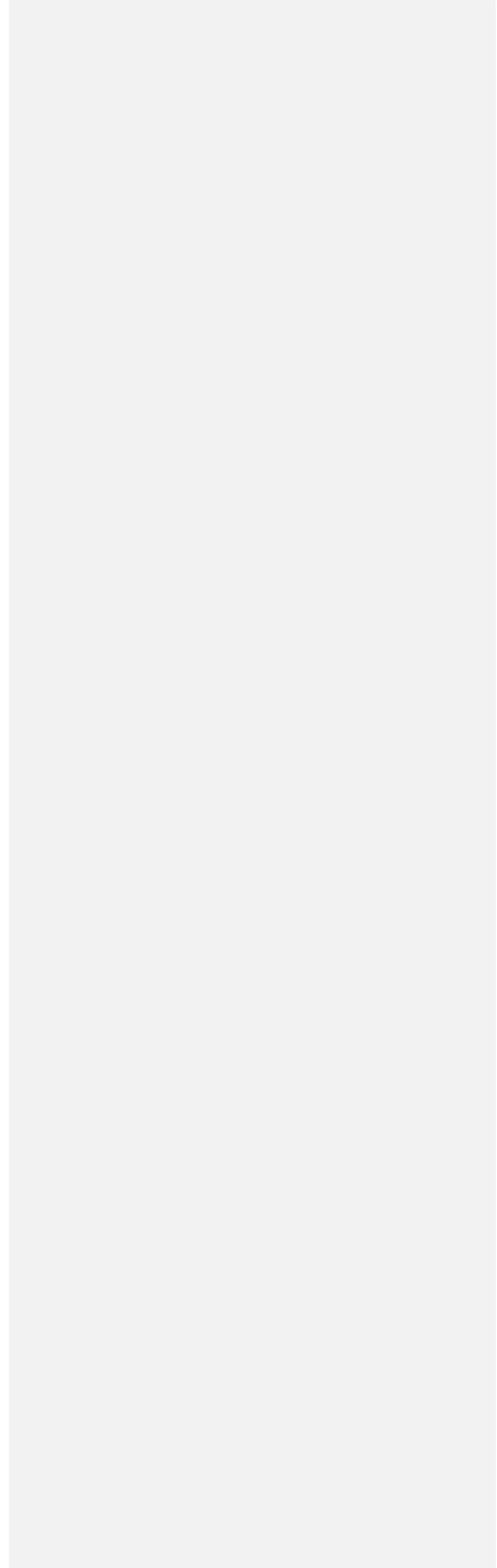
WATER AUTHORITIES ASSOCIATION AND WATER RESEARCH CENTRE. Leakage Control Policy and Practice. Technical Working Group on Waste of Water. Department of the Environment. London: National Water Council, 1980. Disponível em: <<http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/dwi0190.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

YOSHIMOTO, Paulo Massato; TARDELL FILHO, Jairo; SARZEDAS, Guaraci Loreiro. Controle da pressão na rede. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Documentos técnicos de apoio. Brasília, 1999.

ZHOU, Senlin et al. Forecasting operational demand for an urban water supply zone. **Journal of Hydrology**. v. 259, p.189-202, mar. 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00582-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00582-0)>. Acesso em: 11 abr. 2018.

ZOCOLER, João L. et al. Período de recuperação do investimento em bomba hidráulica de melhor rendimento em sistemas de bombeamento na tarifa horossazonal verde. **Eng. Agríc. [online]**.v.31, n.2, p.290-302. mar./abr. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n2/a09v31n2.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

**ANEXOS**



#### Anexo A – Conceitos do balanço hídrico proposto pela IWA

**Volume de entrada no sistema:** é o volume de água introduzido anualmente ao SAA, ao setor ou ao trecho específico do sistema em que se deseja realizar o estudo de balanço hídrico;

**Consumo autorizado:** corresponde ao volume de água medido e não medido fornecido aos consumidores cadastrados na companhia responsável pela prestação de serviço de abastecimento de água e ao volume de água destinado aos usuários com consumo autorizados pela concessionária;

**Perdas de água:** é o volume referente à diferença entre o volume de entrada no sistema e o consumo autorizado. É composto pelas perdas reais e aparentes;

**Consumo autorizado faturado:** é referente ao volume de água que gera receita à companhia de abastecimento de água, sendo também identificado como a somatória dos volumes de água apresentados nas contas emitidas aos consumidores do sistema. Esse volume é composto pelos consumos faturados medidos e pelos volumes faturados não medido ou estimado;

