

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

RAQUEL DE CASTRO RODRIGUES LIMA

**Avaliação econômica das tecnologias de filtração direta aplicada ao  
tratamento de água para abastecimento de pequenas populações**

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos - SP

2019

(Página intencionalmente deixada em branco).

RAQUEL DE CASTRO RODRIGUES LIMA

**Avaliação econômica das tecnologias de filtração direta aplicada ao  
tratamento de água para abastecimento de pequenas populações**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia  
de São Carlos, da Universidade de São Paulo,  
como parte dos requisitos para obtenção do título  
de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e  
Saneamento

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lyda Patricia Sabogal Paz

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos - SP

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

L732a Lima, Raquel de Castro Rodrigues  
Avaliação econômica das tecnologias de filtração  
direta aplicada ao tratamento de água para  
abastecimento de pequenas populações / Raquel de Castro  
Rodrigues Lima; orientadora Lyda Patricia Sabogal Paz.  
São Carlos, 2019.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de  
Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2019.

1. Custos. 2. Filtração direta. 3. Resíduos. 4.  
Pequenas comunidades. I. Título.



## FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **RAQUEL DE CASTRO RODRIGUES LIMA.**

Título da dissertação: "Avaliação econômica das tecnologias de filtração direta aplicada ao tratamento de água para abastecimento de pequenas populações".

Data da defesa: 26/06/2019.

### Comissão Julgadora:

### Resultado:

Profa. Dra. **Lyda Patricia Sabogal Paz**  
**(Orientadora)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Profa. Dra. **Kátia Sakihama Ventura**  
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Dra. **Ester Feche Guimarães**  
(Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo/SABESP)

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:  
Prof. Dr. **Eduardo Mario Mendiando**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:  
Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

*A minha família pela compreensão, carinho e apoio incansável.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por me dar saúde, força e capacidade para desenvolver meu trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Também gostaria de agradecer à minha orientadora Lyda Patricia Sabogal Paz, quem muito admiro desde as aulas da graduação. Obrigada por todos os ensinamentos, exemplos e inspirações. Obrigada também por sempre confiar no meu potencial e por me apoiar e orientar desde o TCC até o mestrado.

Obrigada ao meu marido Guilherme Santana, aos meus pais Alexandre Lima e Luciana Lima e também aos meus avós, tios e outros familiares por todo o apoio e carinho.

A todos os professores, alunos, pesquisadores e funcionários que passaram pela minha vida e contribuíram para eu me tornar a pessoa e profissional que sou hoje. Ao pessoal do Instituto de Física de São Carlos e do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, onde desenvolvi minhas primeiras iniciações científicas. Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento, pelos ensinamentos e por serem meus exemplos e fontes de inspiração. Um agradecimento especial à professora Márcia Damianovic, com quem muito aprendi tanto na graduação quanto na pós, me ajudou nos momentos de dificuldade e me encorajou a sempre seguir em frente. Um agradecimento especial também aos professores Gabriel Sacchi e Luísa Fernanda Reis, que me supervisionaram no Programa de Aperfeiçoamento de Ensino, contribuindo para minha formação como docente. Também agradeço aos funcionários da Hidráulica e Saneamento, sobretudo Maria Auxiliadora Pin, Priscila de Almeida e Rosemeire Aparecida de Jesus, pela gentileza e disposição.

Agradeço aos meus amigos que estiveram presentes nos momentos felizes, como no meu casamento, e, mais importante ainda, nos de dificuldade. Às amigas Juliana Mazetti, Isabela Zulini, Cláudia Naizer e Gabrielle Marega, minhas companheiras fiéis em São Carlos. Aos amigos Jônatas Florentino, Patrícia de Oliveira, Jéssica Albizu, Tatiane Lemos, Aline Franqui e Cristina Menezes, que mesmo estando longe, sempre aqueceram meu coração pelo telefone. Às prezadas Kamila Jessie e Bárbara Freitas, que se tornaram minhas grandes amigas e estiveram presentes tanto na pesquisa quanto nos passeios gastronômicos pela cidade. Às amigas de Jaú, que sempre estiveram presentes na minha vida e que me amparam com conversas divertidas e nostálgicas. Aos companheiros de laboratório Érica Nishimura, Arlan

Scortegagna e Pedro Braga, pelas dicas, sugestões e troca de ideias, mesmo desenvolvendo pesquisas tão diferentes. Aos amigos da pós Aline Bernegossi, Amanda Sati, Jean Carlos Duarte, Laura Message e Luan Leite, por quem sinto um imenso carinho.

Por fim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram, apoiaram e incentivaram nesse período, seja na pesquisa ou na vida pessoal. São muitos os não citados, pois falta espaço para expressar toda a minha gratidão, mas vocês sabem que estão no meu coração. Todos vocês, de alguma forma, contribuíram para que minha pesquisa se desenvolvesse da melhor maneira e para que a minha vida fosse mais doce.

“Mas, quando percebe, elas já estão aprendendo a voar e começam a escapar pelos vãos dos dedos”.

Fernão de Toledo Castro (2018)

## RESUMO

LIMA, R. C. R. **Avaliação econômica das tecnologias de filtração direta aplicada ao tratamento de água para abastecimento de pequenas populações.** 2019. 221 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

Embora os avanços em saneamento no Brasil nos últimos anos tenham sido significativos, a situação atual ainda está longe do desejável. Devido à falta de economia de escala, também existe pouco interesse em obras de saneamento em pequenas comunidades, onde boa parte da população brasileira reside. Portanto, para melhor guiar os investimentos na área, é necessário se avaliar os aspectos econômicos de novos sistemas de abastecimento de água. Nesse sentido, a pesquisa visa avaliar e comparar os aspectos econômicos de sistemas de tratamento de água por filtração direta e gerenciamento dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), e escolher a tecnologia mais viável economicamente dado um cenário escolhido pelo usuário. Para isso foram usados 27 projetos anteriores projetados por Sabogal Paz (2007). Esses projetos consideram diferentes combinações de tecnologias de tratamento de água e de gerenciamento dos resíduos. Para alguns métodos construtivos usados por Sabogal Paz (2007) nos processos unitários, foram propostos métodos alternativos visando a redução dos custos e aumento da disponibilidade de materiais dos materiais de construção para pequenas comunidades. Em seguida, foram determinados os quantitativos de investimento inicial e de funcionamento para todas as 30 alternativas analisadas, considerando 3 diferentes vazões (10, 20 e 40 L/s). Com isso, os dados foram usados para determinar equações que relacionam a vazão com os valores dos quantitativos. Por fim, foi desenvolvida uma ferramenta computacional (planilha em Excel) para realizar a seguinte rotina de cálculo. Os dados de entrada do programa são vazão de projeto (entre 10 e 40 L/s), período de projeto, taxa de retorno, tipo de coagulante desejado, custos unitários de todos os quantitativos, e índices para considerar custos de contingência (como benefícios e despesas indiretas), benefícios para os trabalhadores (de acordo com as leis sociais) e atualização dos custos ao longo de tempo. Como padrão, o programa considera os custos unitários da base de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (CAIXA, 2019). Para quantitativos inexistentes no SINAPI, foram utilizados custos unitários orçados por Sabogal Paz (2007) em empresas especializadas (atualizados para janeiro de 2019). Os dados de saída são: os valores dos quantitativos e seus respectivos custos, os custos de cada processo unitário, o valor presente de cada uma das 30

alternativas analisadas, gráficos comparativos, análise dos resultados e recomendações. A principal contribuição do trabalho é a ferramenta computacional que permite a seleção da tecnologia mais viável economicamente para o tratamento de água e o gerenciamento dos resíduos. O trabalho também contribui para a expansão de conhecimento em relação aos custos de tratamento de água e dos resíduos em pequenas comunidades brasileiras. A pesquisa também auxilia o trabalho de engenheiros projetistas brasileiros e de tomadores de decisão, guiando os investimentos em saneamento no país. A ferramenta computacional está, atualmente, em processo de registro junto à Agência USP de Inovação.

Palavras-chave: Custos. Filtração direta. Resíduos. Pequenas comunidades.

## ABSTRACT

LIMA, R. C. R. **Economic evaluation of direct filtration technologies applied to water treatment for small populations.** 2019. 221 p. Dissertation (MSc in Hydraulic Engineering and Sanitation) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2019.

Although the advances in sanitation in Brazil in recent years have been significant, the current situation is still far from the desirable. Because of the lack of economies of scale, there is also little interest in water treatment facilities for small communities, where a great amount of the Brazilian population lives. So, to better guide the investments in the field, it is necessary to assess the economic aspects of new water systems. In this sense, this research intends to assess and compare the economic aspects of direct filtration and residuals management systems and choose the most cost-effective technology in a scenario input by the user. For this, I used 27 previous projects from Sabogal Paz (2007). These projects considered different combinations of water treatment and residual management technologies. For some constructive methods used in the unit processes by Sabogal Paz (2007), I proposed an alternative one aiming at reducing costs and increasing availability for small communities. Next, I determined the capital and operational inventory quantities for all the 30 alternatives under 3 different flow rates (10, 20 and 40 L/s). Then, I used the data to determine equations that relate the flow rate with the inventory quantities. Finally, I developed a tool (Excel spreadsheet) to perform the proposed calculation. Its inputs are: flow rate (between 10 and 40 L/s), project lifetime, interest rate, type of coagulant desired, unit costs of all inventory quantities, and indexes to consider contingency costs (such as contractors' overhead and profit), benefits for workers (according to the working laws) and cost update throughout time. As a default, the tool considers the unit costs from the SINAPI database (CAIXA, 2019). For items nonexistent at the SINAPI database, the tool considers unit costs budgeted by Sabogal Paz (2007) in specialised companies (updated to January 2019). The outputs are: the inventory quantities values and its costs, the costs of each unit processes, the present value of each 30 alternatives analysed, comparison graphs, results analysis, and recommendations. The main contribution of this work is the tool that enables to select the most cost-effective water and residuals treatment technologies. This work also contributes to the knowledge expansion of water and residuals treatment costs in Brazilian small communities. Furthermore, this research aids the work of Brazilian design engineers and decision makers, guiding the



investments in sanitation in the country. The tool is currently under copyright process at the Agência USP de Inovação.

Keywords: Costs. Direct filtration. Residuals. Small communities.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Proporção de utilização de tecnologias de tratamento de água no Brasil, de acordo com o volume de água distribuída por dia .....	35
Figura 2 – Proporção de utilização de tecnologias de tratamento de água em municípios brasileiros com até 50 mil habitantes, de acordo com o volume de água distribuída por dia..	36
Figura 3 – Proporção de utilização de tipos de disposição para o lodo gerado nas ETAs brasileiras .....	37
Figura 4 – Dispêndios em ETAs .....	50
Figura 5 – Representação dos custos dos sistemas ETA+ETR.....	52
Figura 6 – Fluxograma esquemático do sistema de filtração direta ascendente .....	68
Figura 7 – Arranjo da tecnologia de filtração direta ascendente.....	69
Figura 8 – Fluxograma esquemático do sistema de filtração direta descendente .....	71
Figura 9 – Arranjo da tecnologia de filtração direta descendente (sem floculação).....	71
Figura 10 – Arranjo da tecnologia de dupla filtração (com filtro ascendente em pedregulho)	73
Figura 11 – Fluxograma esquemático do sistema de dupla filtração .....	74
Figura 12 – Vista lateral de um tanque de regularização de vazão em chapa de aço .....	79
Figura 13 – Vista superior de um tanque de regularização de vazão em chapa de aço .....	80
Figura 14 – Vista superior e corte de um tanque de regularização de vazão utilizado no trabalho.....	80
Figura 15 – Adensador em concreto .....	81
Figura 16 – Adensador em chapa de aço .....	81
Figura 17 – Vista superior e corte de um tanque de clarificação/adensamento utilizado no trabalho.....	82
Figura 18 – Leitos de drenagem recebendo lodo (ETA de Monte Aprazível – SP) .....	83
Figura 19 – Leitos de drenagem em operação (ETA de Monte Aprazível – SP) .....	84
Figura 20 – Leitos de drenagem com o lodo drenado (ETA de Monte Aprazível – SP).....	84
Figura 21 – Vista superior e cortes de um leito de drenagem utilizado no trabalho.....	85
Figura 22 – Construção de uma lagoa de lodo com revestimento de geotêxtil .....	86
Figura 23 – Lagoas em operação ao fundo e lagoa em manutenção à frente .....	86
Figura 24 – Vista superior e cortes de uma lagoa utilizada no trabalho .....	87

Figura 25 – Vista superior do projeto de uma ETA de DF com tratamento do resíduo por leitos de drenagem .....	97
Figura 26 – Vista superior do projeto de uma ETA de FDA com tratamento do resíduo por lagoas de lodo .....	98
Figura 27 – Vista superior do projeto de uma ETA de FDD com encaminhamento do resíduo a um tanque de regularização de vazão .....	98
Figura 28 – Método de interação de fatores, variáveis e indicadores de seleção de tecnologias de tratamento de água, considerando os resíduos gerados no sistema .....	103
Figura 29 – Esquema geral do Nível 6 do modelo conceitual de seleção .....	104
Figura 30 – Fluxograma das principais etapas envolvidas na metodologia, considerando a mesma estrutura mostrada na Figura 29 .....	107
Figura 31 – Agrupamento dos processos unitários (e demais categorias de importância) segundo investimento inicial e funcionamento .....	110
Figura 32 – Ilustração da aba "Info" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando título, descrição, desenvolvedores e outras informações.....	118
Figura 33 – Ilustração da aba "Info" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando informações sobre as tecnologias avaliadas .....	119
Figura 34 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando legenda e considerações iniciais .....	120
Figura 35 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando mensagem de erro por vazão inválida .....	121
Figura 36 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando reajuste dos preços, escolha do coagulante e preços unitários .....	122
Figura 37 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional, mostrando mensagem de erro por índice de correção inválido .....	123
Figura 38 – Ilustração da aba "Quantitativos (A)" da ferramenta computacional, mostrando os valores dos quantitativos .....	124
Figura 39 – Ilustração da aba "Custos (B1)" da ferramenta computacional, mostrando os custos dos quantitativos .....	125
Figura 40 – Ilustração da aba "Resumo (B2)" da ferramenta computacional, mostrando os custos dos processos unitários, investimento inicial e funcionamento.....	126
Figura 41 – Ilustração da aba "Gráficos (B3)" da ferramenta computacional, mostrando a seleção dos gráficos por processo unitário .....	127
Figura 42 – Ilustração da aba "Gráficos (B4)" da ferramenta computacional, mostrando a seleção do gráfico de investimento inicial.....	128
Figura 43 – Ilustração da aba "Gráficos (B5)" da ferramenta computacional, mostrando a seleção do gráfico de funcionamento .....	129

Figura 44 – Ilustração da aba "Seleção (S)" da ferramenta computacional, mostrando os principais resultados do modelo.....	130
Figura 45 – Ilustração da aba "Seleção (S)" da ferramenta computacional, mostrando o gráfico de funcionamento para as alternativas de ETA+ETR.....	131
Figura 46 – Ilustração da aba "Análise (R)" da ferramenta computacional, mostrando uma análise dos resultados do modelo.....	132
Figura 47 – Ilustração da aba "Análise (R)" da ferramenta computacional, mostrando algumas recomendações ao usuário .....	133
Figura 48 – Histograma dos erros relativos ao modelo .....	151
Figura 49 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial, segundo Logsdon, Clark e Tate (1980).....	158
Figura 50 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento, segundo Logsdon, Clark e Tate (1980).....	159
Figura 51 – Contribuição percentual dos custos de cada item de investimento, para a tecnologia de “FDD - ETR3 e” com vazão de projeto de 40 L/s.....	160
Figura 52 – Contribuição percentual dos custos de cada item de funcionamento, para a tecnologia de “FDD - ETR3 e” com vazão de projeto de 40 L/s.....	161
Figura 53 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial e funcionamento, segundo Clark (1982).....	162
Figura 54 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial de ETAs de ciclo completo, segundo Sethi e Clark (1998).....	164
Figura 55 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento de ETAs de ciclo completo, segundo Sethi e Clark (1998).....	164
Figura 56 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial de ETAs compactas pré-fabricadas, segundo Sethi e Clark (1998).....	165
Figura 57 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento de ETAs compactas pré-fabricadas, segundo Sethi e Clark (1998).....	165
Figura 58 – Contribuição de cada item para o custo de investimento inicial de tanques de sedimentação retangulares, segundo Qasim et al. (1992).....	167
Figura 59 – Contribuição de cada item para o custo de funcionamento de tanques de sedimentação retangulares, segundo Qasim et al. (1992).....	167
Figura 60 – Contribuição de cada item para o custo de investimento inicial de tanques de sedimentação retangulares, segundo Sharma, Najafi e Qasim (2013).....	168
Figura 61 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial, segundo Kumar, Groth e Vlacic (2016) .....	169
Figura 62 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento, segundo Kumar, Groth e Vlacic (2016) .....	170

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos para a realização de orçamento.....	41
Tabela 2 – Formação dos custos para a empresa.....	42
Tabela 3 – Qualidade da água bruta para as tecnologias de filtração direta.....	65
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens das tecnologias de filtração direta em relação ao ciclo completo .....	65
Tabela 5 – Comparação entre as tecnologias de FDA e FDD .....	72
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens da DF em relação à FDA e à FDD.....	74
Tabela 7 – ETAs e ETRs avaliadas .....	96
Tabela 8 – Nomenclatura das tecnologias de acordo com os métodos construtivos empregados .....	97
Tabela 9 – População atendida para cada vazão analisada.....	97
Tabela 10 – Qualidade da água considerada para os projetos das ETAs .....	99
Tabela 11 – Critérios de projeto das ETAs de FDA.....	100
Tabela 12 – Critérios de projeto das ETAs de FDD.....	100
Tabela 13 – Critérios de projeto das ETAs de DF.....	101
Tabela 14 – Considerações iniciais do programa e respectivos valores adotados como padrão .....	112
Tabela 15 – Tipos de reajuste dos preços unitários (como padrão optou-se pela opção 1)....	114
Tabela 16 – Tipo de coagulante considerado .....	114
Tabela 17 – Material com maior custo para casa item de investimento inicial avaliado, considerando todas as tecnologias analisadas (continua).....	134
Tabela 18 – Material com maior custo para casa item de funcionamento avaliado, considerando todas as tecnologias analisadas .....	136
Tabela 19 – Item de investimento e de funcionamento com maior custo, considerando todas as tecnologias analisadas.....	137
Tabela 20 – Custos de investimento inicial e de funcionamento para uma vazão de projeto de 10 L/s .....	138
Tabela 21 – Custos de investimento inicial e de funcionamento para uma vazão de projeto de 20 L/s .....	139
Tabela 22 – Custos de investimento inicial e de funcionamento para uma vazão de projeto de 40 L/s .....	140

Tabela 23 – Valores presentes reais e obtidos com o modelo e erro relativo para períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos e vazão de projeto de 10 L/s .....	141
Tabela 24 – Valores presentes reais e obtidos com o modelo e erro relativo para períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos e vazão de projeto de 20 L/s .....	142
Tabela 25 – Valores presentes reais e obtidos com o modelo e erro relativo para períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos e vazão de projeto de 40 L/s .....	143
Tabela 26 – Custos mensais do tratamento água por família atendida e por habitante .....	145
Tabela 27 – Porcentagem média de contribuição dos custos da ETR para o valor presente total, considerando os nove cenários avaliados .....	146
Tabela 28 – Porcentagem média de contribuição da etapa de funcionamento para o valor presente total, considerando os nove cenários avaliados .....	147
Tabela 29 – Tecnologias de dupla filtração ordenadas de forma crescente de valor presente total.....	148
Tabela 30 – Tecnologias de filtração direta ascendente ordenadas de forma crescente de valor presente total .....	149
Tabela 31 – Tecnologias de filtração direta descendente ordenadas de forma crescente de valor presente total .....	150
Tabela 32 – Resultados da estatística.....	151
Tabela 33 – Recomendações para o usuário do programa.....	153
Tabela 34 – Custos de investimento inicial e funcionamento (anual) extraídos de Sabogal Paz (2007) e atualizados para janeiro de 2019 .....	156
Tabela 35 – Custos de investimento inicial e funcionamento (anual) determinados no presente trabalho e tendo como data base janeiro de 2019 .....	157
Tabela 36 – Variações relativas percentuais dos custos obtidos por Sabogal Paz (2007) e pelo presente trabalho .....	157
Tabela 37 – Custos de investimento inicial e de funcionamento (anual), divididos pela vazão de projeto, para Logsdon, Clark e Tate (1980) e para o presente trabalho, considerando valores em reais atualizados para janeiro de 2019 .....	160

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2,4 D	–	2,4 diclorofenoxiacético
ABAR	–	Associação Brasileira de Agências de Regulação
ABC	–	<i>Activity Based Costing</i>
ABES	–	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACII	–	Aterro Classe II
ACV	–	Avaliação de Ciclo de Vida
AHP	–	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	–	Sulfato de alumínio
ARSAE	–	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
ARSESP	–	Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo
ASCE	–	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASTM	–	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWWA	–	<i>American Water Works Association</i>
AWWARF	–	<i>American Water Works Association Research Foundation</i>
BCB	–	Banco Central do Brasil
BDI	–	Benefícios e Despesas Indiretas
CAIXA	–	Caixa Econômica Federal
CAPES	–	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPEX	–	<i>Capital expenditure</i>
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COFINS	–	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPASA	–	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DALY	–	<i>Disability Adjusted Life Year</i>
DBO	–	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DDT	–	Dicloro-Difenil-Tricloroetano
DES	–	Desinfecção com hipoclorito de sódio
DF	–	Dupla Filtração
DLD	–	Desaguamento por Leito de Drenagem
DLL	–	Desaguamento por Lagoa de Lodo

DMT	–	Distância média de transporte
DN	–	Diâmetro Nominal
DQO	–	Demanda Química de Oxigênio
EESC	–	Escola de Engenharia de São Carlos
EPI	–	Equipamentos de Proteção Individual
ERSAR	–	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA	–	Estação de Tratamento de Água
ETE	–	Estação de Tratamento de Esgoto
ETR	–	Estação de Tratamento de Resíduos
ETR1	–	Estação de tratamento dos resíduos utilizando leitos de drenagem
ETR2	–	Estação de tratamento dos resíduos utilizando lagoas de lodo
ETR3	–	Estação de tratamento dos resíduos utilizando tanques de regularização de vazão
FAAG	–	Filtro rápido ascendente em areia grossa, a taxa constante
FAP	–	Filtro rápido ascendente em pedregulho, a taxa constante
FDA	–	Filtração Direta Ascendente
FDD	–	Filtração Direta Descendente
FeCl <sub>3</sub>	–	Cloreto férrico
FGTS	–	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FGV	–	Fundação Getúlio Vargas
FIOCRUZ	–	Fundação Oswaldo Cruz
FLU	–	Fluoração com ácido fluossilícico
FRD	–	Filtro rápido descendente em areia, a taxa constante
FUNASA	–	Fundação Nacional de Saúde
g-BHC	–	Lindano ( <i>gamma-benzene hexachloride</i> )
GSG	–	<i>Gauvanized Sheet Gauge</i>
H <sub>2</sub> O	–	Água
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	–	Ácido fluossilícico
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-M	–	Índice Geral de Preços do Mercado
INCRA	–	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INSS	–	Instituto Nacional do Seguro Social
IPEA	–	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISS	–	Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza



KIWA	–	<i>Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen</i>
MDG	–	<i>Millennium Development Goals</i>
MRHIM	–	Mistura rápida hidráulica com injetor e malha de fios
MSG	–	<i>Manufacturer's Standard Gauge</i>
NaClO	–	Hipoclorito de sódio
NTS	–	Norma Técnica SABESP
OFWAT	–	<i>Water Services Regulation Authority</i>
OGU	–	Orçamento Geral da União
OMS	–	Organização Mundial da Saúde
ONU	–	Organização das Nações Unidas
OPEX	–	<i>Operational expenditure</i>
PIB	–	Produto Interno Bruto
PIS	–	Programa de Integração Social
PLANSAB	–	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNAD	–	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios
PNSB	–	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
POO	–	Programação Orientada a Objeto
PSF	–	Polisulfone
PVA	–	Acetato de Polivinila
PVC	–	Policloreto de Vinila
RH	–	Recursos humanos
RNA	–	Redes Neurais Artificiais
SABESP	–	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDGF	–	<i>Sustainable Development Goals Fund</i>
SEBRAE	–	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SECONCI	–	Serviço Social da Construção
SESI	–	Serviço Social da Indústria
SENAI	–	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINAPI	–	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TCA	–	Tanque de clarificação/adensamento por gravidade
TCPO	–	Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos
TCU	–	Tribunal de Contas da União
TER	–	Tanque de regularização de vazão
TOC	–	Teor de Carbono Orgânico Total

UNICEF	–	Fundo das Nações Unidas para a Infância
USEPA	–	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
USP	–	Universidade de São Paulo
VP	–	Valor Presente
VPL	–	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

ø	Diâmetro
”	Polegada
°C	Graus Celcius
A	Ampère ou Altura (dependendo do contexto)
a.a	Ao ano
C	Quantitativo
C <sub>0</sub>	Investimento inicial
C <sub>i</sub>	Custo para um tempo igual a i
CA-25	Categoria de aço para concreto armado com valor de escoamento de 250 Mpa
CD	Coefficiente de desuniformidade
cm	Centímetro
D <sub>10</sub>	Tamanho efetivo
e	Espessura
fck	Resistência característica do concreto à compressão
g	Gramas
gpd	Galões americanos por dia
gpm	Galões americanos por minuto
h	Hora
hab	Habitante
HP	<i>Horse Power</i>
i	Tempo em que se faz válido o custo C <sub>i</sub>
K <sub>1</sub>	Coefficiente do dia de maior consumo
kg	Quilograma
km	Quilometro
kN	Quilonewton
kWh	Quilowatt-hora
L	Litro ou Comprimento (dependendo do contexto)
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mg	Miligramas

mgd	Milhões de galões americanos por dia
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
n	Período avaliado correspondente ao horizonte de projeto
N. (ou n.)	Número
NMP	Número mais provável
pç	Peça
pH	Potencial hidrogênico
Pop	População
q	Consumo de água diário per capita
Q	Vazão
Q <sub>P</sub>	Vazão de projeto
r	Taxa de retorno ou taxa de juros
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
s	Segundo
T	Tonelada
uH	Unidade de cor (unidade Hazen)
un	Unidade
uT	Unidade de turbidez (unidade nefolométrica de turbidez)
VP <sub>fun</sub>	Valor presente dos dispêndios com funcionamento
VP <sub>T</sub>	Valor presente total

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
2 OBJETIVOS.....	28
2.1 Objetivos específicos.....	28
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
3.1 Situação do abastecimento de água no Brasil e no mundo.....	29
3.2 Análises de custo benefício em obras de saneamento.....	32
3.3 Situação do tratamento de água e gerenciamento de resíduos no Brasil.....	35
3.4 Serviços de saneamento em pequenas comunidades.....	37
3.5 Orçamento de obras.....	39
3.5.1 Modelagem para estimativas e otimização de custos.....	43
3.5.2 Custos em Estações de Tratamento de Água.....	48
3.5.2.1 Considerações sobre o tratamento e disposição dos resíduos gerados na ETA.....	61
3.5.2.2 Uso de fatores para contingência.....	61
3.5.2.3 Consideração de fatores não relacionados à economia.....	62
3.5.2.4 Cobrança de tarifa em serviços de saneamento.....	62
3.6 Tratamento de água por filtração direta.....	63
3.6.1 Filtração direta ascendente.....	68
3.6.2 Filtração direta descendente.....	70
3.6.3 Dupla filtração.....	72
3.7 Tecnologias de tratamento dos resíduos gerados nas ETAs.....	74
3.7.1 Regularização de vazão.....	79
3.7.2 Adensamento.....	80
3.7.3 Desaguamento.....	82
3.7.3.1 Leitões de secagem convencional e leitões de drenagem.....	82
3.7.3.2 Lagoas de lodo.....	85
3.8 Análise ambiental.....	88
3.9 Revisão de outros estudos.....	92
4 METODOLOGIA.....	95
4.1 Revisão da literatura.....	95
4.2 ETAs e ETRs avaliadas.....	95
4.3 Adequação dos projetos de ETAs e ETRs.....	101

4.4 Cálculo dos quantitativos .....	102
4.5 Modelo conceitual de seleção .....	103
4.5.1 Análise econômica como uma parte da seleção de tecnologias .....	103
4.5.2 Modelos de quantitativos .....	104
4.5.3 Custos unitários .....	105
4.5.4 Determinação da alternativa mais viável economicamente .....	106
4.5.5 Restrições do modelo .....	108
4.6 Desenvolvimento da ferramenta computacional .....	108
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	109
5.1 Adequação dos projetos de ETAs e ETRs .....	109
5.2 Cálculo dos quantitativos .....	109
5.3 Modelos de quantitativos .....	110
5.4 Ferramenta computacional .....	110
5.4.1 Estrutura da ferramenta computacional .....	110
5.4.2 Resultados da ferramenta computacional .....	134
5.5 Discussão .....	153
5.5.1 Técnica de avaliação dos custos .....	153
5.5.2 Comparação dos resultados obtidos com a literatura .....	154
5.6 Revisão das etapas desenvolvidas no presente estudo .....	171
6 CONCLUSÕES .....	174
7 RECOMENDAÇÕES .....	176
REFERÊNCIAS .....	177
APÊNDICE A – Desenhos dos projetos de ETA+ETR .....	189
APÊNDICE B – Quantitativos utilizados na análise econômica .....	190
APÊNDICE C – Valores dos quantitativos .....	206
APÊNDICE D – Equações dos quantitativos .....	207
APÊNDICE E – Preços unitários utilizados no modelo .....	208
APÊNDICE F – Ferramenta computacional “DirectFiltrationCost” .....	218
ANEXO A – Encargos sociais sobre o salário hora/mês (padrão) .....	219
ANEXO B – Valores do BDI por tipo de obra .....	220
ANEXO C – Cotação do dólar .....	221

## 1 INTRODUÇÃO

Embora tenham sido feitos avanços em relação ao saneamento básico no Brasil, ainda existe um déficit considerável desse serviço e os desafios para a universalização desse serviço são crescentes (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018a). Segundo o Instituto Trata Brasil (2018a), o crescimento médio anual do investimento em saneamento no país (considerando a inflação) foi de 3,9% ao ano no período entre 2004 e 2016. No entanto, o Brasil ainda se encontra muito atrasado em termos internacionais, mesmo se considerando países com desenvolvimento econômico semelhante.

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (BRASIL, 2013), em 2010, 33,9% da população brasileira possuía atendimento precário quanto ao abastecimento de água, e 6,8% não recebiam o serviço. Em relação às áreas rurais (onde a maior parte das comunidades de pequeno porte se encontra), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2011a) apontou que, nesse mesmo período, 3,3 milhões de habitantes não possuíam acesso adequado ao abastecimento de água.

Em relação às regiões brasileiras, o acesso aos serviços de saneamento é heterogêneo. Por exemplo, a Região Sudeste é a que apresenta os maiores índices e a Região Norte os menores. Nesse sentido, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2010), na Região Sudeste, 87,5% dos domicílios eram abastecidos por rede geral em 2008, ao passo que na Região Norte, esse valor foi de 45,3% (menos da metade dos domicílios) no mesmo período.

Dessa forma, investimentos em melhores condições de saneamento, principalmente em pequenas comunidades, devem ser ampliados, uma vez que o saneamento também está associado a melhorias na qualidade de vida da população e possui reflexos imediatos em diversos indicadores de saúde, como a mortalidade infantil. De acordo com o Instituto Trata Brasil (2018a), a taxa de mortalidade infantil (crianças até 5 anos) no Brasil foi de 6,4 mortes por 1.000 nascidos vivos em 2015, um número considerado alto.

A falta de saneamento também afeta a economia do país, a deterioração do meio ambiente, entre outros. Estima-se, inclusive, que cada R\$ 1,0 investido em saneamento, pode-se economizar R\$ 4,0 em investimentos para saúde (DI BERNARDO, et al., 2003). De acordo com o Instituto Trata Brasil (2018a), para o período entre 2004 e 2016, os benefícios advindos dos investimentos em saneamento excederam seus custos em aproximadamente R\$ 202 bilhões, o que indica que esse tipo de investimento tem se mostrado viável

economicamente. Nesse sentido, para uma destinação mais eficiente dos recursos, a análise econômica dos projetos de Estações de Tratamento de Água (ETAs) se faz necessária.

A literatura sugere que a determinação dos custos é um fator importante a ser considerado para a decisão da tecnologia de tratamento de água a ser utilizada (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA, 2012; AWWA, 1999; CRITTENDEN et al., 2012; HDR ENGINEERING INC, 2001).

Segundo o PLANSAB (BRASIL, 2013), a análise de sustentabilidade de um serviço deve conter os três tripés básicos: i) ambiental (relacionada à conservação e gerenciamento dos recursos naturais); ii) social (relativa à percepção e à aceitação dos usuários); e iii) econômica (relativa às análises de viabilidade econômica), além de considerar o aspecto de governança (relacionada à política e à gestão). No entanto, a abordagem de engenharia tradicional (aspectos técnicos) é, em geral, priorizada sobre outros aspectos, como ambientais, sociais e econômicos (SAKAMOTO, 2013).

De acordo com Kumar, Groth e Vlacic (2016), a sustentabilidade é um ponto importante a ser considerado no abastecimento de água para pequenas comunidades e está recebendo cada vez mais foco nas pesquisas recentes.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) elabora e aplica, desde 1995 (de 4 em 4 anos), um questionário sobre os custos envolvidos na construção e operação de ETAs no país. A partir dos dados coletados, são elaboradas curvas de custo (gráficos de vazão versus custos dos diversos componentes avaliados) e suas respectivas equações. Dessa forma, a agência estima a necessidade de investimentos públicos em sistemas de abastecimento de água e afere os custos de projetos que não possuem avaliações econômicas documentadas. Dentre as tecnologias avaliadas pela USEPA, encontra-se a filtração direta. (USEPA, 1997, 2001, 2006, 2010, 2013).

Em relação ao Brasil, algumas metodologias de seleção de tecnologias foram desenvolvidas nos últimos anos. No entanto, ainda são escassos os trabalhos que abordam a análise econômica de estações de tratamento de água para pequenas comunidades e que efetivamente comparam os custos de diferentes tecnologias de tratamento de água (principalmente as não-convencionais) e dos resíduos de ETAs.

As pequenas populações possuem especificidades, requerendo uma abordagem diferente das utilizadas em grandes centros urbanos (tanto técnica como de gestão). Como os custos das ETAs por população atendida tendem a ser superiores para sistemas menores e mais remotos, as companhias de saneamento também possuem pouco interesse em obras



nesses locais. Além disso, como as concessionárias são responsáveis apenas pelas áreas urbanas no Brasil, não há uma obrigação legal para que as empresas atuem em áreas rurais, tampouco existem subsídios governamentais que facilitem a implementação de obras de saneamento nessas áreas. Como consequência, a restrição de investimentos ou verbas para pequenas populações pode restringir as tecnologias a serem utilizadas, visto que algumas delas podem não ser economicamente viáveis ou compatíveis com a realidade (SAKAMOTO, 2013; USEPA, 2004, 2013).

Dentre as alternativas para tratamento de água, a filtração direta destaca-se pelo seu baixo custo de implantação e operação, podendo contribuir significativamente para a universalização do tratamento de água (o que ainda é um grande desafio). No entanto, cuidados devem ser tomados, principalmente em relação à qualidade da água bruta e à necessidade de mão-de-obra capacitada, uma vez que o baixo tempo de detenção da água na estação exige que o operador tome medidas corretivas rapidamente (DI BERNARDO, et al., 2003).

Portanto, diante do quadro exposto, o presente trabalho efetuou uma análise econômica, em fase de projeto, de tecnologias de filtração direta (não convencional) e tratamento dos resíduos gerados na ETA para pequenas comunidades. Além disso, foi desenvolvida uma ferramenta computacional para expressar o modelo de seleção utilizado. Dessa forma, o trabalho visou facilitar a tarefa de engenheiros projetistas, orientar os investimentos na área, além de ampliar os conhecimentos sobre obras para pequenas populações e custos relacionados ao tratamento de água e dos resíduos produzidos na ETA.

## 2 OBJETIVOS

Elaborar um modelo conceitual de seleção e uma ferramenta computacional em Excel que permitem estimar os custos de ETAs por filtração direta ascendente, filtração direta descendente e dupla filtração e de ETRs associadas para comunidades de pequeno porte.

### 2.1 Objetivos específicos

- Adequar os projetos básicos de estações de tratamento de água por filtração direta ascendente, filtração direta descendente e dupla filtração, utilizando câmara de carga (quando presente), filtros e tanque de água filtrada em concreto;
- Adequar os projetos básicos de estações de tratamento dos resíduos, utilizando leitos de drenagem em alvenaria e tanque de regularização em concreto;
- Orçar os projetos desenvolvidos por Sabogal Paz (2007), além dos projetos adequados considerando novos métodos construtivos;
- Estimar os quantitativos dos projetos;
- Definir os modelos de quantitativos;
- Desenvolver o modelo conceitual de seleção e a ferramenta computacional em Excel para implementar esse modelo;
- Validar e ajustar o modelo desenvolvido, comparando-se os resultados obtidos pelo modelo com os orçamentos individuais obtidos para cada ETA analisada.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Situação do abastecimento de água no Brasil e no mundo

A água é um elemento essencial à vida, dessa forma, desde o início da civilização, as comunidades se instalavam nas redondezas das fontes de água, como rios, lagos e nascentes (SMET; VAN WIJK, 2002). A água é insubstituível tanto para atividades básicas do ser humano (como beber, cozinhar, tomar banho), quanto para irrigação e funcionamento de unidades administrativas governamentais, hospitais, estabelecimentos comerciais, indústrias, entre outros (ASCE, 2011). Nesse sentido, o acesso à água de boa qualidade e em quantidades adequadas contribui para a saúde da população, sendo reduzida a incidência de diversas doenças (IBGE, 2010).

De acordo com o IBGE (2010), o abastecimento de água por rede geral é constituído pelas seguintes etapas: 1) retirada da água bruta, 2) adequação de sua qualidade (tratamento), e 3) transporte e fornecimento da água à população através da rede geral de distribuição.

Acesso universal à água potável e ao saneamento é o sexto de 17 objetivos que compõe a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), para a solução de todos os objetivos é crucial que seja realizada uma abordagem integrada (SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS FUND – SDGF, 2019).

No entanto, um grande número de pessoas no mundo ainda continua sem acesso a níveis básicos de abastecimento de água e saneamento (HUTTON, 2012). Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS, a falta de segurança em relação ao abastecimento de água e saneamento, além de falta de práticas de higiene, ainda são causas importantes de mortes no mundo, tendo sido registradas 870 mil mortes associadas a esses problemas em 2016 (OMS, 2018).

Ainda segundo a OMS, serviços de abastecimento gerenciados de forma segura somente estavam disponíveis para 71% da população mundial em 2015 e neste mesmo ano 844 milhões de pessoas no mundo ainda careciam de um serviço básico de abastecimento de água (OMS, 2017, 2018).

A *American Society Of Civil Engineers* – ASCE publicou, em 2011, uma série de relatórios que fornecem as implicações econômicas da falta de investimentos de infraestrutura em diversos setores. O saneamento foi contemplado em um desses relatórios. Nesse sentido, a ASCE (2011) aponta que a falta de investimentos em saneamento tem sérios impactos na

economia. Tais impactos também implicam em menos investimentos em saneamento. Dessa forma, um está intimamente relacionado ao outro. Em 2015 a ASCE atualizou os dados contemplados na edição anterior (ASCE, 2015).

Segundo a ASCE (2015), a previsão é que de 2016 a 2025 haja uma lacuna investimento por parte do governo americano de 105 bilhões de dólares no setor de saneamento (a estimativa é que serão gastos 45 bilhões, mas seriam necessários 150 bilhões). A previsão para 2040 é ainda mais alarmante, sendo a falta de investimento estimada em 152 bilhões. Hutton (2012) também apontou essas lacunas em escala global, sendo que o progresso insuficiente para as diminuir faz com que esses valores sejam cada vez maiores no futuro.

Ainda de acordo com a ASCE (2015), devido à falta de investimento no setor de saneamento, o impacto (perda) para o Produto Interno Bruto – PIB dos EUA seria de 508 bilhões de dólares no período entre 2016 e 2025. Considerando o período entre 2025 e 2040, o impacto seria ainda maior (3,2 trilhões de dólares). Segundo a ASCE (2015), as consequências para a sociedade também seriam alarmantes, caso a lacuna de investimento não fosse preenchida, podendo resultar na diminuição de quase 500 mil empregos até 2025 e de 956 mil até 2040.

Em relação ao Brasil, foram analisados dados publicados pelo Censo 2010 (IBGE, 2010). Sua utilização, mesmo apresentando resultados desatualizados, é justificada por ainda ser a fonte de dados disponível mais recente, no presente momento, para as situações analisadas. Alguns dados não reportados pelo Censo 2010 (IBGE, 2010) foram somente encontrados no Censo 2000 (IBGE, 2002).

Nesse sentido, a PNSB (IBGE, 2010) mostrou que 99,4% dos municípios brasileiros possuía rede de abastecimento de água em 2008. Esse valor era de 99,1% para municípios com até 50 mil habitantes (IBGE, 2010). Esses valores, no entanto, não consideram a abrangência das redes dentro dos municípios nem sua eficiência. Nesse sentido, a PNSB (IBGE, 2010) também mostrou que 78,6% dos domicílios brasileiros eram abastecidos por rede geral de distribuição em 2008. Na região Norte, esse valor foi de apenas 45,3% no mesmo período.

O Instituto Trata Brasil (2018b) traz dados mais atualizados em relação ao saneamento no Brasil. No entanto, esses dados somente consideram informações sobre as regiões metropolitanas do país (50 maiores cidades), não incluindo as pequenas comunidades. Dessa forma, optou-se por não se considerar esses valores no presente estudo, uma vez que o foco deste trabalho é justamente essas pequenas comunidades, onde os indicadores de saneamento

geralmente são piores. Mesmo fugindo ao escopo do presente estudo, a referência é apresentada para consulta.

O IBGE (2011d) considera municípios de pequeno porte como sendo aqueles em que a população não excede 50 mil habitantes. No entanto, o presente trabalho teve como foco os municípios com até 20 mil habitantes. Nesse sentido, o Censo 2010 constatou que 70,33% dos municípios brasileiros possuem até 20 mil habitantes (IBGE, 2011b). Além disso, a população residente nesses municípios correspondia a 17,12% dos habitantes do Brasil (IBGE, 2011c). Por ser uma parcela substancial tanto do número de municípios como da população brasileira, estudos que tem como foco as pequenas comunidades são essenciais.

Ainda de acordo com o IBGE (2002), no Censo 2000 os municípios com menos de 20 mil habitantes correspondiam a 47,50% da população rural. Este dado, mesmo não tendo sido computado mais recentemente, confere uma ordem de grandeza da proporção dos pequenos municípios localizados na zona rural. Para fins comparativos, o Censo 2000 (IBGE, 2002) mostrou que 18,75% da população brasileira residiam na zona rural e esse valor, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD) 2015, foi de 15,28% (IBGE Educa, 2015).

Segundo a OMS (2017), 87% da população brasileira residente na zona rural em 2015 tinha acesso ao menos básico à água potável. Esse número, para áreas urbanas foi de 99%. A OMS (2017) também indica que a porcentagem de água encanada nas áreas rurais brasileiras em 2015 foi de 79%, contra 99% nas zonas urbanas. Esses dados, no entanto, não consideram se a água está disponível sempre que necessária e também se está livre de contaminação.

De acordo com a ONU, para que seja garantido o acesso universal a serviços de fornecimento de água potável seguros e acessíveis até 2030, é necessário que se invista em adequadamente em infraestrutura e instalações de saneamento (SDGF, 2019). Além disso, a ONU destaca a necessidade de mais cooperação internacional para incentivar e apoiar o uso de tecnologias de tratamento mais eficientes em países em desenvolvimento (SDGF, 2019).

A assembleia geral e o conselho de direitos humanos da ONU reconheceram, em 2010, o acesso à água potável e o saneamento como direitos humanos (HUTTON, 2012). Além disso, segundo Marzouk e Elkadi (2016), as ETAs são projetos de infraestrutura normalmente administradas por autoridades públicas. Nesse sentido, o direito ao acesso a água potável e saneamento obriga os Estados a garantir que tais serviços sejam acessíveis à população, uma vez que as tarifas não podem ser uma barreira ao acesso e nem impedir que as pessoas atendam suas demais necessidades humanas básicas (OMS, 2017).

De acordo com Hutton (2012), o Brasil precisaria investir quase 7 bilhões de dólares (tendo 2010 como ano base) para atingir o objetivo de acesso universal ao abastecimento de água, considerando que mais de 11 milhões de pessoas ainda não possuíam cobertura desses serviços. Embora o custo total do capital financeiro seja alto, de acordo com Hutton (2012) a razão custo benefício dessa prática seria de 2,5.

De acordo com Rathnayaka, Malano e Arora (2016), nos últimos 15 anos, um número significativo de estudos foram realizados com o intuito de auxiliar a tomada de decisão em relação ao planejamento do abastecimento de água (incluindo seu tratamento) ao redor do mundo. Segundo os autores, a maioria desses estudos contou com estruturas de apoio à decisão, incluindo frequentemente simulações e modelagens de partes do sistema ou do sistema como um todo. Essas avaliações também contaram com análises multicritério, análises de custo benefício, avaliação do ciclo de vida, técnicas de otimização e comparação com dados pré-existentes. Alguns estudos também incluíram o critério social.

### 3.2 Análises de custo benefício em obras de saneamento

Este item apresenta alguns estudos encontrados na literatura sobre análise de custo benefício em obras de saneamento, como os trabalhos de Haller, Hutton e Bartram (2007), Hutton (2012), Hutton e Haller (2004), Hutton, Haller e Bartram (2007) e Teixeira e Heller (2003). A apresentação desses estudos visa exemplificar a viabilidade de obras de saneamento.

Os trabalhos de Haller, Hutton e Bartram (2007), Hutton (2012) e Hutton e Haller (2004) focaram na análise de custo benefício de serviços de saneamento em escala global. Embora também tenham sido feitas análises em outras escalas, segundo os próprios autores as análises mais específicas (níveis regional e nacional) não são muito acuradas e devem ser melhor estudadas. Hutton, Haller e Bartram (2007) focaram sua análise de custo benefício em regiões em desenvolvimento. Teixeira e Heller (2003), por sua vez, focaram seu estudo no Brasil.

Haller, Hutton e Bartram (2007) estimaram os custos e benefícios para a saúde resultantes de três diferentes intervenções: 1) aumentando o acesso às melhores instalações de água e saneamento, 2) aumentando o acesso à água encanada e coleta de esgoto, e 3) fornecendo tratamento doméstico de água. Os benefícios em termos de saúde foram medidos por Disability Adjusted Life Year (DALY). A análise concluiu que praticamente todas as

intervenções são economicamente viáveis, principalmente para países em desenvolvimento com altas taxas de mortalidade.

Haller, Hutton e Bartram (2007) também apontaram que, além da análise de custo benefício, são necessárias análises ambiental, social, cultural e institucional, que normalmente são fatores específicos de uma determinada localidade. Além disso, os autores indicam que as análises de custo benefício, embora sejam ferramentas úteis para a tomada de decisão, tem suas limitações, uma vez que não fornecem dados sobre todos os fatores que devem ser considerados.

Haller, Hutton e Bartram (2007) ainda indicam que os principais beneficiários (população em geral), nem sempre entendem todos os benefícios das medidas antes delas serem implantadas. Dessa forma, torna-se necessário o compartilhamento de informações com a população através de educação e comunicação de mudança de comportamento. Essas medidas são importantes para influenciar os potenciais beneficiários a serem agentes de mudança e estarem dispostos a contribuir ou financiar as iniciativas em água ou saneamento (com trabalho ou materiais, por exemplo). Portanto, isso aliado com a falta de informação (os consumidores não serem bem informados sobre os benefícios das instalações de água e saneamento) faz com que intervenções nessas áreas nem sempre sejam bem-sucedidas.

Hutton (2012) avaliou os custos e benefícios, em nível global, devido a intervenções na área de saneamento de forma a satisfazer os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (em inglês *Millenium Development Goals* – MDG) de acesso universal a sistemas de saneamento em 2015. Para isso, foram feitas análises em escala global, regional e nacional. Os resultados da pesquisa de Hutton (2012) mostraram que o retorno econômico global com investimentos em saneamento é de 5,5 dólares para cada dólar investido.

Hutton (2012) também indica que os estudos globais devem ser tomados como motivação para que cada país desenvolva seu próprio estudo econômico e financeiro em escala local. Segundo o autor, os estudos nacionais devem considerar suas particularidades, como contexto político, e devem ser compartilhadas internacionalmente para ajudar outras nações.

Hutton e Haller (2004) avaliaram os custos e benefícios devidos a uma série de intervenções relacionadas à melhora de serviços de saneamento. O estudo foi realizado para 17 sub-regiões delimitadas pela OMS e também foram feitas considerações em nível global.

Em relação aos benefícios, Hutton e Haller (2004) avaliaram os seguintes parâmetros: 1) economia de tempo (devido ao acesso facilitado à instalações de saneamento); 2) ganho de produtividade (aumento de tempo produtivo, uma vez que o trabalhador não perderá tempo

por estar doente); 3) custos no setor de saúde e minimização dos custos com pacientes (uma vez que eles não precisariam de tratamento); e 4) valor associado às mortes evitadas. Já em relação aos custos, foram incluídos todos os investimentos iniciais e gastos anuais com operação e manutenção. Os resultados mostraram que todas as intervenções analisadas em todas as áreas de estudo tiveram uma razão de benefício/custo maior do que 1 (os benefícios superaram os custos), mesmo considerando os cenários mais pessimistas.

Devido às incertezas em vários dos dados de entrada, Hutton e Haller (2004) recomendam que cada país desenvolva seus próprios casos de estudo como complementação da análise global mostrada. Hutton e Haller (2004) também destacam que, para se expandir o acesso às melhorias nos serviços de saneamento, deve-se aumentar, em nível nacional e internacional, o apoio para alocação de recursos na área. Ainda de acordo com Hutton e Haller (2004), uma avaliação econômica que inclui uma análise de custo benefício não deve contemplar somente aspectos econômicos, mas também informações relevantes sobre a população beneficiada e quem estaria disposto a pagar pelas intervenções.

Hutton, Haller e Bartram (2007) avaliaram diversas intervenções para melhorar o acesso a abastecimento de água e saneamento em regiões em desenvolvimento. Os custos avaliados foram os de investimento e de operação. Os benefícios avaliados foram economia de tempo devido ao acesso mais fácil (as instalações ficam mais perto da população), ganho em tempo produtivo, diminuição dos custos com saúde devido à diminuição de doenças, e prevenção de mortes. O estudo concluiu que, considerando as suposições feitas para um caso base, a razão custo-benefício é pelo de pelo menos 5 (5 dólares de benefícios econômicos para cada 1 dólar investido). Além disso, mesmo considerando as suposições mais pessimistas, a razão custo-benefício continua maior que 1 na maioria das regiões analisadas.

Teixeira e Heller (2003) desenvolveram um modelo para a priorização de investimentos em saneamento para o Brasil. Para isso, os autores analisaram indicadores financeiros e de saúde (análise epidemiológica). A análise financeira visou mensurar, de acordo com o período de projeto desejado, o retorno financeiro de cada projeto. Para isso, foi utilizado o Valor Presente Líquido – VPL. Os investimentos foram ordenados de forma hierárquica a partir de um programa em Excel. Segundo os autores, a universalização do acesso ao abastecimento de água e esgotamento sanitário está relacionada a uma melhoria na saúde e nas condições de vida das comunidades, além de serem importantes para a recuperação e proteção do meio ambiente.