**Consumo autorizado não faturado:** é referente ao volume de água que é consumido e, apesar de não gerar receita para a companhia de abastecimento de água, tem seu uso permitido. Corresponde a volumes medidos (uso administrativo da companhia, fornecimento a caminhões pipa) e não medidor (uso em combate a incêndio, lavagem de vias públicas, lavagem de reservatórios);

**Perdas aparentes:** é correspondente ao volume de água que é consumido pelos clientes da concessionária de abastecimento de água, no entanto não são contabilizados e não geram receita. Esse volume é associado aos erros de medição, às fraudes e às falhas no cadastro pela companhia de abastecimento;

**Perdas físicas:** Corresponde aos volumes de água perdidos por vazamento de tubulações e de seus acessórios (juntas, flanges, registros, ventosas), em extravasamentos e vazamentos de unidades de reservação, desde a entrada do sistema (ou do trecho do sistema em estudo) até o ponto de medição do cliente;

**Consumo faturado medido:** é referente ao volume de água passivo de gerar receita à concessionária, que é medido ao ser entregue ao cliente;

**Consumo autorizado não faturado:** é referente ao volume de água que se estima ter sido entregue ao cliente, esse volume gera receita à concessionária;

**Consumo não faturado medido:** é a parcela de água consumida que é medida e autorizada, porém a companhia não recebe por prestar esse serviço;

**Consumo não faturado não medido:** corresponde ao volume de água consumido que não é medida e que não gera receita para a companhia, porém é autorizado;

**Uso não autorizado:** é referente ao volume de água fraudado no sistema de abastecimento ou ao volume de água que é consumido, mas que não é cobrado devido falhas de cadastro de água, portanto não gerando receita à concessionária de abastecimento de água;

**Erros de medição:** é referente à parcela das perdas aparentes decorrente das imprecisões de medição dos volumes de água disponibilizados aos consumidores;

**Vazamento nas tubulações de água bruta e no tratamento:** é correspondente ao volume de água perdido na captação, por vazamentos na adução de água bruta e ao volume de água perdido e utilizado nos processos da unidade de tratamento de água;

**Vazamentos no sistema de adução e/ou distribuição:** corresponde ao volume perdido por vazamento de água ou rompimento nas adutoras e subadutoras que transportam água até os setores de abastecimento e ao volume de água perdido por vazamento de água na rede de distribuição;

**Vazamento ou extravasamento nos reservatórios:** referente aos volumes perdidos nas unidades de reservação devido falhas nos comandos de controle de nível dos reservatórios ou pela sua total ausência, bem como por estrutura danificada dos reservatórios que ocasionam vazamentos de água;

**Vazamentos nos ramais (montante do ponto de medição):** referente ao volume de água perdido a montante dos pontos de medição de vazão nos ramais;

**Água faturada:** é referente à parcela do volume de água autorizado que gera receita à concessionária de abastecimento de água;