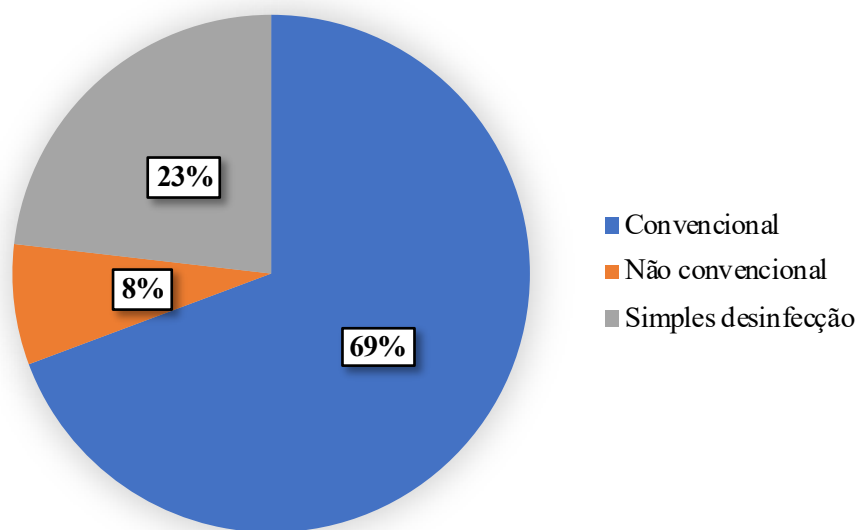


### 3.3 Situação do tratamento de água e gerenciamento de resíduos no Brasil

Segundo a PNSB (IBGE, 2010), a maior parte do tratamento de água no Brasil é feito por tratamento convencional (ETAs de ciclo completo). Os principais processos unitários desse tipo de tratamento de água são: coagulação, floculação, sedimentação (ou flotação), filtração e desinfecção. Ao final do processo também deve ser adicionado flúor à água tratada (processo de fluoração) (BONTON et al., 2012; MHAISALKAR et al., 1993).

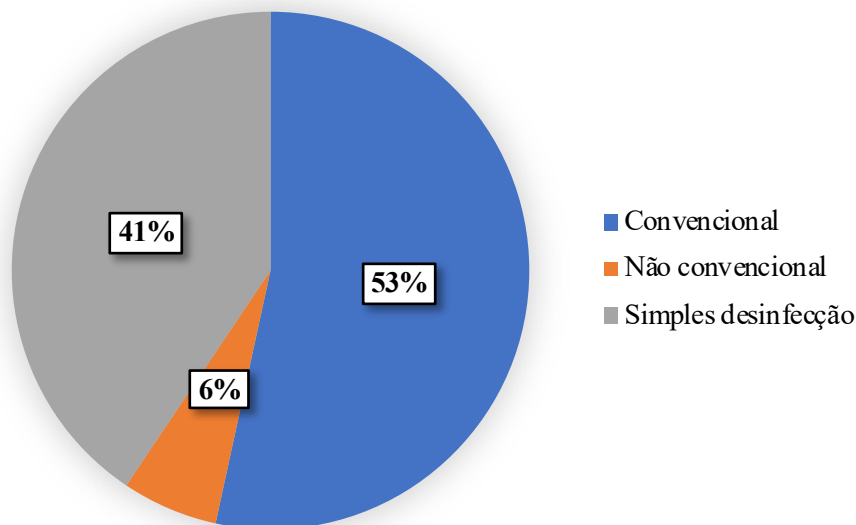
Em segundo lugar vem a simples desinfecção, em que a água bruta passa pelo processo de desinfecção e em seguida é destinada aos usuários. Somente uma pequena parcela corresponde a tecnologias não convencionais (diferentes do ciclo completo), como mostrado na Figura 1. Para municípios com até 50 mil habitantes esse quadro não é diferente, mas a contribuição da simples desinfecção é muito mais significativa, como mostrado na Figura 2. Todos esses dados têm como base o ano de 2008 (IBGE, 2010).

Figura 1 – Proporção de utilização de tecnologias de tratamento de água no Brasil, de acordo com o volume de água distribuída por dia



Fonte: adaptado de IBGE (2010).

Figura 2 – Proporção de utilização de tecnologias de tratamento de água em municípios brasileiros com até 50 mil habitantes, de acordo com o volume de água distribuída por dia



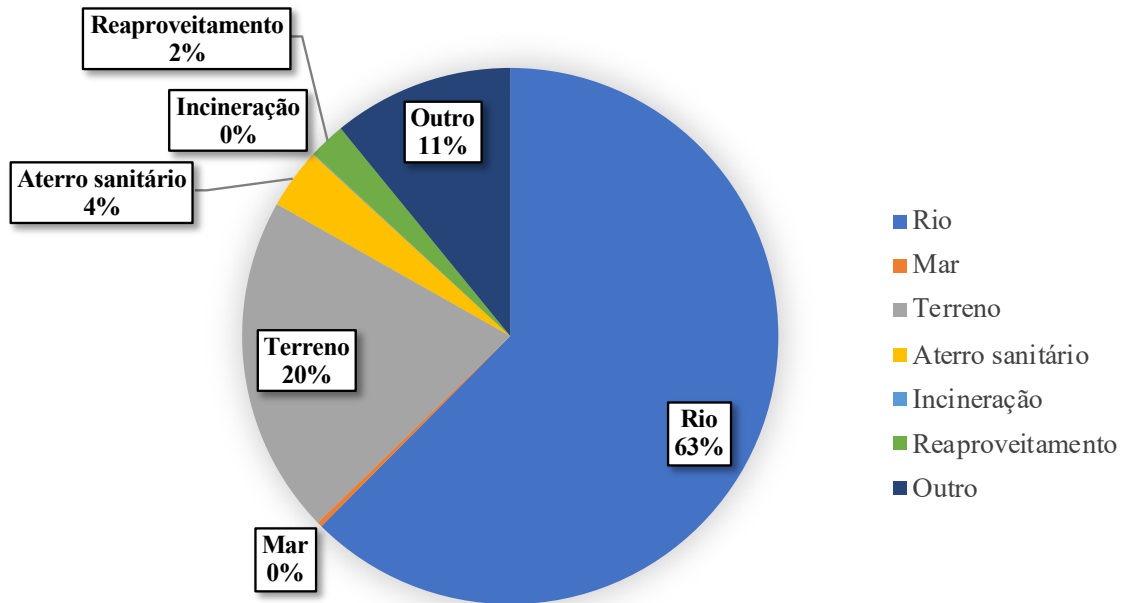
Fonte: adaptado de IBGE (2010).

De acordo com a PNSB (IBGE, 2010), aproximadamente 7% do volume de água distribuída no Brasil não possuía nenhum tipo de tratamento em 2008. Para municípios com até 50 mil habitantes esse valor foi de aproximadamente 13,6%.

No entanto, tem-se observado muitos investimentos na área nos últimos anos. O número de ETAs em operação no Brasil, por exemplo, cresceu substancialmente entre 2000 e 2008, passando de 1385 ETAs no ano de 2000 para 6040 ETAs no ano de 2008. Para municípios com até 50 mil habitantes, esse número passou de 531 ETAs para 4777 ETAs, considerando os anos de 2000 e 2008, respectivamente (IBGE, 2010).

Em relação aos resíduos produzidos nas ETAs, a PNSB (IBGE, 2010) mostrou que 62,4% dos municípios brasileiros tinham produção de lodo nas ETAs em 2008. A proporção de utilização do tipo de disposição desse lodo está mostrada na Figura 3. Como pode se observar na Figura 3, o tipo de disposição do lodo gerado na ETA mais utilizado é o lançamento em rios. Em seguida tem-se a disposição em terreno. Apenas uma pequena parcela é disposta em aterros ou é reaproveitada.

Figura 3 – Proporção de utilização de tipos de disposição para o lodo gerado nas ETAs brasileiras



Fonte: adaptado de IBGE (2010).

### 3.4 Serviços de saneamento em pequenas comunidades

Segundo Clark et al. (2002), diversos estudos concluíram que investimentos em infraestrutura são especialmente necessários em pequenas comunidades.

Serviços adequados e saneamento estão associados a uma melhora da saúde de populações não privilegiadas residentes em áreas rurais, sendo também relacionados ao desenvolvimento socioeconômico da comunidade. Esse desenvolvimento se beneficia tanto do próprio serviço oferecido como de suas etapas de planejamento, instalação e gerenciamento. Isso ocorre quando os membros da pequena comunidade participam ativamente dos novos projetos de saneamento, fazendo com que a população se sinta reconhecida e útil. Ao mesmo tempo, são passados novos conhecimentos e habilidades aos moradores. A instalação de serviços de saneamento também gera empregos e estimula a criação de novos empreendimentos (SMET; VAN WIJK, 2002).

As comunidades localizadas em países em desenvolvimento que estão dispostas a instalar e operar sistemas de abastecimento de água possuem várias particularidades. Algumas são pequenas e outras são ainda isoladas. Algumas das suas possíveis características são: população dispersa; economia de subsistência; pequena demanda de água; fortes características de liderança, mas com pouca habilidade administrativa; e forte coesão social baseada na tradição e ajuda mútua (SMET; VAN WIJK, 2002).

Tento em vista as diferentes características das pequenas comunidades, é necessário que a implantação de serviços de saneamento nessas áreas seja adaptada para cada caso específico. Nesse sentido, não deve ser utilizada uma abordagem universal, como a utilização do mesmo tipo de tecnologia, com as mesmas demandas de mão-de-obra, gerenciamento, entre outros. A implantação sem levar em consideração as questões sociais e econômicas de cada comunidade tem mostrado resultados insustentáveis (SMET; VAN WIJK, 2002).

Segundo Smet e Van Wijk (2002), a solução local para um sistema melhor de saneamento deve considerar o planejamento (tendo em vista todas as particularidades da comunidade em questão), e os aspectos técnicos, ambientais, financeiros e institucionais.

Nesse sentido, são apresentados os estudos de Deb e Richards (1983) e Makungo, Odiyo e Tshidzumba (2011) sobre pequenas comunidades.

Deb e Richards (1983) avaliaram várias alternativas de fornecimento de água potável compatíveis com pequenas populações nos EUA, como o uso de estações compactas pré-fabricadas, tratamento no ponto de uso (dispositivos individuais que tratam somente a quantidade de água desejada), distribuição de água engarrafada (somente para curto prazo ou em caso de emergência) e regionalização (integração dos sistemas de abastecimento/tratamento de água entre várias comunidades).

Nesse sentido, Deb e Richards (1983) consideraram pequenas populações aquelas entre 100 e 10.000 habitantes. O modelo proposto inclui funções de custo para 38 processos unitários utilizados no fornecimento, tratamento e distribuição de água. O modelo foi aplicado para dois estudos de caso hipotéticos. De acordo com os autores, sistemas convencionais em pequenas populações tendem a não ser vantajosos, uma vez que requerem altos custos de investimento e operação, que somente são possíveis de serem pagos por maiores populações. Os autores ainda apontam que o sistema de regionalização pode não ser viável para comunidades isoladas (esparsas), uma vez que a conexão entre as comunidades é dificultada.

Makungo, Odiyo e Tshidzumba (2011), por sua vez, destacam que ETAs de pequeno porte na África do Sul são mais usadas em áreas rurais e periféricas e incluem estações de desinfecção por cloro de água de poços e nascentes, pequenos sistemas de tratamento para comunidades rurais, estações de tratamento para pequenos municípios, entre outros. De acordo com os autores a maioria das pequenas ETAs na África do Sul que abastecem comunidades rurais enfrentam problemas de recuperação dos custos, desperdício de água, tamanho limitados e mão-de-obra semiquificada.

Nesse sentido, Makungo, Odiyo e Tshidzumba (2011) avaliaram o desempenho de pequenas ETAs, usando o caso de estudo de uma ETA na África do Sul. Os índices de

desempenho avaliados foram pH, condutividade elétrica, turbidez e parâmetros químicos (cálcio, cloro, magnésio, manganês, ferro, zinco, nitrato, sulfato, fosfato e flúor). Esses parâmetros foram medidos na água bruta e na água tratada.

Makungo, Odiyo e Tshidzumba (2011) também destacam que a ETA estudada, embora esteja no caminho para atingir os parâmetros necessários, ainda não produz água de qualidade adequada. Os resultados do estudo indicam que a falta de monitoramento da quantidade de água fornecida para cada vilarejo, dosagem de coagulante, capacidade da ETA e monitoramento da água tratada são alguns fatores limitantes do desempenho da ETA.

### 3.5 Orçamento de obras

A importância do desenvolvimento de análises confiáveis de custos de investimento e funcionamento é consenso entre vários autores (além de análises financeiras e de custo benefício) nas fases preliminares de projetos de ETAs e outros tipos de obras. O estabelecimento de uma estimativa de custos razoável antes da fase de projeto é a base para se obter um orçamento preciso ao final do projeto, além de adicionar direção e integridade a todo o processo de dimensionamento. Estimativas preliminares de custo também são necessárias para o estudo de viabilidade e um bom planejamento dos projetos. Isto além de ajudarem os tomadores de decisão na triagem das alternativas (seleção das intervenções mais viáveis e eficientes) e no pedido verbas para financiamento, uma vez que na fase de pré-dimensionamento geralmente considera diversas alternativas. Além disso, a análise econômica fornece evidências para apoiar os investimentos na área de saneamento, auxiliando governos de países em desenvolvimento a justificar a alocação adequada de recursos (priorizar a destinação de verbas governamentais) para a área. Isso é fundamental, pois os recursos são escassos e as escolhas devem ser feitas considerando esses recursos e destacando perguntas como: “onde investir”, “em que investir”, “o quanto investir” e “com que recursos investir” de forma racional. Esse planejamento orçamentário, além de ajudar a prever os gastos da entidade pública, também torna possível para o setor público planejar os investimentos e se preparar para eventuais imprevistos. Para que seja realizada uma boa análise, há a necessidade de se coletar, compilar e analisar novos dados e se realizar vários estudos. A importância da análise econômica é ainda maior em comunidades rurais, onde a disponibilidade de crédito (obtenção de recursos financeiros) é um problema (AHIAGADAGBUI; SMITH, 2012; ALEX et al., 2010; BRASIL, 2014; CLARK, 1982; GUPTA; SHRIVASTAVA, 2010; MARZOUK; ELKADI, 2016; MHAISALKAR ET AL., 1993;

HALLER; HUTTON; BARTRAM, 2007; HUTTON, 2012; HUTTON; HALLER, 2004; MCGIVNEY; KAWAMURA, 2008; SABOGAL PAZ, 2007; SETHI; CLARK, 1998; SHARMA, 2010; SHARMA; NAJAFI; QASIM, 2013; SMET; VAN WIJK, 2002; TEIXEIRA; HELLER, 2003).

Segundo McGivney e Kawamura (2008), as estimativas de custos de construção na fase preliminar de projeto dependem do projeto básico, incluindo seus respectivos desenhos. Nesse sentido, um projeto básico feito de forma correta e clara é essencial. Estas estimativas devem ser detalhadas e incluir os custos de construção, operação e manutenção. Quanto mais detalhes forem considerados, maior será a acurácia da estimativa de custo (ASCE; AWWA, 2012; MCGIVNEY; KAWAMURA, 2008; MONTGOMERY, 1985).

De acordo com Brasil (2014), na ausência de sistemas de informação apropriados e para a avaliação de serviços novos, os modelos de avaliação econômica devem possibilitar a variação de certos parâmetros com a finalidade de se simular diversos cenários. Além disso, para a hierarquização e seleção de tecnologias sustentáveis, devem ser considerados, além dos aspectos econômicos, os aspectos técnicos, ambientais, sociais e culturais (GANDINI; GALVIS, 2000).

O orçamento é uma exigência legal prevista na Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993 (BRASIL, 1993). Dessa forma, para que as obras e os serviços possam ser licitados, é necessária a apresentação, junto do projeto básico, de um orçamento detalhado dos custos da obra, fundamentado em quantitativos de serviço avaliados segundo composições de custos unitários (CAIXA, 2018b; CARDOSO, 2009; TISAKA, 2006).

De acordo com as Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos – TCPO (2012), o orçamento é aprimorado com o andamento do ciclo de vida dos empreendimentos, que pode ser dividido nas seguintes fases: i) concepção (iniciação); ii) conceituação (1ª estimativa de custo); iii) verificação da viabilidade (revisão da estimativa); iv) projeto (orçamento executivo, que deve incluir orçamento para manutenção futura); v) licitação e contratação; vi) construção (orçamento real); vii) comissionamento; viii) uso e operação e manutenção; ix) manutenção e monitoramento (orçamento de manutenção real); e x) descomissionamento.

Em seu estudo, McGivney e Kawamura (2008) dividiram as estimativas de custos em 5 categorias, com grau crescente de detalhes e acurácia. A primeira delas é a estimativa de pré-dimensionamento que, devido à falta de detalhes provenientes do projeto executivo, tem o objetivo de ajudar a se obter um orçamento realístico, baseando-se na combinação de custos unitários e parâmetros dos processos. Segundo os autores, a acurácia dessa estimativa tinha,

em geral, um valor esperado entre 50 a 30% do preço médio de construção na época em que o estudo foi publicado. Ainda de acordo com McGivney e Kawamura (2008), a estimativa de pré-dimensionamento é geralmente utilizado estudos de viabilidade e comparação tecnologias (alternativas).

Já a TCPO (2012) considera que o orçamento de uma obra pode ser concebido em três diferentes profundidades, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Métodos para a realização de orçamento

Método	Assertividade	Aplicação	Procedimento
Por estimativas	Menor	<b>Estudos preliminares:</b> fases iniciais	Custo por m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> extraídos de empreendimentos anteriores (projetos semelhantes)
Por composições	Padrão ou ajustadas	<b>Obras convencionais:</b> simples, repetitivas e limitadas; tecnologias recorrentes	Uso de tabelas de composições de custo (materiais, mão-de-obra e equipamentos necessários para a execução de um serviço)
Por modelagem	Maior	<b>Obras convencionais e não convencionais:</b> complexas, de maior magnitude, tecnologias inovadoras	Além dos serviços e dos métodos construtivos, também considera todas as informações sobre o processo de construir (como, onde e de que maneira os trabalhos serão realizados)

Fonte: adaptado de TCPO (2012).

Segundo Marzouk e Elkadi (2016), não é esperado que estimativas preliminares (conceituais) de custo sejam precisas, uma vez que ainda faltam informações acerca do escopo do projeto. No entanto, há a necessidade de uma previsão rápida, barata e razoavelmente precisa, baseada nas informações disponíveis. Ainda de acordo com os autores, o uso de modelos de custo pode reduzir tempo e recursos gastos na estimativa de custos em fase de projeto (preliminares) quando o tempo é limitado. Também pode ser usado como referência para comparar estimativas detalhadas.

No método de orçamento por composições, é feito o cálculo das quantidades dos serviços utilizados (quantitativos) e esse valor é multiplicado pelos custos unitários das composições de custos correspondentes (TCPO, 2012; TISAKA, 2006).

Segundo a CAIXA (2018b), o cálculo dos custos na fase de projeto (orçamento executivo) pode ser estruturado de acordo com a Tabela 2. Os custos diretos são tomados através do orçamento por composições.

Tabela 2 – Formação dos custos para a empresa

Custo - Obra		BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) - Sede	
<i>Direto</i>	<i>Indireto</i>	<i>Despesa</i>	<i>Bonificação</i>
- Materiais	- Recursos Humanos (RH)	- Tributos	
- Mão de Obra	Gestão Técnica	- Despesas Financeiras	
- Equipamentos	- RH Administrativo	- Risco	- Lucro
- Ferramentas	- Manutenção de Canteiro	- Administração Central	
- Equipamentos de Proteção Individual (EPI)	- Veículos	- Outros	
- Outros	- Mobilização		
	- Outros		

Fonte: adaptado de TCPO (2012).

Para a determinação do custo relativo à mão-de-obra, também devem ser considerados os encargos sociais, que correspondem à porcentagem acrescida à folha de pagamento devido aos direitos dos trabalhadores, como pagamento ao Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), férias, 13º salário, Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), entre outros. As composições das leis sociais para mensalistas e para horistas encontram-se no Anexo A.

Os custos indiretos estão relacionados à logística, infraestrutura e gestão necessária para a implantação da obra (CAIXA, 2018b).

A parcela relativa aos benefícios e despesas indiretas (BDI), é uma taxa que deve ser acrescida ao custo orçado para obtenção do valor total de comercialização, venda ou contratação. (TCPO, 2012). Segundo a CAIXA (2018b), as despesas indiretas são decorrentes da atividade empresarial (porcentagem sobre o custo da obra) e a bonificação é relativa à remuneração da empresa pelo trabalho realizado. Para a determinação da taxa de BDI podem ser consultadas as obras de TISAKA (2006, 2009).

Vários estudos presentes na literatura abordam a análise de custos em obras de produção e abastecimento de água. No presente trabalho serão apresentados os estudos de Dantas, Medeiros e Dantas (2001) e Rathnayaka, Malano e Arora (2016). Os estudos que focam especificamente em custos de ETAs serão apresentados no Item 3.5.2.

Dantas, Medeiros e Dantas (2001) propuseram uma metodologia para análise de custos de sistemas de abastecimento de água, utilizando a abordagem do custeio baseado em atividades (em inglês *Activity Based Costing* – ABC). A metodologia visou uma maior eficiência e eficácia na determinação dos custos. Dessa forma, os autores sistematizaram a obtenção do custo operacional desses custos por volume de água produzida nas saídas das unidades de tratamento e nos pontos de transferência à rede de distribuição. Esses custos



foram e controlados de forma a eliminar possíveis desperdícios (e conseqüentemente minimizar os custos).

Dantas, Medeiros e Dantas (2001) também fizeram um planejamento e controle das alternativas visando auxiliar a tomada de decisões gerenciais. Para as previsões orçamentárias, os autores determinaram funções de custo (na forma de equações potenciais) relacionando os custos com a capacidade (vazão) do sistema.

Rathnayaka, Malano e Arora (2016) elaboraram um quadro de avaliação para analisar diversas alternativas de políticas de gerenciamento para o abastecimento de água. Nesse quadro foram considerados aspectos econômicos, sociais, ambientais, de risco e de performance, visando verificar o nível de sustentabilidade das alternativas. Também foram considerados custos de descomissionamento das alternativas (após o período de projeto).

### 3.5.1 Modelagem para estimativas e otimização de custos

Neste item, foram avaliados estudos que propuseram modelagens matemáticas para estimativas e otimizações de custos. Segundo Marzouk e Elkadi (2016), algumas das técnicas usadas para as estimativas de custo em fase de projeto são análise de regressão, simulação e redes neurais. Foge ao escopo do presente trabalho explicar com detalhes o funcionamento de cada modelagem. No entanto, cabe salientar sua presença na literatura, mostrar as diferenças entre esses estudos e o presente trabalho e apontar o porquê de algumas dessas técnicas não terem sido consideradas no presente estudo.

Ahiaga-Dagbui e Smith (2012), Alex et al. (2010), Arafa e Alqudra (2011) e Günaydin e Dogan (2004) propuseram modelagens matemáticas utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA), para estimativas de custo de diversos tipos de obras em fase inicial de projeto. As obras consideradas por Ahiaga-Dagbui e Smith (2012) foram: construção de adutoras, ETAs, redes de coleta de esgoto, instalação de bueiros e estruturas de bombeamento, além de manutenção de redes de distribuição. Alex et al. (2010) consideraram instalações de água e esgoto. Arafa e Alqudra (2011) e Günaydin e Dogan (2004) consideraram a construção de edifícios.

Cada um desses estudos considerou parâmetros chave (dados de entrada) diferentes, de acordo com sua importância. No presente estudo, o parâmetro de entrada mais importante é a vazão de projeto. Para a definição dos parâmetros mais importantes, deve ser realizada uma análise de sensibilidade, ou seja, uma verificação de qual variável influencia mais os resultados.

O funcionamento das RNA se dá analogamente ao funcionamento do sistema nervoso em seres vivos. Dessa forma, o modelo adquire conhecimento com dados e exemplos anteriores. Nesse sentido, a quantidade e a qualidade desses dados influenciam a performance das RNA (GÜNAYDIN; DOGAN, 2004). Portanto, os autores que abordaram esse tipo de modelagem utilizaram dados (em quantidade significativa) de obras reais anteriores para a construção de seus modelos, não utilizando projetos hipotéticos na sua concepção.

Nesse sentido, os estudos que abordam essa modelagem diferem do presente trabalho. Embora as RNA tenham sido abordadas na literatura como uma opção econômica e rápida na estimativa de custos, a razão por esse tipo de modelagem não ter sido considerada no presente estudo é a escassez e dificuldade de acesso a dados de custos de ETAs reais no Brasil.

Marzouk e Elkadi (2016), por sua vez, utilizaram modelagens matemáticas utilizando RNA para a verificação dos fatores que mais influenciam os custos de ETAs.

Marzouk e Elkadi (2016) identificaram quais são os fatores de custo mais usados e mais importantes em modelos paramétricos de estimativa de custo de ETAs. Para isso, os autores aplicaram questionários a especialistas, sendo identificadas 33 variáveis (fatores de custo). Os autores também coletaram dados de 160 projetos de ETAs no Egito. A partir dos dados coletados, os autores analisaram quais eram os fatores que mais contribuíam para os custos das ETAs e, usando RNA, desenvolveram dois modelos de estimativa dos custos de construção de ETAs.

Nesse sentido, Marzouk e Elkadi (2016) realizaram uma análise dos resultados do modelo para validá-los e demonstrar sua efetividade. A performance do modelo foi avaliada usando o erro percentual absoluto médio. Dentre as variáveis identificadas pelos especialistas, 14 delas foram consideradas importantes influenciadoras dos custos (após a avaliação do modelo), como capacidade da ETA, proximidade com a fonte de água, nível do lençol freático, tipo do solo, capacidade de adução de água bruta, elevação das bombas de recalque, proximidade da fonte de energia, capacidade do tanque de água filtrada, proximidade de estradas, e propriedade do terreno.

Gupta e Shrivastava (2010) e Mhaisalkar et al. (1993) utilizaram algoritmos genéticos e programação dinâmica, respectivamente, para o dimensionamento de ETAs visando otimizar os custos dos projetos. Ambos os estudos foram realizados na Índia. Os autores dos dois estudos utilizaram funções objetivo que minimizam os custos de tratamento sujeitas a restrições de dimensionamento e performance. Para a determinação das funções objetivo, foram utilizados modelos de custo para as unidades de tratamento de ETAs de ciclo completo.

As restrições foram adotadas a fim de se obter uma água tratada com qualidade dentro de padrões desejados.

Gupta e Shrivastava (2010) consideraram as seguintes variáveis no modelo: concentração de sólidos suspensos, vazão, massa específica dos flocos, temperatura da água bruta e índice de desempenho do tanque de sedimentação. Mhaisalkar et al. (1993), por sua vez, consideraram as seguintes variáveis no modelo: concentração de sólidos suspensos efluente do tanque de sedimentação e efluente dos filtros, diâmetro e profundidade do tanque de sedimentação, tempo de detenção no tanque de sedimentação, duração da carreira de filtração e perda de carga máxima nos filtros. Em ambos os casos, os autores analisaram que parâmetros poderiam ser modificados a fim de minimizar os custos, sem modificar a qualidade da água tratada desejada.

Ao contrário do presente trabalho, Gupta e Shrivastava (2010) e Mhaisalkar et al. (1993) analisaram ETAs de ciclo completo e Chen e Chang (2002) avaliaram ETEs. Além disso, as modelagens dos custos nesses estudos consideraram somente alguns itens, como custos gerais de instalação das unidades e de operação. Diferentemente do presente trabalho, Gupta e Shrivastava (2010) avaliaram ETAs de grande porte, com vazão de projeto de aproximadamente 600 L/s. Gupta e Shrivastava (2010) também concluíram que a abordagem utilizada em seu estudo é demorada e pesada quando o número de parâmetros de dimensionamento aumenta.

Mhaisalkar et al. (1993), por sua vez, concluíram que o dimensionamento otimizado das unidades de tratamento resulta em economia de aproximadamente 5,5% em custos de investimento inicial e de funcionamento, se comparado ao dimensionamento original (convencional).

Motevallian, Tabesh e Roozbahani (2014) conduziram um estudo teórico sobre a análise de sustentabilidade de sistemas urbanos de água. Para isso, foi utilizado um método multicritério para tomada de decisão denominado *Analytic Hierarchy Process* – AHP na versão fuzzy. Nos métodos AHP problemas complexos são representados através de uma estrutura hierárquica, utilizando comparações entre pares para obter os pesos de cada critério e alternativa. O estudo de caso avaliado pelos autores foi realizado para uma região hipotética no Irã. No entanto, foram utilizados dados e informações sobre os sistemas urbanos de água da região de Teerã para a simulação de um cenário real.

Motevallian, Tabesh e Roozbahani (2014), diferentemente do presente estudo, focaram em sistemas urbanos de água (não necessariamente estações de tratamento de água). No entanto, os autores fizeram uma análise mais abrangente em relação aos critérios de

sustentabilidade, considerando além do aspecto econômico os aspectos sociais, ambientais e técnicos. Nesse sentido, a análise feita por Motevallian, Tabesh e Roozbahani (2014), embora não tenha abordado cada aspecto com muitos detalhes, deve ser considerado para uma análise mais completa de sustentabilidade.

Buscando a sustentabilidade da análise, Motevallian, Tabesh e Roozbahani (2014) utilizaram quatro critérios de sustentabilidade (social, econômico, ambiental e técnico) e 11 indicadores de sustentabilidade (categorizados dentro dos quatro grupos) para a hierarquização de seis possíveis cenários para sistemas urbanos de água.

Chen e Chang (2002) avaliaram os custos de construção de ETEs. Os autores também avaliaram a influência da previsão dos custos na viabilidade econômica de diversos programas de controle da poluição da água. Para a análise, foram coletados dados de estações em operação de Taiwan (48 estações de tratamento de esgoto doméstico e 29 estações de tratamento de esgoto industrial) e foram aplicados os métodos de regressão linear do tipo fuzzy e de regressão por metas do tipo fuzzy.

Heberling et al. (2015) compararam os custos do tratamento de água com os custos da proteção da fonte de água, de forma a determinar quais incentivos a ETA tem para investir em infraestrutura natural ou redução da poluição na bacia hidrográfica ao invés de pagar pelo tratamento no local. Para a comparação foram utilizados dois métodos baseados em séries temporais: modelos de correção de erros e modelos polinomiais de atraso distribuído. Tais modelos visam relacionar os parâmetros de qualidade da água (medidos na água bruta antes do tratamento) com os custos de tratamento.

Os parâmetros de qualidade da água bruta monitoradas por Heberling et al. (2015) para a elaboração da série temporal foram: carbono orgânico total, turbidez, pH, UV254, temperatura da água, elevação do reservatório, volume de água produzida. Já os custos de tratamento (operação da ETA) considerados foram: produtos químicos, bombeamento e tratamento com carvão ativado granular.

Em seguida, Heberling et al. (2015) aplicaram o modelo desenvolvido para uma ETA de ciclo completo com tratamento avançado por carvão ativado em Ohio, cuja vazão é de aproximadamente 830 L/s. Os autores analisaram dados de três anos de dados de registros do operador, orçamentos e contas (faturas) para elaborarem as séries temporais de custo de tratamento.

O estudo de Heberling et al. (2015) pretendeu demonstrar a utilidade do primeiro modelo (de correção de erros) para estimar e testar os efeitos de curto e longo prazo das mudanças na qualidade da água nos custos de tratamento. O estudo também pretendeu

demonstrar o uso do segundo modelo (polinomiais de atraso distribuído) para se obter uma relação entre carga total de fósforo (variável utilizada para medir a carga de poluição da bacia hidrográfica) e uma variável significativa de qualidade de água que tem impacto sobre os custos de tratamento.

Para calcular o incentivo de investir em gerenciamento da bacia hidrográfica, Heberling et al. (2015) estimaram a mudança de custos para uma mudança de 1% na carga total de fósforo. Nesse caso, os autores relacionaram a carga total de fósforo à turbidez da água (parâmetro de tratamento). A estrutura utilizada pelos autores, no entanto, requer a obtenção de muitos dados ao longo do tempo sobre a operação e custos da ETA, o que nem sempre pode estar disponível para análise. Esse cenário é ainda pior em países em desenvolvimento, onde há dificuldade de monitoramento dos parâmetros necessários e com a frequência requerida. Portanto, a utilização de séries temporais torna-se inviável para a maioria dos casos brasileiros.

Chung et al. (2008) desenvolveram uma ferramenta (baseada em Programação Orientada a Objeto - POO) para o planejamento geral de abastecimento de água nos EUA, contando com informações (separadas em módulos) sobre fontes de água bruta, usuários do sistema, instalações de recarga e estações de tratamento de água e esgoto. Dentre os componentes do sistema, foram modelados os seguintes atributos: população, aspectos quantitativos e qualitativos da água, e custos. A ferramenta foi aplicada para um sistema hipotético realístico, ou seja, baseado em sistemas reais.

O modelo desenvolvido por Chung et al. (2008) visou facilitar a tomada de decisão acerca de estratégia de gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água, sendo simulados diversos cenários para o sistema. Além de análises de balanço hídrico e qualidade de água, o modelo também visou determinar os custos de construção e operação dos componentes do sistema para os cenários avaliados. Os resultados mostraram que, mesmo se considerando a economia de escala, o tratamento descentralizado pode ser mais viável economicamente, principalmente quando a população está muito espalhada, devido aos altos custos com transporte e bombeamento.

A POO, utilizada por Chung et al. (2008), é uma ferramenta de modelagem que necessita de conhecimentos prévios de algoritmos e linguagens de programação. Nesse sentido, seu desenvolvimento pode ser mais complexo do que planilhas em Excel. Além disso, por a POO exigir do desenvolvedor do sistema um maior conhecimento de programação, a reprodução e alteração do modelo por engenheiros projetistas pode ser mais difícil, uma vez que este conhecimento não é amplamente acessível aos usuários.

Dessa forma, o presente trabalho optou pelo uso de planilhas em Excel. Além disso, para o desenvolvimento da ferramenta proposta por Chung et al. (2008), foram utilizados diversos dados (como acerca de fontes de água e população atendida), sendo muitos deles de difícil acesso ou inexistentes no Brasil.

### 3.5.2 Custos em Estações de Tratamento de Água

De acordo com Kumar, Groth e Vlacic (2015), como várias tecnologias são utilizadas para o tratamento de água, uma estratégia com o objetivo de comparar seus custos é necessária. Dado os desafios globais em disponibilidade de água sustentável, também existe uma necessidade de se diminuir os custos de instalação e operação de ETAs.

A determinação dos custos de obras de engenharia geralmente é o critério chave para a seleção de tecnologias. No entanto, a análise econômica não é trivial, uma vez que as alternativas avaliadas possuem suas particularidades, o que dificulta sua comparação (AWWA, 1999). Além disso, segundo Hutton (2012), os serviços de saneamento implantados em áreas urbanas e rurais devem ser analisados separadamente devido às suas especificidades.

Os modelos simplificados de avaliação econômica adotam composições de custos, classificando os custos por grupos de atividades para a realização de determinado serviço. Nesse sentido, os custos diretos são os empregados exclusivamente em produtos ou atividades afins como, por exemplo, os custos com produtos químicos empregados no tratamento da água. Os custos indiretos, por sua vez, têm aplicação não exclusiva para produtos ou atividades, independente de sua natureza como, por exemplo, custos com administração central (BRASIL, 2014).

Essa comparação de custos deve incluir tanto os desembolsos com investimento inicial quanto os de operação, manutenção e administração. Isso é necessário, pois a distribuição dos dispêndios ao longo do ciclo de vida de cada tipo de ETA pode ser consideravelmente diferente (uma tecnologia pode ter um alto custo de implantação e um baixo custo de operação e outra o inverso) (AWWA, 2011).

Alguns dos principais fatores que afetam o custo de ETAs em fase de projeto são: i) localização; ii) capacidade da ETA; iii) tipo de tratamento utilizado; iv) critérios de projeto; v) população atendida; vi) consumo de água; vii) período de projeto; viii) vida útil dos componentes da ETA; ix) economia de escala; e x) condições climáticas (MONTGOMERY, 1985; SABOGAL PAZ, 2007).

Outro fator importante a ser considerado na análise econômica é a economia de escala, que se refere à diminuição do custo unitário médio de um bem ou serviço quando seu volume é ampliado. A economia de escala se dá até o volume correspondente ao melhor nível de operação. A partir desse ponto, o aumento do volume acarreta no crescimento do custo médio por unidade de produção, uma vez que o tamanho demasiado provoca um aumento na complexidade e ineficiência (SABOGAL PAZ, 2007).

Segundo Clark e Morand (1981b), a economia de escala é observada em sistemas convencionais de tratamento e que pequenos sistemas (principalmente rurais) possuem um problema relacionado ao custo, uma vez que não se beneficiam da economia de escala. Nesse sentido, ETAs que visam o abastecimento de comunidades de pequeno porte possuem um alto custo unitário médio, podendo ser uma obra desinteressante do ponto de vista econômico.

Além disso, como as concessionárias são responsáveis apenas pelas áreas urbanas no Brasil, não há uma obrigação legal para que essas empresas atuem em áreas rurais (eventualmente, as companhias de saneamento operam por liberalidade). No entanto, a falta de subsídios governamentais pode inviabilizar a implementação de obras de saneamento nessas áreas.

Katko (1992), no entanto, aponta que a escala só se reverte em economia quando a tecnologia e as práticas de implantação, operação e gerenciamento são iguais, ou seja, não pode ser aplicada da mesma maneira em grandes sistemas e em pequenos sistemas de abastecimento de água (no caso do estudo, estas últimas gerenciados pelo consumidor).

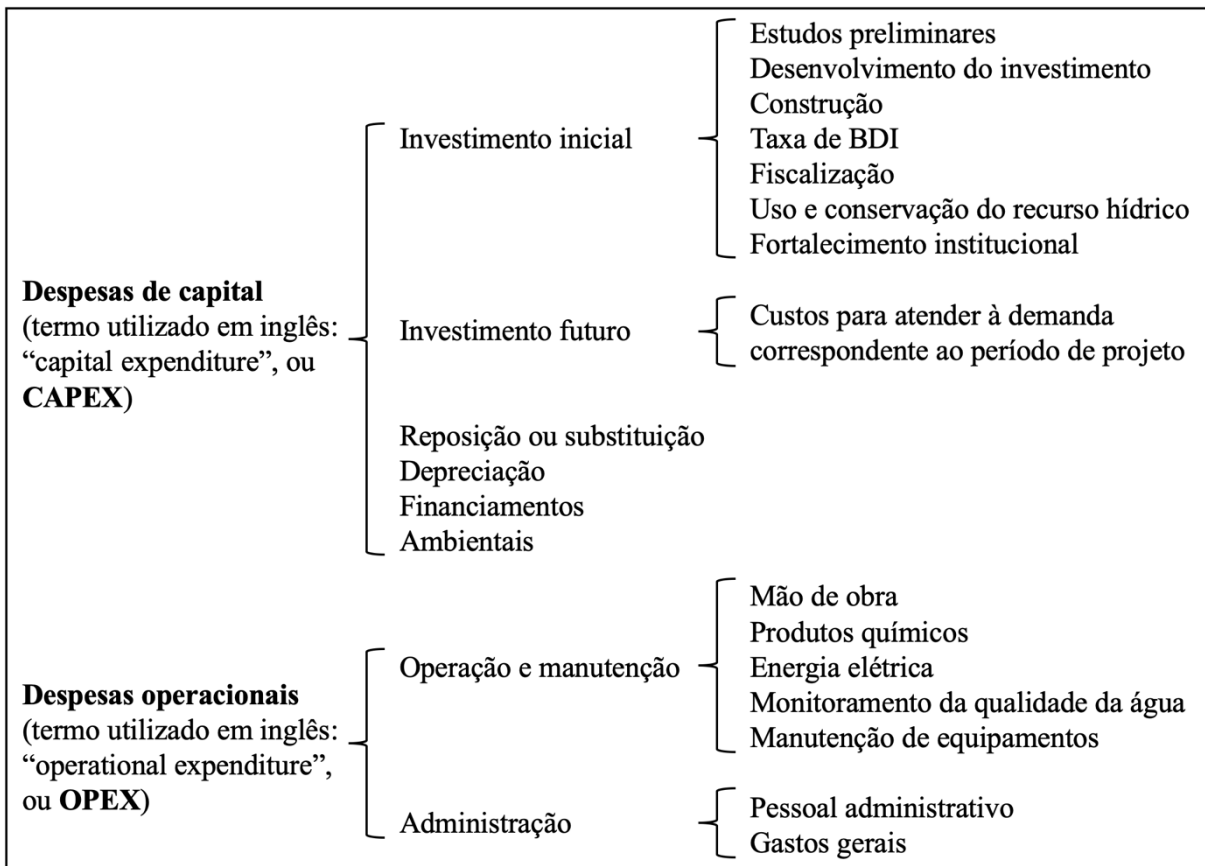
O estudo de Katko (1992) avaliou custos de operação e manutenção de sistemas de tamanhos variados em áreas rurais dispersas na Finlândia. O estudo concluiu que a economia de escala não necessariamente se aplica em sistemas de abastecimento de água rurais, onde contribuições voluntárias e tecnologias diferentes (mais simples e mais baratas) podem ser utilizadas.

Como mostrado no item 3.5, informações de custo são requeridas em diversas fases do ciclo de vida de um empreendimento. Nas fases preliminares, as estimativas de custo são baseadas em dados históricos de ETAs construídas em outros períodos e locais. Os componentes dos dispêndios envolvidos na construção, operação, manutenção e administração de uma ETA estão mostrados na Figura 4.

Os parâmetros a serem avaliados nas estimativas de custo são dados pelas agências reguladoras competentes em cada região, através de notas técnicas e deliberações. Como essas regras e diretrizes variam de região para região, optou-se no presente trabalho utilizar

parâmetros gerais e hipotéticos. No entanto, recomenda-se consultar os requerimentos da agência reguladora local.

Figura 4 – Dispêndios em ETAs



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Segundo a ASCE e a AWWA (2012) (estudos nos EUA), dependendo da localização da estação, alguns fatores podem tornar-se significativos para a avaliação econômica, como: i) distância em relação à fonte de água utilizada pela ETA (os custos de bombeamento podem ser elevados); ii) custos de investigação geotécnica e projeto de fundações; iii) custo com o transporte de materiais (como meio filtrante e concreto usinado); e iv) custo da mão-de-obra.

As ETAs que visam atender pequenas populações, principalmente as rurais, devem considerar além da quantidade (e custo) de mão-de-obra necessária, o nível de qualificação requerida. Nesses casos, para comunidades distantes de centros urbanos, deve-se verificar a disponibilidade de mão-de-obra qualificada (AWWA, 1999).

Segundo Montgomery (1985), os custos unitários dos componentes das ETAs devem ser determinados através de uma base de custo apropriada. Em seguida, os custos desses componentes devem ser expressos em função das variáveis representativas da ETA, como sua



capacidade (vazão de projeto). Essas relações entre valores de custos dos componentes e capacidades (vazões) da ETA podem ser plotadas de forma a obterem-se padrões a serem utilizados em estimativas de custo para estações com capacidades dentro de uma determinada faixa. Os gráficos de vazão versus custo são denominados curvas de custo (HDR ENGINEERING INC, 2001).

Curvas de custo são gráficos que relacionam os custos de uma unidade com a sua capacidade. Para processo de tratamento de água, as curvas de custos são linhas de tendência que se ajustam a diversos pontos amostrais (projetos reais). Dessa forma, podem ser determinados os custos médios de uma determinada unidade de tratamento a partir da sua capacidade. A utilização de curvas de custo nas estimativas de custos de projeto, aliada ao emprego de uma análise de valor presente (utilizando taxas de juros e custos de operação), auxilia o engenheiro projetista na tomada de decisão e seleção de tecnologias (MCGIVNEY; KAWAMURA, 2008).

Segundo Mhaisalkar et al. (1993), até os anos 90 já existia um número significativo de estudos na literatura que abordavam funções de custo para os componentes de ETAs, como Hinomoto (1977) e Clark (1982). No entanto, ainda de acordo com Mhaisalkar et al. (1993), os estudos presentes na literatura até então eram limitados a um range específico de variáveis de dimensionamento. Vale ressaltar que houve mudanças significativas deste período até o atual, muito por conta da atuação de agências reguladoras.

Com base no dimensionamento e custos de implementação e operação das estruturas, é possível se determinar o cronograma de implementação, assim como a projeção dos custos necessários para atender à demanda. Nesse sentido, o uso do fluxo de caixa permite essa projeção dos custos, sendo uma expressão final dos resultados econômicos, e é a principal base para o cálculo dos preços dos serviços (BRASIL, 2014).

Existem diversos métodos para comparação econômica direta de alternativas, como o uso de custos anualizados, que é utilizado principalmente quando se pretende amortizar uma dívida em pagamentos fixos anuais (para o caso em que é feito um financiamento no início do plano) (HDR ENGINEERING INC, 2001).

No entanto, o critério mais disseminado e utilizado, além de o mais recomendado por especialistas em finanças para essa avaliação econômica (decisão de investimento) é o Valor Presente (VP) (FONSECA; BRUNI, 2003; SABOGAL PAZ, 2007). Isso é devido ao VP considerar o valor temporal do dinheiro, uma vez que um recurso disponível em um determinado instante vale mais que num instante futuro a este, porque o recurso pode ser investido e render juros. Além disso, o VPL não é influenciado pela experiência, qualificação

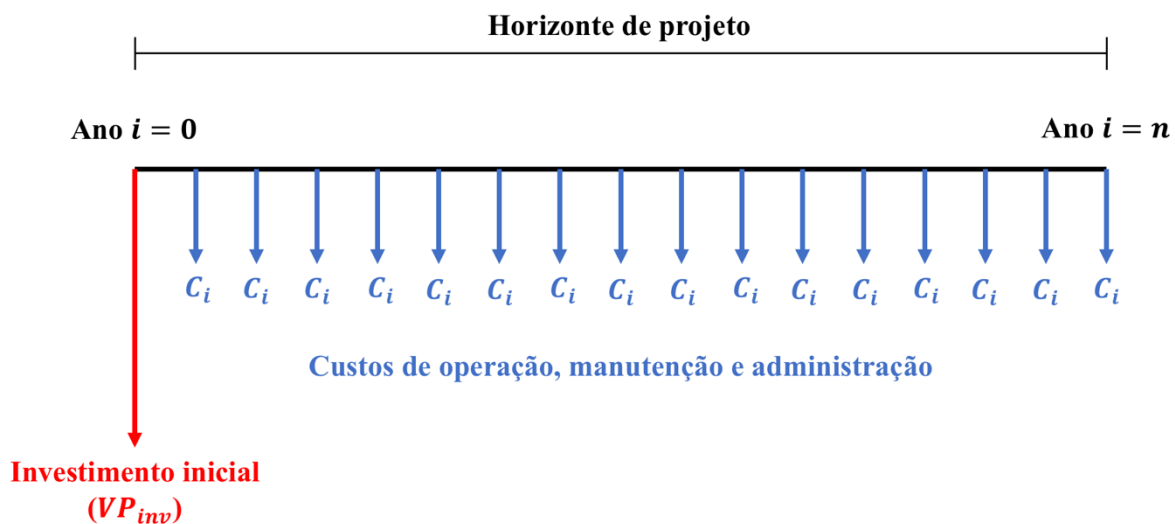
e decisões do gestor, e considera todos os fluxos de caixa futuros de um investimento, permitindo uma comparação mais acurada entre duas alternativas (FONSECA; BRUNI, 2003).

Nesse sentido, o VP determina o dispêndio no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas ou de despesas como, por exemplo, o mostrado na Figura 5 (FONSECA; BRUNI, 2003; SABOGAL PAZ, 2007).

Para o fluxo de caixa mostrado na Figura 5, considerou-se que os custos de operação, manutenção e administração são periódicos e constantes ao longo do tempo, o que não é o que geralmente se observa (os custos tendem a aumentar com o tempo). No entanto, a consideração de custos variáveis é complexa e deve considerar fatores fora do escopo deste projeto. Além disso, faltam dados ou estudos sobre gradientes que expressem o aumento gradual dos custos de funcionamento ao longo do tempo. Nesse sentido, o fluxo de caixa proposto é uma boa aproximação para um modelo de tal complexidade.

Sendo considerando, então, o fluxo de caixa mostrado na Figura 5, o cálculo do VP é feito a partir das Equações 1 e 2. Dessa forma, a alternativa mais favorável economicamente é a que possui o menor valor presente. Além disso, o uso do VP tem a vantagem de neutralizar efeitos temporais, uma vez que os custos de funcionamento são transportados para o instante considerado inicial.

Figura 5 – Representação dos custos dos sistemas ETA+ETR



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

$$VP_T = C_0 + VP_{fun} \quad \text{Equação 1}$$

$$VP_{fun} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

$VP_T$ : valor presente total;

$C_0$  : investimento inicial;

$VP_{fun}$ : valor presente dos dispêndios com funcionamento (operação e administração).

$r$ : taxa de retorno;

$n$ : período avaliado correspondente ao horizonte de projeto;

$C_i$ : custo em  $t = i$ ;

$i$ : tempo em que se faz válido o custo  $C_i$ ;

O horizonte de projeto é igual ao período de projeto quando este valor é igual para todas as alternativas a serem comparadas. Quando o período de projeto das tecnologias for diferente, o horizonte de projeto corresponde ao mínimo múltiplo comum entre esses valores, havendo a necessidade de se considerar os custos com investimento inicial a cada início de período de projeto.

O uso de rotinas de cálculo (em Excel, por exemplo) para o cálculo dos custos possibilita a realização de análises de sensibilidade. Nesse sentido, é possível variarem-se alguns parâmetros de projeto (como taxa de juros, custos unitários, período de projeto, entre outros) e avaliar os efeitos nos custos devidos a essas variações (HDR ENGINEERING INC, 2001).

Além disso, as análises econômicas podem incluir índices de custo, que medem a variação de um custo ao longo do tempo (considerando, por exemplo, a inflação ocorrida em um determinado período) (MCGIVNEY; KAWAMURA, 2008). Dessa forma, os custos podem ser atualizados de acordo com a data em que se está realizando a análise econômica.

Existem diversos estudos na literatura que abrangem a determinação de custos em ETAs. No entanto, cada um deles possui um foco e uma abordagem diferente. Além disso, alguns aspectos são, em geral, mais discutidos que outros. Por exemplo, ainda existem poucos estudos que abordam custos de tecnologias não convencionais de tratamento de água para pequenas comunidades. Segundo Sabogal Paz et al. (2015), no Brasil inexistente literatura que facilite a seleção das tecnologias abordadas no presente trabalho (filtração direta).

Gumerman et al. (1979a, 1979b, 1979c, 1979d) apresentou, em uma série de quatro relatórios publicados pela USEPA, curvas generalizadas de custo de construção e operação de ETAs nos EUA. No primeiro volume é apresentado um resumo do estudo. No segundo volume são apresentadas curvas de custo para ETAs com capacidade entre 1 e 200 mgd (ou seja, entre 44 e 8763 L/s). No terceiro volume são apresentadas curvas de custo para ETAs com capacidade entre 2500 gpd e 1 mgd (ou seja, entre 0,1 e 44 L/s). No quarto e último volume são apresentadas diretrizes para a atualização das curvas de custo, utilizando, para isso, uma ferramenta computacional.