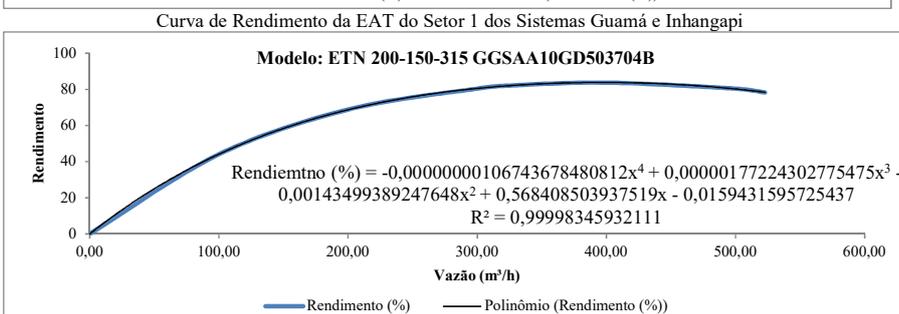
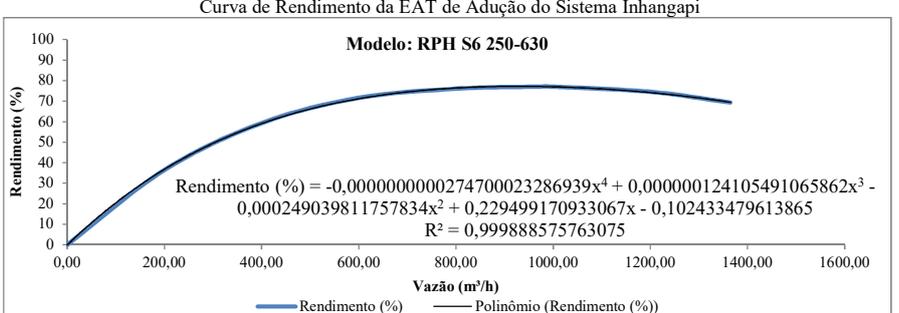
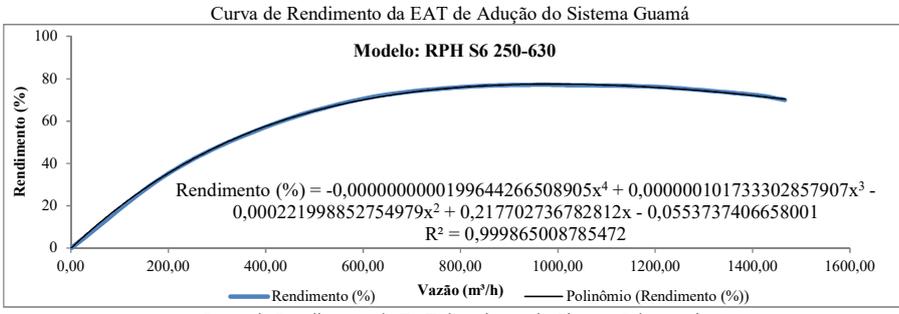
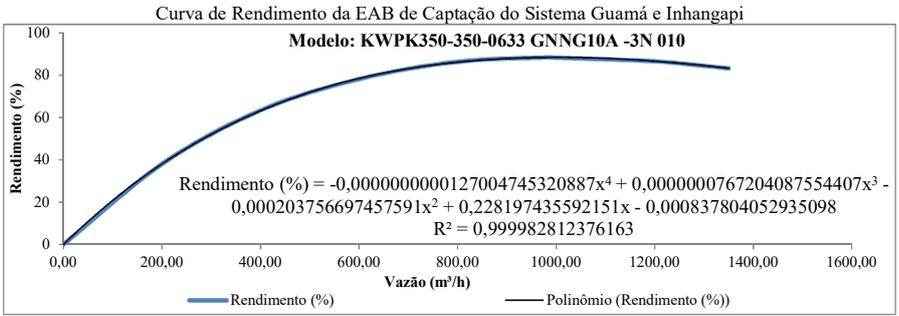
**Água não faturada:** referente a todo o volume de água que é inserido ao sistema e que não gera receita à concessionária de abastecimento de água.

## Anexo B – Controles da simulação hidráulica

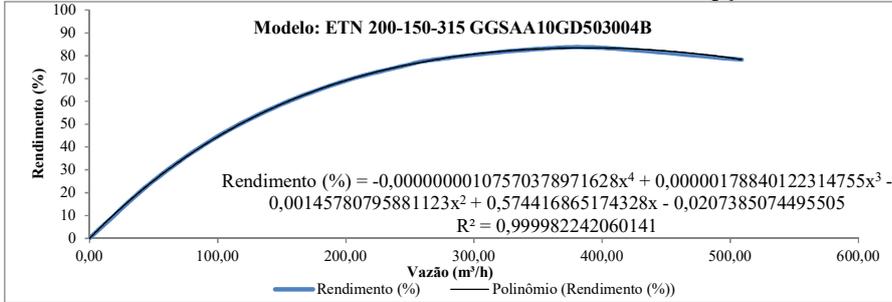
Exemplo de controle das EAT dos setores	Controle da EAT de Adução
<p>RULE 1 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK REL.S01 LEVEL BELOW 0.5 THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 2 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK REL.S01 LEVEL ABOVE 7.5 THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 3 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK REL.S01 LEVEL BELOW 7 THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 4 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK REL.S01 LEVEL ABOVE 7.5 THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 5 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK REL.S01 LEVEL BELOW 0.5 THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 6 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK REL.S01 LEVEL ABOVE 1 THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 7 IF SYSTEM CLOCKTIME = 6:31 PM THEN PUMP CMB.S01.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.S01.04 STATUS IS CLOSED PRIORITY 1</p>	<p>RULE 8 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL BELOW 3 OR TANK RENT.S02 LEVEL BELOW 3 OR TANK RENT.S03 LEVEL BELOW 3 OR TANK RENT.S04 LEVEL BELOW 3 OR TANK RENT.S05 LEVEL BELOW 3 THEN PUMP CMB.AD.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 9 IF PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS CLOSED AND PIPE SUB.AD.S02 STATUS IS CLOSED AND PIPE SUB.AD.S03 STATUS IS CLOSED AND PIPE AD.05 STATUS IS CLOSED AND PIPE SUB.AD.S04 STATUS IS CLOSED THEN PUMP CMB.AD.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.AD.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.AD.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.AD.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 10 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL BELOW 4 OR TANK RENT.S02 LEVEL BELOW 4 OR TANK RENT.S03 LEVEL BELOW 4 OR TANK RENT.S04 LEVEL BELOW 4 OR TANK RENT.S05 LEVEL BELOW 4 THEN PUMP CMB.AD.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 11 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL BELOW 0.5 OR TANK RENT.S02 LEVEL BELOW 0.5 OR TANK RENT.S03 LEVEL BELOW 0.5 OR TANK RENT.S04 LEVEL BELOW 0.5 OR TANK RENT.S05 LEVEL BELOW 0.5 THEN PUMP CMB.AD.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.AD.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 12 IF SYSTEM CLOCKTIME = 6:31 PM THEN PUMP CMB.AD.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.AD.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.AD.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.AD.04 STATUS IS CLOSED PRIORITY 1</p>