Essas curvas de custo relacionam os custos de cada unidade de tratamento com sua respectiva capacidade. Também são apresentadas curvas que contemplam os custos legais, fiscais e administrativos. As curvas de custo, no entanto, não são apresentadas as equações que as regem (equação de uma linha de tendência, por exemplo), cabendo ao usuário determinar visualmente a relação entre a capacidade e o custo de uma unidade. Para a verificação das curvas de custo propostas, os autores as testaram em 17 diferentes exemplos de ETAs, contemplando diversas vazões (entre 70 gpm e 130 mgd, ou seja, entre 0,06 e 5696 L/s) e diversas tecnologias de tratamento (estações compactas pré-fabricadas, de ciclo completo, de filtração direta, por osmose reversa, de abrandamento, entre outras).

Clark (1982) apresentou equações de custos para serem usadas na estimativa de custo dos processos unitários envolvidos no tratamento convencional de água. O custo de construção de cada processo unitário foi apresentado em função do parâmetro de dimensionamento mais importante para cada um dos processos (não necessariamente a vazão de projeto). Os dados de custo foram retirados de dados disponibilizados por fornecedores, construções de ETAs reais e publicações.

Ao todo, Clark (1982) avaliou os custos de oito componentes de construção: escavação; equipamentos; concreto; aço; mão-de-obra; tubulações e válvulas; instalação elétrica e instrumentação; e abrigo (alojamento). As curvas de custo desenvolvidas não consideraram a taxa de BDI, que foi adicionada somente ao final da análise (após a soma de todos os custos). Em seguida, foram determinadas as equações referentes às curvas de custo.

Diferentemente de Clark (1982), o presente trabalho avaliou tecnologias de tratamento de água não convencional, determinou os modelos de quantitativos a partir da plotagem dos gráficos de valor do quantitativo versus vazão de projeto (e não custo do quantitativo versus parâmetro de dimensionamento) e considerou mais componentes de construção.

Clark e Morand (1981a) avaliaram os custos de três diferentes alternativas de tratamento de água em pequenos sistemas: ciclo completo, filtração direta e ETAs compactas

pré-fabricadas (contendo as etapas de clarificação e filtração). O tratamento convencional resultou em altos custos unitários para uma baixa capacidade da ETA, se comparado às demais tecnologias de tratamento.

Assim como Clark (1982), Clark e Morand (1981a) apresentaram as equações de custo de cada processo unitário como função de um parâmetro de dimensionamento. No entanto, diferentemente de Clark (1982), Clark e Morand (1981a) consideraram não somente os custos de construção, mas também os de operação dos sistemas. Os custos de operação foram mostrados de forma anualizada (diferentemente do presente estudo, onde os custos foram transformados para valores presentes)

As equações propostas por Clark e Morand (1981a) e Clark (1982) foram do tipo potência:  $y=a.x^b$ , onde “y” é o custo do processo unitário, “x” é o parâmetro de dimensionamento e “a” e “b” são variáveis. Já no presente estudo considerou-se, em geral, equações polinomiais quadráticas:  $y=a.x^2+b.x+c$ , onde “y” é o valor do quantitativo, “x” é a vazão de projeto e “a”, “b” e “c” são variáveis.

Logsdon, Clark e Tate (1980) apresentaram informações sobre os custos de construção e operação de ETAs por filtração direta, sugerindo razões para as diferenças de custos entre diferentes tecnologias e discutindo a eficiência de tratamento em algumas estações. O estudo também apresenta equações de custo para ETAs e equações de lucro da construtora, projeto de engenharia, custos legais, fiscais e administrativos e juros durante a construção. Estas últimas equações, no entanto, por serem diretamente relacionadas ao custo final da obra e não a um processo unitário específico, devem ser adicionadas somente após somados todos os custos dos processos unitários.

As equações apresentadas por Logsdon, Clark e Tate (1980), assim como em Clark e Morand (1981a) e Clark (1982) foram do tipo potência:  $y=a.x^b$ . Segundo os autores, as equações de custo desenvolvidas podem ser usadas para se ter uma ideia dos custos para situações hipotéticas através da combinação de processo unitários. Para a avaliação do modelo desenvolvido, os autores aplicaram as equações para ETAs de filtração direta (7 reais e 1 hipotética). Os dados de custo utilizados, por sua vez, foram extraídos de ETAs reais.

De acordo com Logsdon, Clark e Tate (1980), as estimativas de custo teóricos e dados reais de ETAs por filtração direta diferem nas curvas de custo. Dentre os fatores prováveis, os autores destacaram tipos de instalações inclusas, critérios de dimensionamento, preferências do construtor, entre outros. Dessa forma, os autores indicaram que as estimativas de custo teóricas podem ser úteis para estimar os custos de estações a serem construídas no futuro, desde que reconhecendo suas limitações.

Qasim et al. (1992) utilizou as curvas de custo apresentados por Gumerman et al. (1979a, 1979b, 1979c, 1979d) para desenvolver equações polinomiais que as representam. Assim como em Clark (1982), foram avaliados os custos de oito componentes: escavação; equipamentos; concreto; aço; mão-de-obra; tubulações e válvulas; instalação elétrica e instrumentação; e abrigo (alojamento). As equações propostas tiveram amplas aplicações, embora tivessem que ser atualizadas com o tempo.

De acordo com Qasim et al. (1992), vários fatores afetam os custos das ETAs, como a capacidade da estação, critérios de dimensionamento, processos de tratamento, condições locais (como custo do terreno, clima e custos com autorizações, processo licitatório e condições econômicas da região). Dessa forma, segundo os autores, uma previsão acurada dos custos não pode ser generalizada, uma vez que dependem do local onde a obra está sendo construída.

Sethi e Clark (1998) apresentaram modelos de custo para processos tipicamente utilizados em ETAs de ciclo completo e ETAs compactas pré-fabricadas. Nesse sentido, as curvas de custo são apresentadas como uma função de parâmetros de dimensionamento específicos. As curvas de custo foram também divididas em quatro categorias principais, sendo elas construção, materiais para manutenção, consumo de energia elétrica e mão-de-obra. A construção dessas curvas de custo também considerou sua atualização ao longo do tempo a partir de índices de correção.

Clark et al. (2002) apresentaram estimativas de custo para construção e reabilitação (reparos e reposição) de ETAs, uma vez que, principalmente em países desenvolvidas, diversas ETAs estão alcançando seu período de projeto, tornando necessária a reposição de infraestruturas velhas e obsoletas. Os autores indicam que as estimativas de custos podem ser abordadas de diferentes maneiras e com diversos níveis de detalhe (assim como proposto na Tabela 1 do presente trabalho).

No estudo de Clark et al. (2002) foram apresentadas estimativas de custo preliminares (antes da fase de dimensionamento). As equações de custo, por sua vez, foram determinadas a partir da linha de tendência que melhor se ajustava aos dados existentes (ou seja, a equação com valor de  $R^2$  máximo). Diferentemente dos estudos de Clark e Morand (1981a) e Clark (1982), Clark et al. (2002) apresentaram equações de custo do tipo  $y=a+b(x^c)+d(eu)+f(xu)$ , onde “y” é o custo de um componente específico, “x” é o parâmetro de dimensionamento, “u” é a variável do indicador e “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f” são variáveis estimadas através da técnica de regressão.

Sharma (2010) desenvolveu um estudo mais completo dos custos em ETAs e gerenciamento dos resíduos. No entanto, o foco do estudo de Sharma (2010) e algumas abordagens diferem do presente estudo, como mostrado a seguir.

Sharma 2010 desenvolveu curvas de custo para unidades de ETAs de ciclo completo e gerenciamento dos resíduos, e suas respectivas equações, a partir de dados históricos de construções anteriores. Para isso, foram plotados gráficos de custo da unidade por uma variável de interesse (capacidade da estação, área superficial, entre outros) e as equações de custos foram tomadas como a equação da linha de tendência que apresentou o menor valor de  $R^2$ .

Usando as equações de custo, Sharma (2010) estimou os custos de investimento inicial e funcionamento para diferentes processos de tratamento de água usando, para isso, cálculos de valor presente. Sharma (2010) também adaptou os custos históricos para 2009 usando índices de correção e desenvolveu uma planilha em Excel para a avaliação da tecnologia mais viável economicamente.

Segundo Sharma (2010), as equações de custo, além de serem mais acuradas que as curvas de custo, também tem a vantagem de poderem ser integradas a programas de computador. O uso do Microsoft Excel é vantajoso por este ser um programa de planilhas popular e vastamente utilizado. Nesse sentido, programas de computador integrados a equações de custo são ferramentas úteis para os engenheiros projetistas selecionarem a tecnologia mais viável economicamente (SHARMA, 2010).

Diferentemente de Sharma (2010), neste trabalho foram desenvolvidos modelos de quantitativos (equações que relacionam o valor do quantitativo e a vazão de projeto da ETA) para projetos hipotéticos de ETAs com tratamento do resíduo, estimando não somente os custos gerais de cada unidade, mas explicitando cada material utilizado para sua construção ou cada processo para sua operação. Além disso, o presente trabalho focou em tecnologias para o tratamento de água (filtração direta, ou seja, não convencional) e gerenciamento dos resíduos em pequenas comunidades brasileiras.

Sharma, Najafi e Qasim (2013) desenvolveram modelos de custo de construção e operação para diferentes processos unitários relacionados a ETAs. Tais modelos foram desenvolvidos a partir de dados históricos e visam a estimativa preliminar dos custos e seleção de tecnologias. Nesse sentido, os autores utilizaram os dados de custo desenvolvidos por Gumerman et al. (1979a, 1979b, 1979c, 1979d) e os atualizaram para a data em que se realizou a análise econômica, ou seja, 2011. Para isso, foram usados índices de correção de preços. Os modelos foram determinados, então, pela linha de tendência que melhor se ajustou

aos dados, ou seja, maximizou o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo ela linear, exponencial, polinomial ou de potência.

A partir dos custos de construção e operação, Sharma, Najafi e Qasim (2013) também determinam o valor presente dos projetos de ETAs. Os modelos obtidos foram, então, comparados com os dados reais de orçamentos de construção (fornecidos por empresas de consultoria) de uma ETA nova e de dois projetos de expansão de ETAs existentes.

Os resultados do estudo de Sharma, Najafi e Qasim (2013) mostraram que nove entre dez das estimativas realizadas ficaram dentro de um range de mais ou menos 33% em relação aos orçamentos reais. No entanto, os autores recomendam validações complementares do modelo. Sharma, Najafi e Qasim (2013) também avaliaram a aplicabilidade de um único índice de correção de preços em relação ao uso de uma combinação de índices. De acordo com os autores, o uso de um único índice é mais simples.

O uso de curvas de custo em relação às equações de custo tem a desvantagem de necessitar que o usuário determine visualmente os valores desejados. As equações de custo também são mais facilmente aplicadas a programas de computador, facilitando e agilizando sua utilização. As equações de custo, no entanto, possuem desvantagens em relação aos modelos de quantitativos, como os utilizados no presente trabalho.

As equações de custo, por utilizarem os custos de um determinado produto em um determinado tempo, precisam ser completamente atualizadas com o tempo (a equação em si muda para considerar os preços atualizados). Nesse caso, podem também ser usados índices de correção. No entanto, os índices de correção nem sempre são dados disponíveis facilmente ao usuário e são específicos de uma determinada localidade (os Estados Unidos, por exemplo, fornecem índices para construções em seu território, mas não especificamente obras de ETAs).

Os modelos de quantitativos, no entanto, ao utilizar somente o valor de um determinado quantitativo (de construção ou operação), são constantes ao longo do tempo. Dessa forma, a equação (modelo) em si não precisa ser atualizado. Os únicos valores a serem atualizados são os preços unitários dos quantitativos desejados (que são multiplicados pelos modelos para resultar no custo do quantitativo). Nesse sentido, a atualização dos preços unitários dos quantitativos é muito mais fácil do que a atualização das próprias equações (ou o uso de índices de correção), podendo ser realizada pelos próprios usuários. Além disso, os usuários podem atualizar os preços unitários de acordo com o local desejado, usando bancos de dados nacionais e estaduais, ou até mesmo orçamentos a empresas especializadas.



Kumar, Groth e Vlacic (2015) apresentaram um índice de preço da água e equações que definem a contribuição dos custos de investimento inicial e operação. O índice de preço foi desenvolvido como uma nova métrica para avaliar a performance geral de ETAs e ETEs. Para demonstrar a aplicabilidade do estudo, os autores aplicaram esse índice em três estações em operação (reais) e uma teórica, focando no processo de filtração por membranas à baixa pressão.

Os custos de investimento avaliados por Kumar, Groth e Vlacic (2015) foram localização e custos devidos à tecnologia escolhida. Em relação aos custos de operação, foram analisados os seguintes itens: consumo de energia elétrica, produtos químicos, manutenção, mão-de-obra, disposição do resíduo e gerenciamento. O índice de preço da água é, então, dado pelos custos anualizados da estação divididos pela sua performance, mais uma margem que considera os custos indiretos. Os custos anualizados, por sua vez, são a soma do custo de depreciação com o custo de operação. A depreciação é dada pelo custo de investimento dividido pelo período de projeto, sendo aplicada tanto para a estação como um todo quanto para seus componentes. A performance é determinada multiplicando a capacidade anual instalada pela sua eficiência.

De acordo com Kumar, Groth e Vlacic (2015), a metodologia utilizada e os resultados da pesquisa possuem as seguintes vantagens: 1) ajudam na avaliação de performance de ETAs e ETEs, 2) auxiliam no planejamento, elucidando os custos da produção de água ao longo do ciclo de vida da estação, ajudando comunidades e municípios, 3) auxiliam na condução de uma melhor avaliação do investimento, permitindo que comunidades, municípios e agências de ajuda possam se comprometer com projetos de abastecimento de água estando conscientes dos custos ao longo do ciclo de vida, 4) ajudam a manter os custos (de ETAs e ETEs existentes e novas) conhecidos e controlados ao usar uma abordagem proativa ao monitoramento e gerenciamento das estações.

Kumar, Groth e Vlacic (2016) desenvolveram uma ferramenta analítica de estimativa dos custos, ao longo do ciclo de vida, de serviços e projetos hídricos para comunidades de pequeno porte. Segundo os autores, a ferramenta proposta visa ajudar governos, agências não governamentais e patrocinadores de projetos na tomada de decisão em relação a sistemas de abastecimento de água, ao testar alternativas, modelar possíveis eventos durante o ciclo de vida dos empreendimentos e avaliar seus respectivos impactos econômicos. A ferramenta também visa ajudar pesquisadores, desenvolvedores de tecnologia e agências de fomento, ao comparar e acelerar o desenvolvimento de novas tecnologias que podem diminuir os custos de produção da água, tendo como consequência imediata a melhoria da saúde pública.

Para o desenvolvimento do modelo, Kumar, Groth e Vlacic (2016) consideraram custos de investimento (terreno, construção, equipamento e gerenciamento do projeto) e de operação (manutenção, energia, mão-de-obra, produtos químicos, gerenciamento das instalações). Em seguida, o modelo foi validado simulando-se cinco cenários hipotéticos, que abrangem eventos experimentados na vida real por sistemas de abastecimento de água (como deterioração por uso ou destruição por calamidades), resumindo desafios que os engenheiros projetistas, construtores e operadores devem estar cientes. Os resultados mostraram que a ferramenta pode ser utilizada no processo de tomada de decisão através de testes de alternativa.

Kumar, Groth e Vlacic (2016) também disponibilizaram online a versão web da ferramenta. Para o desenvolvimento do programa de computador, os autores optaram pela utilização de planilhas do Excel, devido à sua facilidade em ser aplicada pelo público alvo. Em relação à interface, o programa apresenta abas para inserção dos dados de entrada e apresentação dos dados de saída. As abas de cálculo, no entanto, não são mostradas ao usuário (ficam ocultas).

Dentre os dados de entrada necessários, destacam-se os custos de investimento e de operação. Nesse sentido, o programa desenvolvido por Kumar, Groth e Vlacic (2016) não apresenta uma metodologia pronta para determinação dos custos, cabendo ao usuário preencher os custos de cada unidade, baseado em alguma outra metodologia ou por experiência. Ao contrário de Kumar, Groth e Vlacic (2016), o presente trabalho foca exatamente na metodologia para determinação dos custos.

Dearmont, McCarl e Tolman (1998) avaliaram os custos de produtos químicos em relação a alguns parâmetros de qualidade da água bruta a ser tratada. Usou como referência 12 ETAs do Texas analisadas por 3 anos. O estudo concluiu que quando há contaminação da água bruta (menor qualidade da água), os custos com produtos químicos, e conseqüentemente os custos de operação das ETAs aumentam. Os custos unitários dos produtos químicos foram determinados a partir de representantes de venda de companhias químicas.

Bertone et al. (2016) desenvolveram uma modelagem de requerimentos de dosagem de coagulante e bombeamento (e seus respectivos custos), visando minimizar os custos de operação de uma ETA em Queensland, Austrália. A água bruta tratada na ETA de estudo era proveniente da captação em duas fontes distintas. Para a análise, foram utilizados dados históricos da estação e comparados diferentes cenários.

Bertone et al. (2016), então, desenvolveram uma ferramenta de suporte à decisão para a otimização dos custos de operação, utilizando dados praticamente em tempo real dos

sensores presentes nas captações de água bruta. Os custos previstos pelo modelo para produtos químicos e energia elétrica foram comparados com os custos reais. Os autores também apontaram que uma boa parte dos estudos anteriores sobre otimização de custos era focado em ETEs ao invés de ETAs.

Osipi, Secchi e Borges (2018) analisaram os custos dos processos de dessalinização da água e as variáveis envolvidas nesses processos. Para isso, foi realizado um estudo de caso da produção de água dessalinizada em uma plataforma de petróleo na costa brasileira. O estudo de caso visou a seleção das tecnologias mais adequadas e a avaliação das limitações das novas tecnologias através de uma análise retro-tecno-econômica.

Para a avaliação econômica Osipi, Secchi e Borges (2018) consideraram os custos de investimento inicial e de operação e calculado o valor presente líquido de cada alternativa analisada. Fatores de contingência e custos relacionados a fretes e seguros não foram considerados. Ao todo foram analisados seis parâmetros: características da membrana, custo da membrana, custo da energia elétrica, eficiência do bombeamento e taxas de juros.

#### 3.5.2.1 Considerações sobre o tratamento e disposição dos resíduos gerados na ETA

Os custos referentes ao tratamento dos resíduos são abordados por ASCE e AWWA (1996), onde são apresentadas curvas de custo para diversos tipos de tratamento do resíduo e suas respectivas equações (para investimento inicial e operação e manutenção, sendo todos esses valores anualizados). Os gráficos são do tipo vazão versus custo. Além disso, a bibliografia também apresenta os critérios de projeto adotados (como componentes dos custos) e as curvas relativas à disposição final dos resíduos.

O custo relacionado à disposição dos resíduos depende principalmente do tipo e da qualidade do resíduo e distância entre a estação e o local de disposição. As eventuais taxas cobradas para disposição no aterro ou descarga na ETE também devem ser consideradas. Além disso, deve-se atentar que algumas opções de disposição final não são ambientalmente ou socialmente aceitáveis (AWWA, 2011; CRITTENDEN et al., 2012).

#### 3.5.2.2 Uso de fatores para contingência

Segundo a ASCE e a AWWA (2012), a contingência é um fator de custo que visa contabilizar elementos não identificados ou não previstos no escopo do projeto, incluindo a

inflação (que é o aumento geral dos custos de bens e serviços ao longo do tempo), mas que têm influência sob o custo final.

Dessa forma, conforme a quantidade de elementos não identificados é reduzida (ao longo do ciclo de vida do empreendimento), o fator utilizado para a contingência também deve ser reduzido. O valor sugerido para a contingência em cada fase do projeto pode ser consultado em ASCE e AWWA (2012).

### 3.5.2.3 Consideração de fatores não relacionados à economia

As considerações que não dizem respeito à economia (ambiental e social, por exemplo), geralmente são avaliadas em audiências públicas ou outros meios que se mostrem mais apropriados (AWWA, 2011).

Segundo a HDR Engineering Inc. (2001), fatores não relacionados à avaliação econômica podem incluir: confiabilidade, impactos ou benefícios ambientais, aceitação pública, resiliência, tarifas a serem cobradas, impactos na qualidade de águas subterrâneas, capacidade de atender a mudanças na legislação, compatibilidade com as fases de construção, complexidade institucional e de financiamento e facilidade de implementação. Ainda de acordo com a HDR Engineering Inc. (2001), um sistema de classificação pode ser adotado para avaliar as alternativas e ranqueá-las.

### 3.5.2.4 Cobrança de tarifa em serviços de saneamento

Segundo a medida provisória nº 868, de 27 de dezembro de 2018 (BRASIL, 2018), atualizando o artigo 29 da Lei nº. 11.445/07, “os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços” essa medida também estabelece que, quando necessário, deverão ser adotadas outras formas adicionais além da cobrança dos serviços, como subsídios ou subvenções (BRASIL, 2018). Portanto, a cobrança dos usuários dos serviços de saneamento básico não é (ou pelo menos não deveria ser) o único meio de se atingir a sustentabilidade econômico-financeira (BRASIL, 2014). A Lei nº. 11.445/07 (BRASIL, 2007) está atualmente em processo de modernização pelo legislativo, por meio de projetos de lei.

Nesse sentido, as agências reguladoras são responsáveis pela determinação das tarifas praticadas pelas concessionárias de saneamento (AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARSESP, 2019). A

regulação econômica dos serviços em que existe cobrança direta dos usuários tem o objetivo de: 1) garantir que o serviço prestado tenha eficiência; 2) que a cobrança seja justa; 3) que o serviço seja de qualidade; 4) que esteja disponível aos usuários; e 5) que tenha o menor custo possível (BRASIL, 2014).

No entanto, ainda existe uma lacuna em relação à abrangência dos subsídios governamentais, principalmente para áreas rurais e populações vulneráveis, o que pode inviabilizar a instalação de serviços de saneamento nesses locais. Assim, os projetos de lei que estão sendo desenvolvidos atualmente contemplam melhorias nos mecanismos de política social para o saneamento.

### 3.6 Tratamento de água por filtração direta

A aplicação de múltiplas barreiras no tratamento de água visa eliminar os riscos sanitários advindos dos contaminantes físicos, químicos e microbiológicos (SMET; VAN WIJK, 2002).

As tecnologias de filtração direta foram desenvolvidas com o intuito de tratar águas com baixos valores de turbidez (como mostrado na Tabela 3) e, ao contrário do ciclo completo, não utilizam as etapas de decantação/flotação e, dependendo da tecnologia, podem não utilizar a floculação. Dessa forma, as impurezas são totalmente retidas no filtro.

Na filtração direta, é adicionado coagulante à água bruta e essa água coagulada é encaminhada diretamente aos filtros, onde o floco precipitado contendo os contaminantes é removido. A filtração direta é, no entanto, limitada ao armazenamento disponível dentro do filtro para acomodar os sólidos retidos (OMS; UNICEF, 2017). Após a filtração, também deve ser feita a desinfecção da água filtrada (além de correção do pH e adição de flúor).

As partículas coloidais presentes na água bruta são as que geralmente conferem cor e turbidez. Cada partícula coloidal possui duas camadas de íons ao seu redor, o que confere à sua superfície cargas principalmente negativas. A repulsão eletrostática existente entre as partículas faz com que elas se apresentem em suspensão na água bruta (SMET; VAN WIJK, 2002).

Nesse sentido, a adição de coagulante (como sulfato de alumínio ou cloreto férrico) faz com que os sais metálicos sejam hidrolisados e produzindo íons geralmente carregados positivamente. Esses íons são adsorvidos na superfície dos coloides, desestabilizando estas partículas ao neutralizar suas forças eletrostáticas de repulsão. Dessa forma, os coloides se

aglomeram e formam partículas maiores (flocos) que podem ser retidos nos filtros, no caso de utilização da filtração direta (SMET; VAN WIJK, 2002).

Esse é o mecanismo da coagulação por adsorção e neutralização de cargas, método de coagulação utilizado na filtração direta. Nesse caso, a geração de flocos pequenos, melhora a eficiência de remoção nos filtros (CRITTENDEN et al., 2012; REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2013).

Já no tratamento convencional (ETAs de ciclo completo), normalmente é utilizada a coagulação por varredura, cuja dosagem de coagulante é maior que no método por adsorção e neutralização de cargas. O método por varredura produz flocos maiores e que sedimentam com mais facilidade, o que é vantajoso para estações de tratamento que possuem a etapa de sedimentação. Para ambos os tipos de coagulação, a agitação rápida é necessária nessa etapa para que os produtos químicos sejam dispersos de maneira homogênea na água bruta (SMET; VAN WIJK, 2002).

Nesse sentido, o uso da filtração direta implica em menores dosagens de coagulante e, conseqüentemente, menor produção de lodo (WESTERHOFF; HESS; BARNES, 1980).

Segundo Reali, Sabogal Paz e Daniel (2013), “a filtração consiste na remoção das impurezas contidas na água quando o fluido escoar por um meio poroso”. No caso dos filtros rápidos, a remoção das partículas se dá por ação de profundidade, ou seja, ocorre ao longo de praticamente toda a profundidade do leito.

De acordo com a OMS e o Fundo das Nações Unidas para a Infância - UNICEF (2017), a filtração pode ser considerada uma barreira consistente e efetiva para microorganismos patogênicos se dimensionada e operada de forma apropriada. A OMS e a UNICEF (2017) também destacam que a dosagem adequada de desinfetante é essencial para que a maioria dos sistemas de tratamento atinja o nível necessário de redução do risco microbiológico.

As tecnologias de filtração direta podem ter três configurações distintas: filtração direta ascendente (FDA), filtração direta descendente (FDD) e dupla filtração (DF). A qualidade da água bruta para cada uma delas encontra-se na Tabela 3. Algumas vantagens e desvantagens das tecnologias de filtração direta em relação às de ciclo completo estão mostradas na Tabela 4.

Tabela 3 – Qualidade da água bruta para as tecnologias de filtração direta

Variável	Frequência de ocorrência da variável na água bruta para diferentes tipos de ETAs (indicador de eficiência das ETAs)		
	FDD	FDA	DF
Turbidez (uT)	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 200
	95% ≤ 30	95% ≤ 30	95% ≤ 150
	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 100
Cor verdadeira (uH)	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 100
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 75
	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 50
Ferro total (mg/L)	100% ≤ 10	100% ≤ 10	100% ≤ 10
	95% ≤ 5	95% ≤ 5	95% ≤ 5
	90% ≤ 2	90% ≤ 2	90% ≤ 2
Manganês total (mg/L)	100% ≤ 2	100% ≤ 2	100% ≤ 2
	95% ≤ 1	95% ≤ 1	95% ≤ 1
	90% ≤ 0,5	90% ≤ 0,5	90% ≤ 0,5
Coliformes totais (NMP/100mL)	100% ≤ 2500	100% ≤ 2500	100% ≤ 5000
	95% ≤ 1500	95% ≤ 1500	95% ≤ 2500
	90% ≤ 1000	90% ≤ 1000	90% ≤ 1500
Escherichia coli (NMP/100mL)	100% ≤ 1000	100% ≤ 1000	100% ≤ 1500
	95% ≤ 750	95% ≤ 750	95% ≤ 1000
	90% ≤ 500	90% ≤ 500	90% ≤ 500
Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	FRD: 200 a 300	FAAG: 120 a 240	FAP: 80 a 180 FRD: 120 a 240

DF: dupla filtração; FAAG: filtro rápido ascendente em areia grossa, a taxa constante; FAP: filtro rápido ascendente em pedregulho, a taxa constante; FDA: filtração direta ascendente; FDD: filtração direta descendente; FRD: filtro rápido descendente em areia, a taxa constante.

Fonte: adaptado de Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens das tecnologias de filtração direta em relação ao ciclo completo

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Menor área em planta, devido à menor quantidade de unidades envolvidas;</li> <li>b) Menor volume de resíduos produzidos e, conseqüentemente, diminuição dos custos de implantação de unidades de tratamento;</li> <li>c) Redução das dosagens de coagulante; e</li> <li>d) Menores custos de implantação, operação e manutenção devidos ao menor número de unidades envolvidas e pela redução do consumo de produtos químicos, energia e mão-de-obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Queda da eficiência da filtração quando a água bruta apresenta valores elevados de alguns parâmetros de qualidade da água;</li> <li>b) Necessidade de monitoramento contínuo, uma vez que o tempo de detenção da água na estação é curto; e</li> <li>c) Dependência de um único processo para remoção de todo o material particulado, o que é inconsistente com o conceito de múltiplas barreiras.</li> </ul>

Fonte: adaptado de AWWA (2011), Di Bernardo et al. (2003), HDR Engineering Inc (2001), e Reali, Sabogal Paz e Daniel (2013).

Segundo Smet e Van Wijk (2002), para água com baixa turbidez (até 25 NTU com picos máximos de 100 NTU), a filtração direta ascendente e a filtração direta descendente são

capazes de produzir água clarificada. Já para maiores valores de turbidez (até 100 NTU com picos máximos de 200 NTU), a dupla filtração é recomendada para a produção de um efluente de melhor qualidade. A dupla filtração consiste da filtração ascendente seguida da filtração descendente.

A remoção das impurezas nos filtros rápidos se dá principalmente pelos seguintes mecanismos: esforço mecânico (tensão), sedimentação, adsorção física (processo mais importante) e processos químicos e biológicos (SMET; VAN WIJK, 2002).

Com o passar do tempo, a capacidade máxima do filtro de reter impurezas é atingida, ou seja, as subcamadas do meio filtrante ficam saturadas (colmatam), fazendo-se necessária a limpeza do filtro. Nesse sentido, entende-se por carreira de filtração o período de operação do filtro entre lavagens consecutivas.

A limpeza (lavagem) dos filtros geralmente se dá revertendo-se o sentido do fluxo de água e introduzindo-se água limpa (tratada) no sentido ascendente e a altas velocidades, com o intuito de se obter a fluidificação parcial do meio poroso e a remoção das impurezas nele contidas (DI BERNARDO et al., 2003). Esse processo remove as impurezas do leito filtrante até seu estado inicial. A lavagem dos filtros produz uma grande quantidade de resíduo em pouco tempo. Essa quantidade depende do tipo de lavagem utilizada e de sua frequência. O resíduo produzido na lavagem dos filtros possui um teor de água muito grande (em geral de 97 a 99,9%) (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION – AWWARF; KEURINGSINSTITUUT VOOR WATERLEIDINGARTIKELEN – KIWA, 1990).

Segundo AWWARF e KIWA (1990), o uso da filtração direta para tratar águas brutas com qualidade relativamente boa pode resultar em economias significativas nos custos com produtos químicos e gerenciamento do lodo.

Para o dimensionamento dos filtros rápidos, devem ser selecionados os seguintes parâmetros: 1) tamanho dos grãos do meio filtrante; 2) espessura do meio filtrante; 3) profundidade do sobrenadante; e 4) taxa de filtração (SMET; VAN WIJK, 2002).

Por fim, a desinfecção tem como objetivo a destruição (ou pelo menos a inativação) de micro-organismos prejudiciais à saúde presentes na água bruta. A desinfecção centralizada, ou seja, realizada na própria ETA (última etapa do tratamento) é mais eficiente. No entanto, para comunidades esparsas, a desinfecção descentralizada é uma opção a ser considerada (SMET; VAN WIJK, 2002).

Embora a filtração direta possa ser atrativa para pequenas comunidades, sendo indicada para o tratamento de pequenas vazões, cuidados devem ser tomados no que tange à



sua operação, que necessita de mão-de-obra especializada não facilmente encontrada em pequenas populações. Além disso, segundo a AWWA (2011), cuidados adicionais devem ser tomados em relação ao risco da presença de patógenos na água bruta, principalmente os resistentes à desinfecção por cloro (por exemplo: protozoários), uma vez que se omite a etapa de clarificação.

Os primeiros estudos sobre filtração direta datam do início dos anos 70, sendo o de Sweeney e Prendivi (1974) o primeiro encontrado pela autora do presente trabalho. Em 1980 foram publicados cinco estudos interessantes sobre a filtração direta, sendo a maioria desses estudos focado na região dos grandes lagos (EUA): Logsdon, Clark e Tate (1980), Westerhoff, Hess e Barnes (1980), Peterson, Schleppenbach e Zaudtke (1980), Foley (1980) e Tate e Trussell (1980). O estudo de Logsdon, Clark e Tate (1980) foi apresentado no item 3.5.2 por abordar os custos da filtração direta. Os demais estudos, por sua vez, serão apresentados a seguir.

Westerhoff, Hess e Barnes (1980) estudaram a aplicabilidade e redução dos custos da filtração direta e seu uso, ao invés do ciclo completo, para tratar águas brutas com baixa turbidez. O estudo foi realizado para o estado de Nova York, nos EUA. Os autores também mostraram algumas vantagens e desvantagens econômicas de utilização da filtração direta ao invés do tratamento convencional, como redução no custos com produtos químicos, aumento dos custos com lavagem dos filtros, redução no lodo produzido (pelo menor uso de coagulante), e consequentemente a redução dos custos de condicionamento, bombeamento, desidratação e disposição final do lodo.

Peterson, Schleppenbach e Zaudtke (1980) estudaram a aplicabilidade da filtração direta para a remoção de fibras de amianto da água bruta.

Foley (1980) mostrou que em 1973 já existiam quatro ETAs de filtração direta em Ontario e mais outras em fase de projeto. O autor também indicou que de 1973 a 1980, várias outras ETAs de ciclo completo haviam sido convertidas em filtração direta e outras haviam sido construídas.

De acordo com Foley (1980), a filtração direta estava, na época, recebendo atenção como um meio de se atender aos padrões de turbidez da água tratada a um menor custo. Ainda de acordo com o autor, estudos da época avaliaram o uso da filtração direta em várias aplicações por testes em escala piloto e performance em escala plena. Tais estudos mostravam ainda, sua eficiência para tratar águas com altas turbidez e cor. Foley (1980) também indicou o uso de ozonização antes da filtração para a diminuição da turbidez.

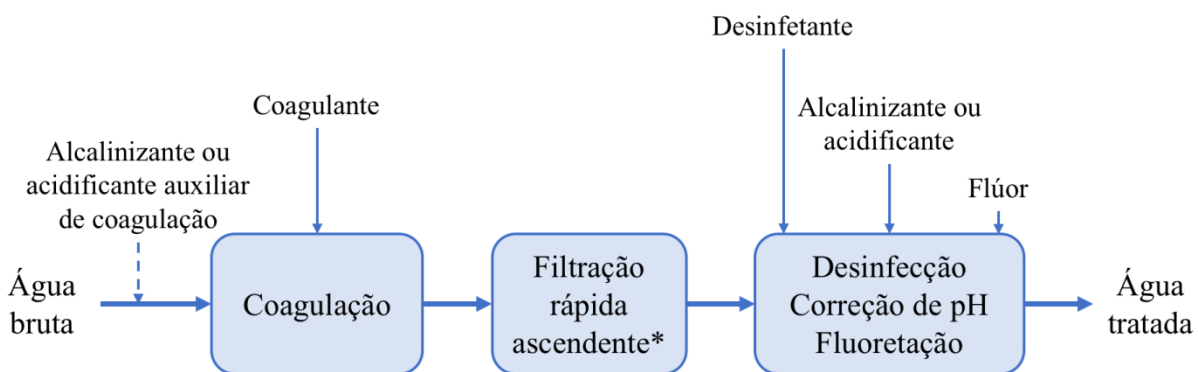
Por fim, Tate e Trussell (1980) mostraram os desenvolvimentos atuais (para a época) sobre filtração direta, apresentando os avanços nos estudos, como uso de pré-tratamento (remoção de cor e ozonização) e microscopia eletrônica de varredura para o aumento da aplicabilidade da filtração direta, vista como uma alternativa econômica para se atender aos padrões de turbidez impostos pelas agências reguladoras. Nesse estudo, os autores destacaram trabalhos realizados na Austrália e nos EUA.

### 3.6.1 Filtração direta ascendente

Na FDA, a água coagulada é direcionada à câmara de carga do filtro ascendente, permitindo o funcionamento do filtro à taxa constante. Em seguida, a água é conduzida ao fundo do filtro, passando por uma camada suporte de pedregulho e, em seguida, pelas camadas do meio filtrante composto por areia grossa. Geralmente de 30 a 50% da perda de carga nos filtros ocorre devido à retenção de impurezas na camada suporte de pedregulho, sendo o resto devido à camada filtrante em areia (SMET; VAN WIJK, 2002).

As partículas são, portanto, progressivamente removidas. A água filtrada é coletada por uma calha superior, que também pode servir para coleta da água de lavagem (DI BERNARDO et al., 2003; REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2013; SABOGAL PAZ, 2007). As principais etapas da tecnologia de FDA encontram-se na Figura 6 e o arranjo dessa tecnologia encontra-se na Figura 7.

Figura 6 – Fluxograma esquemático do sistema de filtração direta ascendente

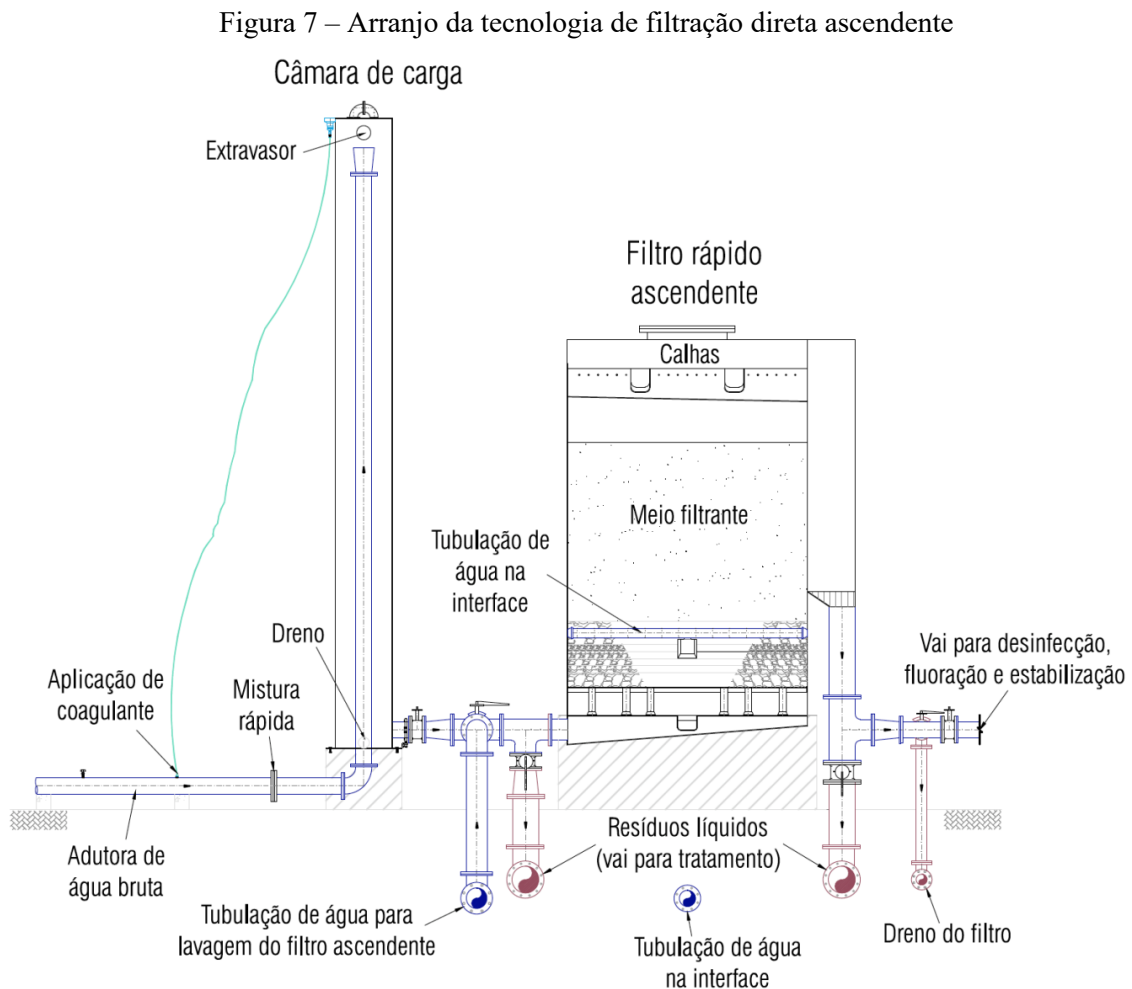


(\*) processos que geram resíduos

Fonte: adaptado de Di Bernardo et al. (2003).

Devido ao acúmulo de impurezas entre as camadas de pedregulho e areia grossa e dificuldade de remoção dessas partículas, podem ser realizadas Descargas de Fundo

Intermediárias – DFIs na interface pedregulho/areia. Ao se realizar as DFIs, existe um escoamento de água rápido pela camada suporte de pedregulho, com a possibilidade de formação de bolsões de ar na região. Após a lavagem do filtro e início da sua operação, existe o risco da saída do ar retido nesses bolsões (podendo resultar até mesmo em pequenas explosões) o que pode prejudicar a qualidade da água filtrada no início da carreira de filtração, uma vez que são formados caminhos preferenciais (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; SABOGAL PAZ et al., 2015; REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2013).



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Para evitar esse problema, deve-se injetar água na interface pedregulho/areia durante a execução das DFIs de forma a evitar a formação dos bolsões de ar. A realização das DFIs pode, ainda, aumentar a duração da carreira de filtração, uma vez que recupera a carga hidráulica. No entanto, a injeção de água na interface aumenta ainda mais a produção de lodo durante a lavagem dos filtros (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; SABOGAL PAZ et al., 2015; REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2013).

Algumas desvantagens da tecnologia de FDA em relação às demais tecnologias de filtração direta são: i) nos sistemas em que a mesma calha é utilizada para coleta da água tratada e da água de lavagem, após a lavagem do filtro pode ocorrer contaminação do reservatório de água filtrada; e ii) o filtro ascendente deve ser coberto, uma vez que a água filtrada se encontra na superfície da unidade (em contato com a atmosfera) e, caso não haja cobertura, pode ser contaminada por agentes externos (como pássaros e poeira) (DI BERNARDO et al., 2003). Em relação à primeira desvantagem apresentada, Smet e Van Wijk (2002) sugerem que a introdução de tubos perfurados na parte superior do meio filtrante pode diminuir os riscos à higiene, mas aumenta os custos da unidade.

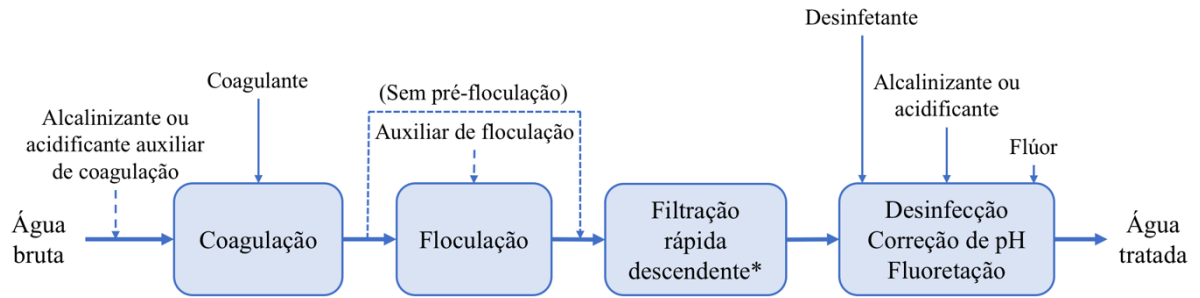
### 3.6.2 Filtração direta descendente

A FDD pode apresentar-se de duas formas distintas: com ou sem floculação. O emprego da floculação depende da qualidade da água bruta, das características do meio filtrante e da taxa de filtração. Quando a floculação é utilizada, deve-se atentar à entrada e distribuição da água no filtro descendente, de forma que não haja ruptura dos flocos, o que acarretaria em uma diminuição da eficiência da filtração. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2013; SABOGAL PAZ, 2007).

A água coagulada (ou floculada) é direcionada ao topo do filtro descendente e a filtração se dá de forma semelhante à filtração em uma ETA de ciclo completo. O meio filtrante do filtro descendente pode ser composto por antracito e areia, ou somente areia. Em seguida, a água filtrada é coletada na parte inferior do filtro e encaminhada aos processos de desinfecção, correção do pH e fluoretação, como mostrado na Figura 8 (DI BERNARDO et al., 2003; SABOGAL PAZ, 2007). O arranjo da tecnologia de FDD (sem floculação) encontra-se na Figura 9.

Tanto a tecnologias de FDA quanto a de FDD, possuem limitações relativas à qualidade da água bruta e exigem controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos em relação às ETAs de ciclo completo. Além disso, a tecnologia de FDD apresenta um período inicial de melhora da qualidade do efluente mais longo em relação às demais tecnologias de filtração direta (DI BERNARDO et al., 2003). Comparando-se as filtrações diretas (ascendente e descendente), as vantagens de cada uma estão na Tabela 5.

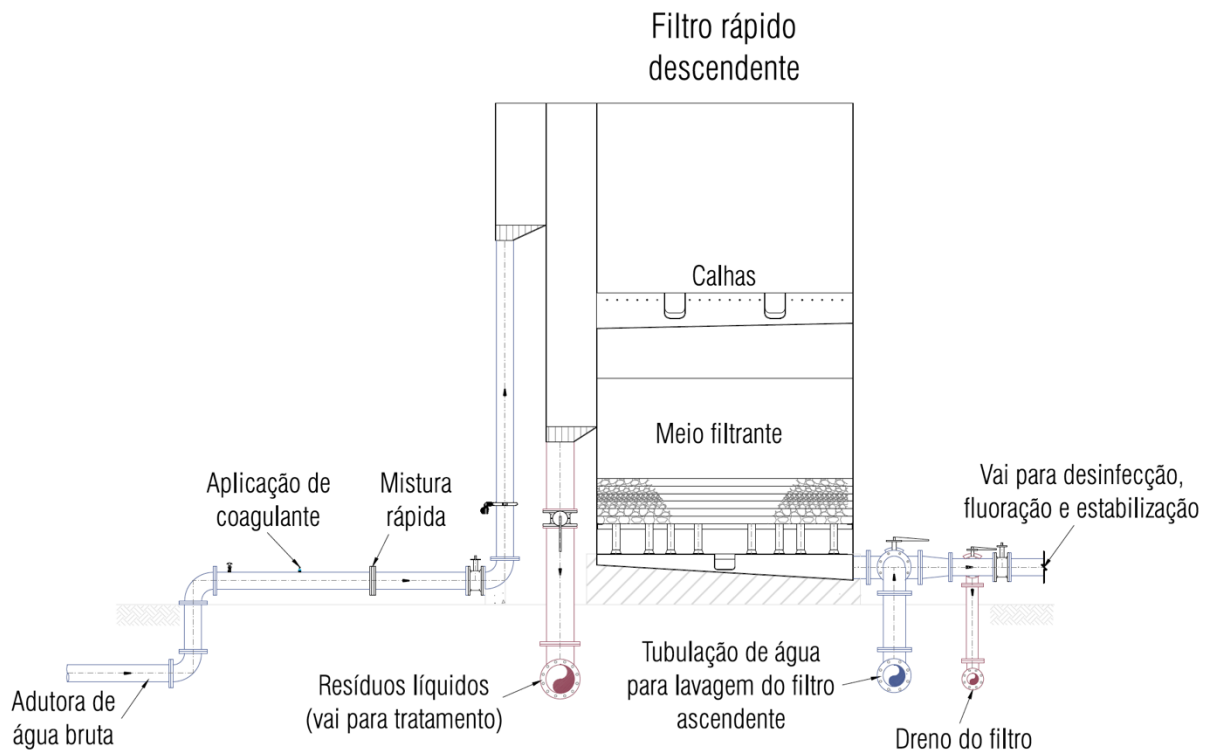
Figura 8 – Fluxograma esquemático do sistema de filtração direta descendente



(\*) processos que geram resíduos

Fonte: adaptado de Di Bernardo et al. (2003).

Figura 9 – Arranjo da tecnologia de filtração direta descendente (sem floculação)



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Tabela 5 – Comparação entre as tecnologias de FDA e FDD

Vantagens da FDA em relação à FDD	Vantagens da FDD em relação à FDA
<p><b>a)</b> Possibilita a filtração no sentido do maior para o menor grão, resultando na utilização da altura total da camada como meio filtrante e proporcionando carreiras de filtração de maior duração.</p> <p><b>b)</b> Possibilita a execução de descargas de fundo intermediárias com introdução de água na interface, resultando em eficiente método de remoção do material retido na camada suporte, com produção de efluentes de melhor qualidade.</p>	<p><b>a)</b> Segurança sanitária da água filtrada logo após a limpeza dos filtros, pois não há a possibilidade de contaminação direta da água filtrada pela mistura com o volume final de água de lavagem que permanece no interior da câmara do filtro.</p> <p><b>b)</b> Permite a adoção da operação segundo o princípio da taxa declinante e de maiores taxas de filtração.</p>

Fonte: adaptado de Di Bernardo et al. (2003).

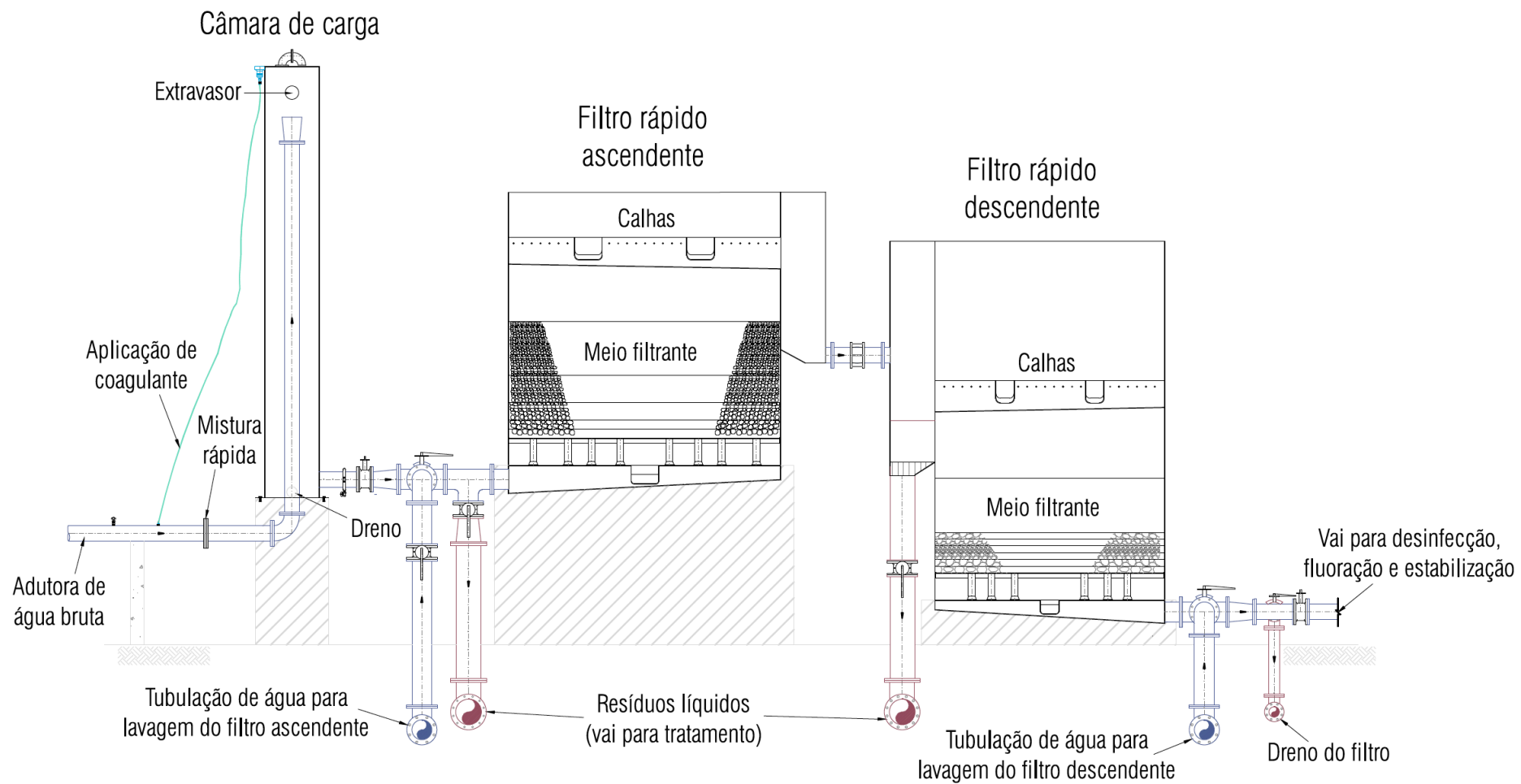
### 3.6.3 Dupla filtração

A DF consiste na associação de filtros ascendentes e descendentes e foi idealizada de forma a reduzir as limitações da FDA e da FDD. Na DF, a água coagulada é encaminhada à câmara de carga e em seguida ao filtro ascendente, cujo meio filtrante pode ser composto por pedregulho ou areia grossa. Em seguida, a fim de se obter a remoção das impurezas remanescentes, a água é destinada ao filtro descendente, cujo meio filtrante pode ser composto por areia ou antracito e areia (DI BERNARDO et al., 2003; SABOGAL PAZ, 2007).