Controle da EAB de captação	Controle das Válvulas de Nível dos setores
<p>RULE 13 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK RENT.GUAMA LEVEL BELOW 1.5 THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 14 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK RENT.GUAMA LEVEL ABOVE 4.5 THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 15 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK RENT.GUAMA LEVEL BELOW 4 THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 16 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK RENT.GUAMA LEVEL ABOVE 4.5 THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 17 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK RENT.GUAMA LEVEL BELOW 0.5 THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS OPEN AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 18 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK RENT.GUAMA LEVEL ABOVE 1 THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 19 IF SYSTEM CLOCKTIME = 6:31 PM THEN PUMP CMB.CAP.01 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.02 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.03 STATUS IS CLOSED AND PUMP CMB.CAP.04 STATUS IS CLOSED PRIORITY 1</p>	<p>RULE 20 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL BELOW 3 THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 21 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 9:31 PM OR SYSTEM CLOCKTIME &lt; 4:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL ABOVE 4.5 THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 22 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL BELOW 4 THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 23 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 4:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 6:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL ABOVE 4.5 THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 24 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL BELOW 0.5 THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS OPEN</p> <p>RULE 25 IF SYSTEM CLOCKTIME &gt;= 6:31 PM AND SYSTEM CLOCKTIME &lt; 9:31 PM AND TANK RENT.S01 LEVEL ABOVE 1 THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS CLOSED</p> <p>RULE 26 IF SYSTEM CLOCKTIME = 6:31 PM THEN PIPE SUB.AD.S01 STATUS IS CLOSED PRIORITY 1</p>

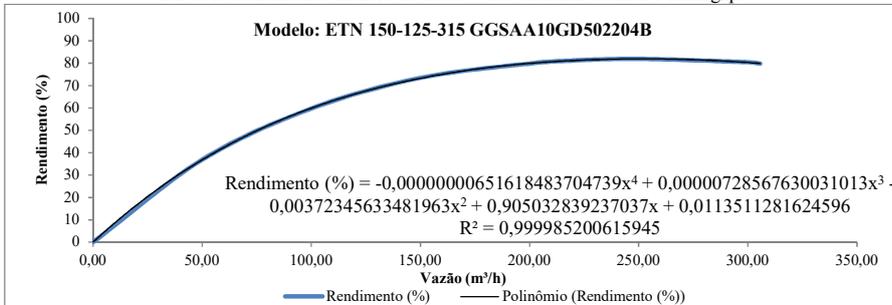
Anexo C – Equações das regressões das curvas de rendimento



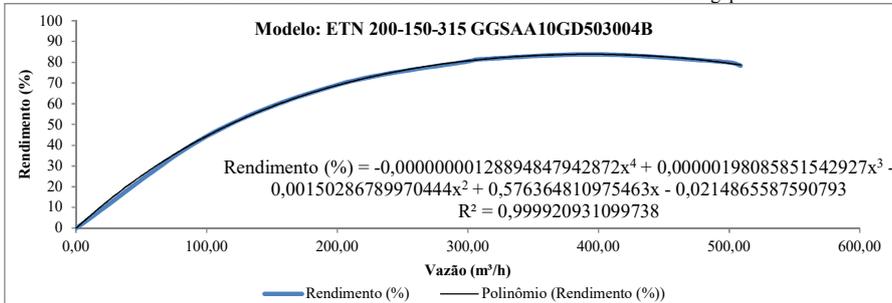
Curva de Rendimento da EAT do Setor 2 dos Sistemas Guamá e Inhangapi



Curva de Rendimento da EAT do Setor 3 dos Sistemas Guamá e Inhangapi



Curva de Rendimento da EAT do Setor 4 dos Sistemas Guamá e Inhangapi



Curva de Rendimento da EAT do Setor 5 dos Sistemas Guamá e Inhangapi