A água filtrada é, então, encaminhada aos processos de desinfecção, correção do pH e fluoretação, como mostrado na Figura 11. Os filtros ascendentes contam com descargas de fundo intermediárias (DI BERNARDO et al., 2003; SABOGAL PAZ, 2007). O arranjo da tecnologia de DF (com filtro ascendente em pedregulho) encontra-se na Figura 10.

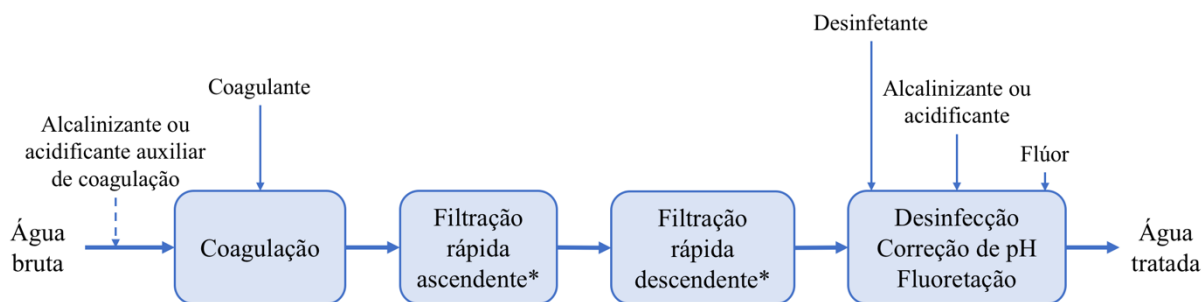
As principais vantagens e desvantagens da DF em relação às demais tecnologias de filtração direta estão mostradas na Tabela 6. As menores limitações apresentadas pela DF a fazem uma alternativa competitiva, em alguns casos específicos, com o tratamento por ciclo completo.

Figura 10 – Arranjo da tecnologia de dupla filtração (com filtro ascendente em pedregulho)



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Figura 11 – Fluxograma esquemático do sistema de dupla filtração



(\*) processos que geram resíduos

Fonte: adaptado de Di Bernardo et al. (2003).

Tabela 6 – Vantagens e desvantagens da DF em relação à FDA e à FDD

Vantagens	Desvantagens
<p>a) Permite o tratamento de água oriunda de manancial com maior valor de turbidez (até 200 uT para DF e até 50 uT para FDD e FDA).</p> <p>b) Maior segurança em relação às variações bruscas de qualidade da água bruta.</p> <p>c) Dispensa o descarte de água filtrada do filtro ascendente no início da carreira de filtração.</p>	<p>a) Maiores custos de implantação, operação e manutenção.</p>

Fonte: adaptado de Di Bernardo et al. (2003).

Segundo Sakamoto (2013) e Sabogal Paz et al. (2015), as vantagens do uso de filtros ascendentes em areia grossa (FAAG) em relação aos filtros ascendentes em pedregulho (FAP) são: i) melhor qualidade da água filtrada; ii) maior resiliência em relação à qualidade da água bruta; e iii) maior taxa de filtração (e conseqüentemente menor área em planta). Em relação às desvantagens, tem-se: i) necessidade de maior carga hidráulica disponível; ii) menor duração da carreira de filtração; e iii) maior produção de resíduos.

### 3.7 Tecnologias de tratamento dos resíduos gerados nas ETAs

As ETAs, como qualquer indústria de transformação, geram resíduos com potencial para produzir impactos ambientais e podem ser potencialmente tóxicos para seres humanos, plantas e organismos aquáticos. Dessa forma, os resíduos gerados nas ETAs representam um problema para as instituições responsáveis pelo seu gerenciamento, como agências reguladoras do meio ambiente e empresas de saneamento. A magnitude desse impacto está relacionada às características químicas dos resíduos e à sua disposição. Portanto, o resíduo gerado não pode ser disposto sem tratamento, a não ser que ele seja enviado para a rede de



esgoto (sendo tratado na ETE). Nesse sentido, devem-se procurar disposições adequadas para os resíduos gerados a fim de atender as legislações vigentes (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016b; AWWARF; KIWA, 1990; DHARMAPPA; HASIA; HAGARE, 1997; DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

É consenso entre vários autores que o gerenciamento e a disposição dos resíduos gerados nas ETAs são considerações importantes no tratamento de água e devem ser considerados como uma parte integral do sistema, e não somente o fim da linha (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016b; AWWARF; KIWA, 1990; DHARMAPPA; HASIA; HAGARE, 1997; DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; SHARMA, 2010). Nesse sentido, a adaptação das estações para considerar essas etapas pode minimizar a produção do lodo e facilitar seu tratamento, diminuindo a longo prazo os custos com gerenciamento, tratamento e disposição dos resíduos (AWWARF; KIWA, 1990).

Segundo Sabogal Paz (2007), o intuito do tratamento dos resíduos produzidos nas ETAs (provenientes da lavagem dos filtros) é reduzir o volume do resíduo (diminuição do teor de água), de forma que a concentração de sólidos obtida seja compatível com o tipo de destino desejado (aproveitamento, disposição final ou emprego da água clarificada no sistema). A escolha do tratamento e disposição dos resíduos depende de diversos fatores, como o tipo de ETA, sua vazão e operação (limpeza dos filtros), a qualidade da água bruta, os produtos químicos utilizados no tratamento, a quantidade de resíduos gerada, a concentração de sólidos dos resíduos, área disponível, clima local e condições socioeconômicas, culturais e ambientais da região (REALI, 1999; SABOGAL PAZ, 2007; SHARMA, 2010).

As principais tecnologias de tratamento dos resíduos envolvem as seguintes unidades: regularização de vazão, condicionamento (físico ou químico, cujo objetivo é preparar o lodo para garantir que o desaguamento funcione de forma eficiente, sendo dispensável quando se utilizam lagoas de lodo ou leitos de drenagem), adensamento (por sedimentação ou flotação), desaguamento (natural ou mecânico) e, em alguns casos, secagem e incineração (AWWARF; KIWA, 1990; DHARMAPPA; HASIA; HAGARE, 1997; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011; SABOGAL PAZ, 2007).

Outra etapa que pode estar presente é a recuperação (SHARMA, 2010). Ao final dessas etapas, deve ser feita a disposição final do lodo. Segundo Dharmappa, Hasia e Hagare (1997), as concentrações de sólidos que podem ser obtidas pela utilização dos processos expostos são: até 10% para o adensamento, entre 10 e 30% para o desaguamento (nesse caso o lodo possui características semissólidas) e 30 a 60% para a secagem (nesse caso o lodo possui características praticamente sólidas).

Os tanques de adensamento por gravidade, em geral, são usados como uma etapa preliminar de gerenciamento dos resíduos produzidos nas ETAs. Além disso, são mais indicados quando há limitação de terreno (MCGIVNEY; KAWAMURA, 2008).

Existem diversas tecnologias para o desaguamento natural do lodo, entre elas destacam-se lagoas de lodo e leitos de drenagem. De acordo com McGivney e Kawamura (2008), as lagoas de lodo são a tecnologia de tratamento mais barata, tanto em termos de construção como em termos operacionais e, caso exista disponibilidade de terreno, essa é uma alternativa economicamente viável.

Outra alternativa, os leitos de drenagem, são dimensionados com forros, drenos e coletores para capturar a água drenada, evitando a contaminação de lençóis freáticos. Além disso, os leitos de drenagem geram lodos com maior concentração de sólidos e seu filtrado pode ser disposto na rede coletora de esgoto (MCGIVNEY; KAWAMURA, 2008).

Dentre as possíveis disposições para os resíduos, destacam-se: envio à estação de tratamento de esgoto (ETE), para posterior tratamento, e disposição final em aterro Classe II (ACII) (para resíduos não perigosos), segundo NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004).

A recirculação da água de lavagem dos filtros não é recomendada devido ao seu risco microbiológico e, assim como a água removida nos processos de tratamento, deve ter uma destinação adequada. O risco microbiológico é advindo da concentração de micro-organismos (nesse sentido destacam-se cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.) quando a água é recirculada, ou seja, quando a água de lavagem retorna ao canal de chegada da água bruta. Isso acontece uma vez que os micro-organismos retidos no meio poroso são removidos na água de lavagem dos filtros e cada vez que essa água de lavagem é recirculada, a concentração desses micro-organismos aumenta. Isso pode implicar em concentrações inclusive maiores do que as encontradas na água bruta (FREITAS et al., 2010; SILVA, 2019).

De acordo com AWWARF e KIWA (1990), a disposição dos resíduos de ETAs na rede de esgoto é muito comum nos Estados Unidos e as vantagens e desvantagens dessa prática foram estudadas por diversos autores. Segundo McGivney e Kawamura (2008), para ETAs de pequeno porte os custos do envio do lodo à ETE (quando é feita a disposição na rede de esgoto) geralmente é menor que os custos de tratamento dos resíduos na própria estação.

Em relação ao envio a aterros, para que o processo seja tecnicamente possível e não tenha um grande impacto ambiental, o resíduo deve estar desidratado (teor de sólidos de 20 a 40%) ou em forma sólida. Além disso, o desaguamento do lodo reduz seu volume e,

consequentemente, os custos associados ao seu transporte (AWWARF; KIWA, 1990; DHARMAPPA; HASIA; HAGARE, 1997).

Em relação ao gerenciamento dos resíduos gerados nas ETAs, destacam-se os trabalhos de Ahmad, Ahmad e Alam (2016a, 2016b), Chen, Ma e Dai (2010), Dharmappa, Hasia e Hagare (1997) e Kizinievic, et al. (2013). Esses estudos, em geral, focaram em diferentes alternativas de disposição final dos resíduos (após seu tratamento), como sua aplicação como substituto a materiais de construção. Embora essas alternativas não tenham sido abordadas no presente trabalho por fugirem do escopo, são considerações interessantes e relevantes para o entendimento do processo de tratamento de água (abordado neste trabalho) como um todo.

Ahmad, Ahmad e Alam (2016a) avaliaram os aspectos físicos e químicos dos resíduos produzidos em uma ETA em Ghaziabad, Índia após a etapa de desaguamento. A partir dessas características, Ahmad, Ahmad e Alam (2016a) verificaram a viabilidade da reciclagem e do reuso dos resíduos, de forma a se obter alternativas sustentáveis e rentáveis. Em relação à reciclagem, foram analisadas a utilização dos resíduos para fabricação de tijolos e cerâmicas e na manufatura de cimento e materiais cimentícios, de forma a substituir esses materiais de construção e proporcionar uma rota de disposição segura. Já em relação ao reuso, foram analisadas a remoção de metais potencialmente tóxicos e a redução de nutrientes para utilização em ETEs.

Ahmad, Ahmad e Alam (2016b) avaliaram as características físico-químicas de resíduos gerados em ETAs e suas toxicidades para o meio ambiente. Além disso, também foram avaliadas várias alternativas para seu reuso: 1) recuperação dos coagulantes e uso desse coagulante recuperado em ETEs; 2) uso como adsorvente para materiais potencialmente tóxicos; 3) uso como substrato para *wetlands* construídas; 4) uso no condicionamento e desaguamento de lodos advindos de esgotamento sanitário; 5) produção de cimento e materiais cimentícios; 6) produção de tijolos e cerâmicas; 6) produção de agregados artificiais leves; 7) uso como substituto arenoso de concreto e argamassa; e 8) uso na agricultura e em aplicações no terreno.

Ahmad, Ahmad e Alam (2016b) apontaram que na Índia e em outros países em desenvolvimento a disposição dos resíduos de ETAs em cursos de água ainda é muito utilizado, embora provoque o acúmulo (aumento dos níveis) de alumínio e metais potencialmente tóxicos na água, e consequentemente nos animais aquáticos e no ser humano.

Ahmad, Ahmad e Alam (2016b) também apontam que o reuso do lodo pode ser uma disposição sustentável e que várias alternativas testadas globalmente teriam um impacto

positivo para o desenvolvimento de planos adequados de gerenciamento dos resíduos. No entanto, segundo os autores, o envio do lodo à ETEs para tratamento pode não ser uma alternativa sustentável, uma vez que as ETEs não necessariamente estão localizadas próximas às ETAs, aumentando os custos com transporte.

Chen, Ma e Dai (2010) investigaram a aplicabilidade dos resíduos de ETAs para substituição parcial de matéria prima silicosa na produção de cimento. Para isso, foram feitas análises em materiais do clínquer, testes de resistência à compressão e testes de lixiviação.

Dessa forma, Chen, Ma e Dai (2010) verificaram que o lodo de ETAs pode ser aplicado como uma alternativa na produção de cimento. Segundo os autores, para a fabricação do cimento há um grande consumo de matérias primas (como calcário e argila), um alto requerimento energético e emissões significativas de gases do efeito estufa (aproximadamente 0,82 kg de gás carbônico para cada quilograma de clínquer). Portanto, é necessário se buscar novas alternativas econômicas para a substituição das matérias primas. Os autores também apontam que a disposição do lodo no terreno sem tratamento pode causar impactos ao meio ambiente, portanto essa prática pode ser substituída por tratamentos físicos, químicos ou biológicos, além de incineração e estabilização.

Dharmappa, Hasia e Hagare (1997) avaliaram o dimensionamento e a performance de leitos de drenagem para tratamento dos resíduos produzidos na ETA e condicionados quimicamente. Nesse sentido, foi determinado o efeito do condicionamento no funcionamento de leitos de drenagem. Foram testados dois tipos de resíduos, um proveniente de um tanque de sedimentação e um proveniente da água de lavagem dos filtros. Também foram testados dois tipos de polímeros para o condicionamento: catiônico e aniônico.

Os resultados do estudo de Dharmappa, Hasia e Hagare (1997) mostraram que o condicionamento aumenta a eficiência do desaguamento, reduzindo o requerimento de área dos leitos de drenagem. Além disso, os autores apontaram algumas vantagens dos leitos de drenagem, como baixo requerimento de equipamentos mecânicos e de mão-de-obra especializada (é necessário pouca atenção e habilidade) e baixa sensibilidade em relação à concentração dos sólidos dos resíduos.

Kizinievic, et al. (2013) avaliaram a influência da adição de resíduos de ETAs nas propriedades físicas e mecânicas, nos parâmetros estruturais e na composição mineralógica de produtos cerâmicos. Os resultados do estudo mostraram que as propriedades físicas e mecânicas, além de alguns parâmetros estruturais, variaram de acordo com a quantidade de resíduo adicionado. Algumas dessas propriedades e parâmetros foram melhorados em

detrimento de outros, como a melhoria da impregnação da água e a piora da resistência à compressão.

Os resultados do estudo de Kizinievic, et al. (2013) também mostraram que os resíduos, por serem compostos principalmente por óxido de ferro, podem ser usados como pigmentos naturais para tingir as cerâmicas (como telhas, tijolos e blocos), produzindo uma cor vermelha mais intensa e forte, sem variar os custos para a produção da cerâmica. A partir do estudo realizado, os autores concluíram que a utilização dos resíduos de ETAs como matéria prima secundária de produtos cerâmicos (com propostas variadas) é ecológica, econômica e adequada.

### 3.7.1 Regularização de vazão

Os resíduos produzidos na ETA são encaminhados a um tanque com agitação, onde a vazão é equalizada e a concentração de sólidos é uniformizada antes de ser efetuado o bombeamento para a alternativa escolhida para tratamento ou disposição, como a ETE (SAKAMOTO, 2013). A Figura 12 e a Figura 13 mostram vistas lateral e superior, respectivamente, de tanques de regularização reais construídos em chapa de aço. Já a Figura 14 mostra o esquema adotado no presente trabalho, mostrando a vista superior e um corte longitudinal do tanque de regularização de vazão com seus respectivos componentes.

Figura 12 – Vista lateral de um tanque de regularização de vazão em chapa de aço



Fonte: Hidrosul (2019b).

Figura 13 – Vista superior de um tanque de regularização de vazão em chapa de aço

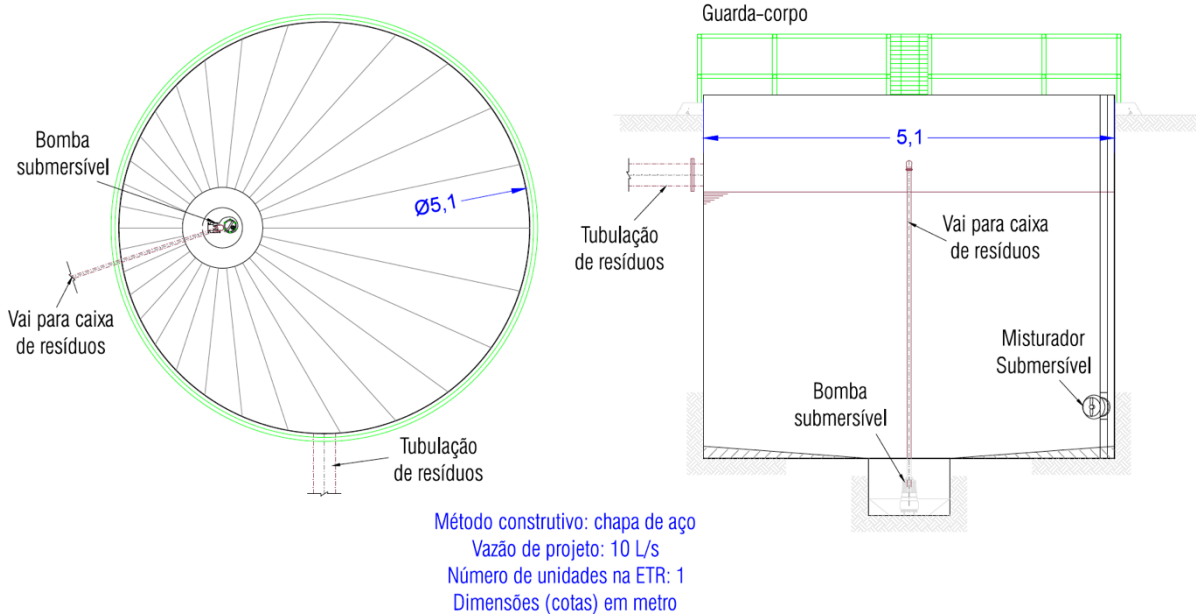


Fonte: Hidrosul (2019b).

Figura 14 – Vista superior e corte de um tanque de regularização de vazão utilizado no trabalho

TANQUE DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO  
Vista superior

TANQUE DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO  
Corte



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

### 3.7.2 Adensamento

O sistema de adensamento visa o aumento do teor de sólidos no resíduo gerado, e é importante para o bom funcionamento dos sistemas de desaguamento. Esse processo também é importante caso se tenha interesse em extrair o clarificado para recirculação na ETA. O



adensamento pode ser feito através de três alternativas: por gravidade, flotação ou mecanizado. A escolha do adensador deve levar em consideração aspectos técnicos e econômicos, além das características do resíduo (HDR ENGINEERING INC, 2001; SABOGAL PAZ, 2007; SAKAMOTO, 2013).

A Figura 15 e a Figura 16 mostram adensadores construídos em concreto e chapa de aço, respectivamente. Já a Figura 17 mostra o esquema adotado no presente trabalho, mostrando a vista superior e um corte longitudinal do tanque de clarificação/adensamento com seus respectivos componentes.

Figura 15 – Adensador em concreto



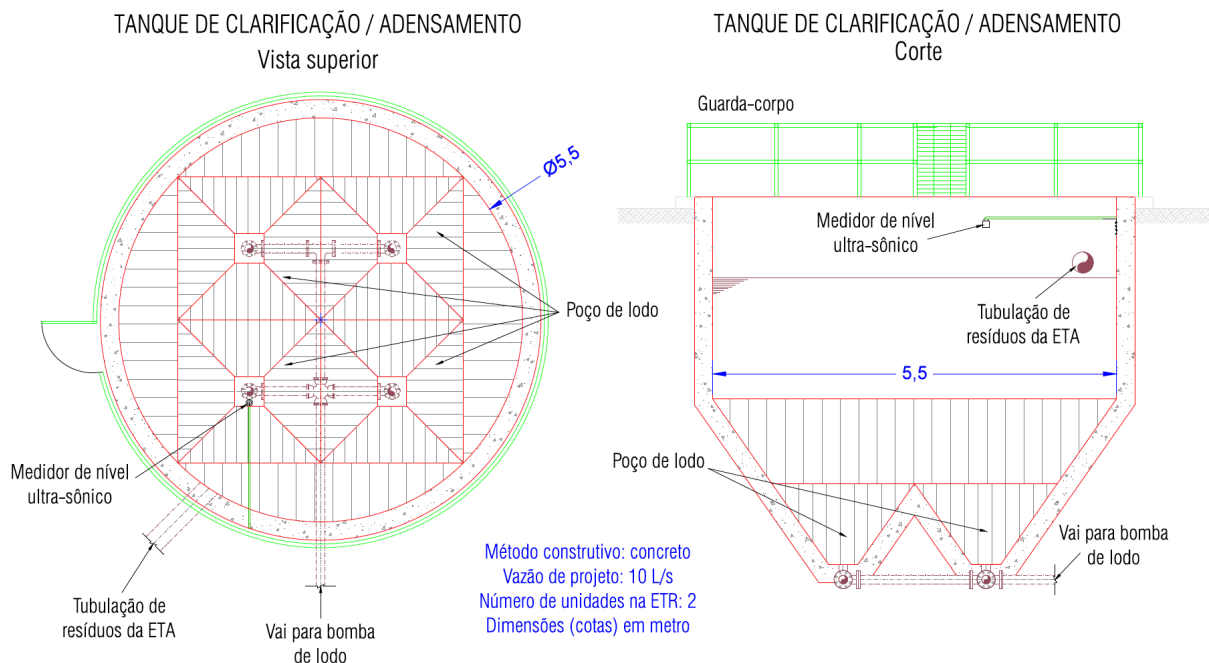
Fonte: Sigma (2019).

Figura 16 – Adensador em chapa de aço



Fonte: Hidrosul (2019a).

Figura 17 – Vista superior e corte de um tanque de clarificação/adensamento utilizado no trabalho



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

### 3.7.3 Desaguamento

A técnica de desaguamento se caracteriza pela remoção de água dos resíduos a fim de que seu volume seja reduzido (e conseqüentemente aumentando-se o teor de sólidos), facilitando o transporte para aproveitamento posterior ou disposição final. O desaguamento pode ser feito de forma mecânica, ou por técnicas naturais (como leitos de drenagem e lagoas de lodo) (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011; HDR ENGINEERING INC, 2001; SAKAMOTO, 2013).

Os sistemas naturais de desaguamento são indicados para estações com vazão de projeto de até 200 L/s (FONTANA, 2004). Além disso, deve haver disponibilidade de área e clima que favoreça a evaporação da água, ou seja, locais onde a taxa de evaporação é maior que a precipitação e onde não há o risco de congelamento.

#### 3.7.3.1 Leitos de secagem convencional e leitos de drenagem

Os leitos de secagem convencional funcionam como filtros granulares de bateladas, onde os lodos são descarregados sem a adição de condicionantes e são constituídos por: i) tanques rasos; ii) sistema de drenagem; e iii) duas ou três camadas de pedregulho com aproximadamente 30 cm de espessura cada e diferentes granulometrias. A remoção de água



dos resíduos é realizada através dos processos de decantação, percolação (drenagem) e evaporação (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; SABOGAL PAZ, 2007).

Os leitos de drenagem, por sua vez, são otimizações dos leitos de secagem, onde se emprega uma manta geotêxtil sob a camada filtrante. Dessa forma, obtém-se uma remoção efetiva da água livre dos lodos, melhora-se sua qualidade e há redução do tempo de drenagem (BARROSO; ACHON; CORDEIRO, 2006).

Segundo Dharmappa, Hasia e Hagare (1997), as vantagens dos leitos de drenagem são sua confiabilidade, facilidade de operação e baixo custo. Já dentre as desvantagens destaca-se seu requerimento de área (que ainda é menor que no caso das lagoas de lodo). No entanto, a área requerida para a instalação dos leitos de drenagem pode ser diminuída caso se utilize a etapa de condicionamento, uma vez que esta pode acelerar substancialmente a taxa de desidratação (DHARMAPPA; HASIA; HAGARE, 1997).

A Figura 18, a Figura 19 e a Figura 20 apresentam diferentes fases de operação dos leitos de drenagem na respectiva ordem: recebendo o lodo (início da operação); em operação plena; e com o lodo drenado (final da operação). Na Figura 18, a cobertura do leito mostrada em cinza (onde o lodo está sendo derramado) é a manta geotêxtil. Nesse sentido, as camadas de pedregulho dos leitos encontram-se abaixo dessa manta.

Figura 18 – Leitos de drenagem recebendo lodo (ETA de Monte Aprazível – SP)



Fonte: SABESP (2019).

Figura 19 – Leitos de drenagem em operação (ETA de Monte Aprazível – SP)



Fonte: SABESP (2019).

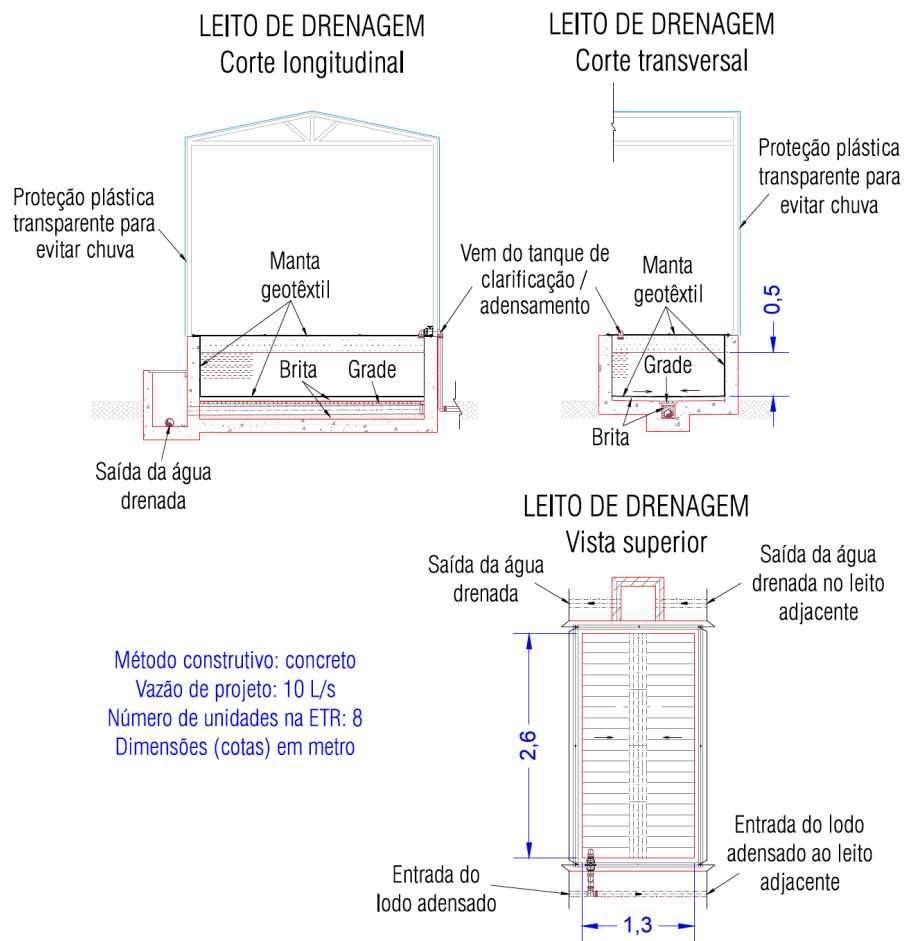
Figura 20 – Leitos de drenagem com o lodo drenado (ETA de Monte Aprazível – SP)



Fonte: SABESP (2019).

A Figura 21, por sua vez, apresenta o esquema adotado no presente trabalho, mostrando a vista superior, corte longitudinal e corte transversal dos leitos de drenagem com seus respectivos componentes. As posições da manta de geotêxtil e das camadas filtrantes também se encontram indicadas na Figura 21.

Figura 21 – Vista superior e cortes de um leito de drenagem utilizado no trabalho



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

### 3.7.3.2 Lagoas de lodo

As lagoas são o método mais antigo e mais utilizado para o tratamento dos resíduos de ETAs. Nas lagoas de lodo, a desidratação ocorre em três etapas: drenagem, evaporação e transpiração. Nesse sentido, esse método é viável para regiões onde a taxa de evaporação é superior à de precipitação. Essa técnica também é recomendada para ETAs de pequena capacidade e em locais onde o custo do terreno não for elevado, uma vez que as lagoas requerem grandes áreas em planta (CORDEIRO, 1999; DHARMAPPA; HASIA; HAGARE, 1997; DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; HDR ENGINEERING INC, 2001).

Para que se evite a contaminação do subsolo através da infiltração dos resíduos, recomenda-se a impermeabilização do fundo da lagoa e revestimento dos taludes com, por exemplo, pintura asfáltica, argamassa, camada de argila ou manta de geotêxtil (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).



Cabe-se ressaltar que o emprego das lagoas de lodo está condicionado aos parâmetros climatológicos da região, como temperatura e precipitação, não sendo indicadas para locais onde a precipitação supera a evaporação e onde há o risco de congelamento.

A Figura 22 mostra a fase de construção de uma lagoa de lodo com revestimento de geotêxtil. Já a Figura 23 mostra duas lagoas em operação e uma lagoa em manutenção.

Figura 22 – Construção de uma lagoa de lodo com revestimento de geotêxtil



Fonte: LOG Engenharia Ltda (2019).

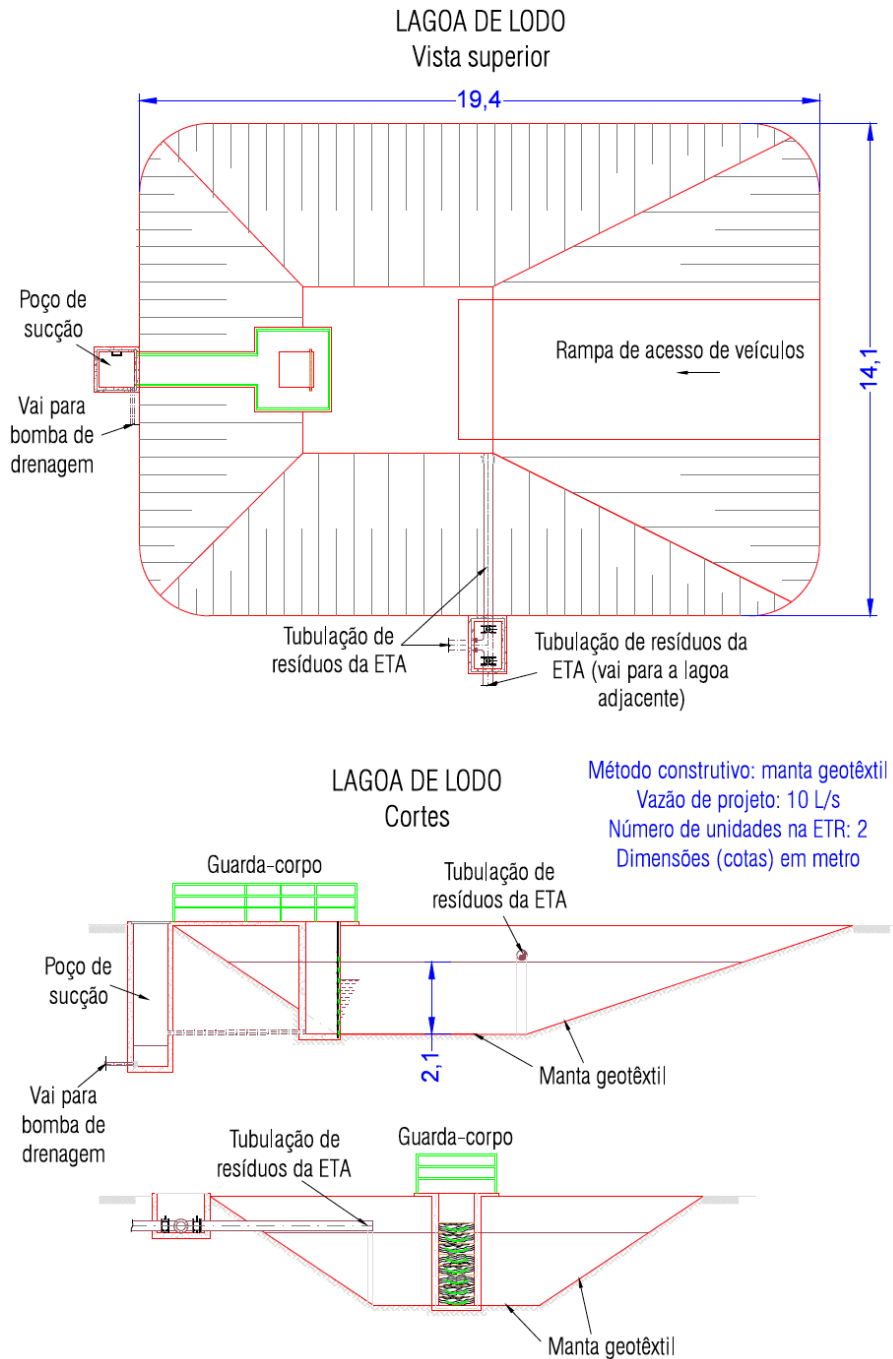
Figura 23 – Lagoas em operação ao fundo e lagoa em manutenção à frente



Fonte: Soluções Industriais (2019).

A Figura 24, por sua vez, mostra o esquema adotado no presente trabalho, mostrando a vista superior, corte longitudinal e corte transversal das lagoas de lodo com seus respectivos componentes.

Figura 24 – Vista superior e cortes de uma lagoa utilizada no trabalho



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

### 3.8 Análise ambiental

Existem diversos estudos na literatura que abordam os aspectos ambientais relacionados à implantação e operação de sistemas de tratamento de água e de esgoto, além de planejamento de recursos hídricos. Alguns desses estudos também abordam a determinação de custos das unidades de tratamento, principalmente relacionando os custos com os impactos ambientais.

A análise ambiental em pequenas comunidades também foi abordada neste item. O método mais utilizado nesses estudos para a avaliação ambiental é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que considera os impactos ambientais em todo o ciclo de vida de um produto, ou seja, desde a retirada das matérias primas até a disposição final. Embora o foco do presente trabalho não tenha sido a análise ambiental da construção e operação de ETAs, esse é um aspecto importante a ser considerado na análise de sustentabilidade das tecnologias de tratamento de água.

Barrios et al. (2008) avaliaram os impactos ambientais e financeiros de ETAs em operação, com o objetivo de selecionar a tecnologia de pré-tratamento com melhores impactos. Somente a fase de operação foi avaliada no estudo. Para a análise ambiental, foi realizada uma ACV, de acordo com a norma ISO-14040 (ABNT, 2001). Os dados para a avaliação foram coletados na própria ETA e também foram obtidos a partir de bases de dados. Na análise econômica, foram avaliados os custos de materiais, energia elétrica, funcionários e outros serviços de manutenção. Nesse sentido, foram comparadas as etapas mais impactantes ambiental e economicamente e, com isso, foram propostas otimizações (alternativas melhores) para essas etapas.

De Gussem (2011) avaliou os impactos ambientais e econômicos de uma ETE de lodos ativados na Bélgica. De forma análoga a Barrios et al. (2008), De Gussem (2011) avaliou os processos com maiores impactos ambientais e econômicos, a fim de otimizá-los. Para o impacto ambiental, foi usada o método de ACV. De Gussem (2011) também só avaliou a fase de operação da estação. Por fim, o autor comparou as alternativas originais com as otimizadas, de modo a explicitar suas diferenças.

Bonton et al. (2012) realizaram uma avaliação de impactos ambientais de duas ETAs que utilizam diferentes tecnologias de tratamento (uma usando nanofiltração e outra convencional com carvão ativado granular), afim de compará-las. Os autores adotaram que as duas ETAs estariam tratando a mesma água bruta e produzindo uma água tratada de mesma

qualidade. Para fins comparativos também foram investigadas as fases de construção e operação de uma ETA de ciclo completo hipotética.

A metodologia adotada por Bonton et al. (2012) para essa avaliação foi a ACV. As principais diferenças observadas entre as duas ETAs foram o consumo de produtos químicos e energia elétrica. Os autores também apontam que a seleção de tecnologias não deve considerar somente aspectos econômicos e técnicos, mas também os impactos ambientais.

Dee et al. (1973) avaliaram os impactos ambientais no planejamento de recursos hídricos. Os autores apontaram que a avaliação ambiental não pode ser negligenciada na análise e que sempre deve ser feita uma avaliação de custo-benefício.

Gandini e Galvis (2000) avaliaram os impactos ambientais de ETAs em pequenas comunidades da Colômbia. O estudo se concentrou em populações entre 500 e 30.000 habitantes. Segundo os autores, a situação do saneamento na Colômbia é crítica, principalmente para comunidades menores que 30.000 habitantes. Ainda de acordo com os autores, a tendência urbana-centralista do investimento em saneamento ignora a realidade das pequenas comunidades. Dentre os impactos ambientais do tratamento de água, foram destacados o impacto da produção de lodo e da água de lavagem das unidades.

Igos et al. (2013) propuseram uma metodologia para comparar ETAs de acordo com o impacto ambiental gerado para um ganho equivalente de qualidade de água. Os autores desenvolveram, então, um indicador de custo-desempenho e testaram-no para o caso de duas ETAs pré-existentes na região de Paris. Esse indicador representa o impacto ambiental gerado pelo tratamento por unidade de melhora na qualidade da água (obtida com o tratamento). O ganho em qualidade de água foi determinado através de 8 parâmetros medidos antes e depois do tratamento (água bruta e tratada): turbidez, *Escherichia coli*, coliformes totais, *streptococcus* fecais, sólidos suspensos, carbono orgânico total, soma de pesticidas e glifosatos. Para o impacto ambiental não foram consideradas as fases de implantação e de desmantelamento.

Segundo Igos et al. (2013), para a comparação entre tecnologias de tratamento de água sob o ponto de vista ambiental, a metodologia de avaliação do ciclo de vida é usada como referencial. No entanto, a comparação feita levando em consideração somente a análise de impacto ambiental pode ser enganosa. Também deve ser considerado o ganho real de qualidade de água alcançado após o tratamento.

Ainda de acordo com Igos et al. (2013), a lógica da monetarização é converter os impactos ambientais em valores econômicos, que podem ser melhor compreendidos e comparados com custos econômicos convencionais (numa escala econômica comum de

valores) pelos tomadores de decisão. Nesse sentido, a comparação entre as ETAs se dá pela definição de um indicador de custo-desempenho. Para isso, o impacto total gerado é monetarizado para ser comparado com os custos totais de operação.

Para o estudo realizado por Igos et al. (2013), como as duas ETAs avaliadas usam a mesma fonte de água, o ganho em qualidade da água nos tratamentos foi similar. Portanto, segundo os autores, o indicador seria mais útil para casos onde se utilizam deferentes fontes de água e onde são obtidos diferentes ganhos em qualidade da água tratada.

Igos et al. (2014) avaliaram dados de infraestrutura e operação da ETA em nível de processo unitário para duas estações na França. Nesse sentido, o estudo analisou o impacto ambiental de duas ETAs focando em aspectos pouco abordados na literatura: 1) importância da infraestrutura se comparada com a fase de operação, e 2) contribuição dos resíduos gerados na ETA e não tratados antes de sua disposição no solo. Igos et al. (2014), estudos de ACV não tem mostrado completamente ou com clareza a contribuição de processos unitários específicos, da infraestrutura da estação e dos resíduos gerados (e dispostos no solo sem tratamento) para o impacto ambiental, mesmo esses sendo aspectos importantes para a otimização e o gerenciamento das estações.

Machado et al. (2007) compararam diferentes alternativas para o tratamento de esgoto para comunidades pequenas, rurais e descentralizadas, sob a perspectiva ambiental. Para isso, foi utilizada a abordagem da ACV. As tecnologias avaliadas foram *wetlands* construídas, infiltração à baixa taxa (ambas com baixo consumo energético) e lodos ativados (tratamento convencional). As tecnologias com baixo consumo de energia elétrica resultaram em menores impactos ambientais, principalmente sob a perspectiva do aquecimento global. Nesse sentido, os autores propuseram mudanças nos materiais utilizados na construção e operação das estações, de forma a reduzir o impacto.

Segundo Machado et al. (2007), a busca por sustentabilidade é uma diretriz importante nas fases de planejamento e pré-seleção de tecnologias de tratamento de esgoto, principalmente em sistemas descentralizados localizados em áreas rurais.

O estudo de Machado et al. (2007) é importante para o presente trabalho por mostrar as vantagens de tecnologias não convencionais de tratamento (mesmo que o foco seja diferente) e o impacto da mudança de materiais utilizados na construção e operação das estações.

Mery et al. (2014) propuseram e formalizaram um procedimento técnico para o processo de ecodesign incluindo o diagnóstico ambiental. De acordo com os autores, o



ecodesign deve considerar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais simultaneamente (e não em passos sucessivos), de forma a auxiliar a tomada de decisão a partir do início.

Para fins ilustrativos, Mery et al. (2014) aplicaram a metodologia proposta em uma ETA em operação. Para isso, foram avaliados um cenário base (funcionamento regular da ETA) mostrando as principais questões ambientais, e vários modelos de cenários alternativos para testar soluções tecnológicas. Na análise foram considerados custos operacionais (obtidos pelos custos relacionados ao consumo de produtos químicos e energia elétrica). No cálculo dos custos operacionais não foi incluído o custo da disposição do lodo (em aterro), por falta de dados. A relevância da metodologia e a viabilidade das soluções alternativas de tratamento foram, então, discutidas.

Os resultados obtidos por Mery et al. (2014) mostraram que as alternativas de tratamento propostas não diferiam muito da utilizada anteriormente, uma vez que a estação existente já havia sido otimizada por anos em relação às performances técnica e econômica. No entanto, os autores apontaram que a análise do processo e o dimensionamento das unidades podem ser melhorados e complementados ao se concluir as considerações ambientais nos estágios iniciais de projeto.

Mohapatra et al. (2002) analisaram os impactos ambientais de duas alternativas para a ampliação de uma ETA em operação localizada em Amsterdam. Os processos unitários que compunham a ETA existente eram: aeração, filtração rápida em areia, ozonização, abrandamento, filtração por carvão ativado granular e filtração lenta em areia. Para a expansão de sua capacidade, foram propostas duas alternativas baseadas na tecnologia de osmose reversa. O impacto ambiental foi mensurado a partir de uma ACV.

Vince et al. (2008) desenvolveram uma ferramenta baseada em ACV para a avaliação ambiental de diversos cenários para o abastecimento e tratamento de água, considerando várias condições de projeto. Segundo os autores, para cada tipo de projeto vários processos podem ser implementados, dependendo das restrições locais. Nesse sentido, cada processo unitário foi modelado em função do contexto local. Dessa forma, foram analisados os resultados de diferentes processos de tratamento de água, estações e sistemas de abastecimento de água, como tratamentos convencionais para águas subterrâneas e superficiais, tratamento de água por membranas, processos de dessalinização e reuso de efluentes tratados.

De acordo com Vince et al. (2008), a ferramenta para análise ambiental se tornou necessária a fim de se considerar os aspectos ambientais na seleção de tecnologias, e não somente os aspectos técnicos, econômicos e políticos.

Estudos recentes, principalmente na Europa, também têm adotado o conceito de economia circular como uma atualização da ACV. Nesse sentido, a economia circular não adota o ciclo de vida de forma linear (com começo e fim), mas também considera ciclos de vida fechados (restaurativos ou regenerativos). Dessa forma, os subprodutos de um processo também podem ser usados como matérias primas em outros processos. Esse novo conceito visa a minimização dos resíduos e o uso responsável e cíclico dos recursos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (BALETA et al., 2019; MORAGA et al., 2019; PIERONI; MCALOONE; PIGOSSO, 2019; SASSANELLI et al., 2019; SCHROEDER; ANGGRAENI; WEBER, 2018).

A partir dos estudos mostrados neste item, pode-se concluir que a análise ambiental é de extrema importância para a seleção de tecnologias mais sustentáveis. Além disso, o método de análise do ciclo de vida mostrou-se uma ferramenta útil e bastante difundida para essa análise. A economia circular também tem ganhado espaço nos últimos anos. Portanto, mesmo que a análise ambiental fuja ao escopo do presente estudo, sua realização é recomendada em complementação à análise econômica apresentada.

### 3.9 Revisão de outros estudos

Essa seção apresenta a revisão de outros estudos presentes na literatura que também serviram como base para o desenvolvimento do presente trabalho e possuem relevância para o tema. Além disso, essa sessão apresenta algumas análises de semelhanças e diferenças em relação ao presente trabalho.

Garrido-Baserba (2018) realizou uma análise econômica de diferentes tecnologias de tratamento de esgoto: tradicional, lodos ativados e descentralizado e com separação de fontes, mostrando um gráfico com os custos de instalação e operação das três opções analisadas. As alternativas analisadas contam com recuperação de nutrientes, como nitrogênio e fósforo (para serem vendidos como fertilizante). Também contam com produção de biogás para reduzir os custos energéticos da ETE (e venda do biogás excedente).

Garrido-Baserba (2018) também realizaram uma análise de custo benefício, avaliando a redução do impacto ambiental devido à recuperação de nutrientes e produção de energia a partir do biogás. Os autores ainda apontam a necessidade de se adaptar/atualizar e reformar redes de coleta e ETEs próximas a seu período de projeto, principalmente em países desenvolvidos, onde essas instalações foram construídas a mais tempo. Nesse sentido, os autores consideraram um período de projeto de 20 a 35 anos para ETEs.

Mesdaghinia, Hamedian e Rahmani (2011) avaliaram a performance de ETEs, levando-se em consideração os riscos à saúde da descarga de efluentes da estação em fontes de água e uso na agricultura. O estudo procurou analisar a qualidade do efluente descartado pela ETE de Tehram, Iran em 2010.

O estudo de Shane, Gheewala e Kafwembe (2017) aborda o modelo de uma usina elétrica que utiliza biogás proveniente dos resíduos sólidos municipais para produção de energia. Os resíduos sólidos, segundo o estudo, seriam provenientes de cidades localizadas na Zâmbia.

Nesse sentido, Shane, Gheewala e Kafwembe (2017) avaliaram os benefícios potenciais do modelo e propuseram alternativas para alguns problemas encontrados, como financiamento, regulamentação, incentivos e falta de dados e informações. Dessa forma, foram avaliados os custos de instalação e operação das usinas, e o benefício econômico foi determinado a partir do cálculo do valor presente líquido (soma de todos os valores presentes de um fluxo de caixa, sendo valores positivos de valor presente líquido indicativos de um projeto rentável).

Diferentemente do presente trabalho, Garrido-Baserba (2018) e Mesdaghinia, Hamedian e Rahmani (2011) estudaram estações de tratamento de esgoto e usinas elétricas (com produção de energia a partir de biogás). No entanto, as considerações adotadas e os resultados dos estudos de Garrido-Baserba (2018) e Mesdaghinia, Hamedian e Rahmani (2011) auxiliam na análise das ETRs no presente trabalho, como a determinação do período de projeto mais adequado e disposição final dos resíduos. Além disso, o estudo Shane, Gheewala e Kafwembe (2017) auxilia no desenvolvimento da avaliação econômica dos projetos analisados no presente trabalho.

Hoslett et al. (2018), por sua vez, estudaram as vantagens e desvantagens do uso de filtros rápidos em areia e sua aplicação em países em desenvolvimento. Para isso, os autores comparam a aplicabilidade de duas alternativas para comunidades rurais isoladas de países em desenvolvimento: 1) tratamento descentralizado utilizando filtração em membrana e com carvão ativado, e 2) tratamento centralizado por ciclo completo.

Segundo Hoslett et al. (2018), o tratamento centralizado é viável economicamente quando a densidade populacional é alta (onde a distância entre a ETA e os consumidores é baixa). No entanto, para comunidades rurais e isoladas, nem sempre essa é uma alternativa economicamente viável (ou sustentável), devido aos altos custos e dificuldade de bombeamento de água, falta de infraestrutura de transporte e energia que possa garantir o fornecimento contínuo de suprimentos, e pelo maior custo por unidade de água tratada.

Nesse sentido, Hoslett et al. (2018) sugerem, para essas áreas, o uso de filtros de areia (um único sistema para toda a comunidade) e filtros coloidais de prata-cerâmica no ponto de uso. Esse tratamento “semi-centralizado” combina os benefícios do sistema centralizado (diminuição do custo por unidade de água tratada) com os do descentralizado (não é necessário o bombeamento da água para sua distribuição). Além disso, os autores sugerem que esse sistema é simples e barato e pode ser construído com os materiais encontrados na própria comunidade.

Em relação aos materiais utilizados, Hoslett et al. (2018) sugerem que, atualmente, produzidos em laboratório (principalmente em países desenvolvidos) são difíceis de ser fabricados em nações em desenvolvimento devido à falta de tecnologia e expertise. Portanto, devem ser utilizados materiais acessíveis às comunidades de países em desenvolvimento.

Hoslett et al. (2018) também destacam a necessidade de se investir em tecnologias de tratamento viáveis economicamente e que são necessários trabalhos futuros que abordem estudos de caso com diferentes tecnologias. Além disso, os autores indicam que, levando em consideração as metas para o desenvolvimento sustentável das nações unidas, as pesquisas agora devem focar na produção de água potável nas nações em desenvolvimento.

As considerações feitas no estudo de Hoslett et al. (2018) são relevantes para o presente trabalho, uma vez que indicam sua importância. Nesse sentido, uma estudo que aborda a avaliação econômica de tecnologias de tratamento para comunidades (de pequeno porte) localizadas em países em desenvolvimento, considerando materiais de construção disponíveis no local, é considerada necessária.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida por Sabogal Paz (2007) foi utilizada como base para o cálculo dos custos de cada sistema de ETA com ETR analisado.

Para a avaliação econômica das estações de tratamento de água e das estações de tratamento dos resíduos foram consideradas as seguintes etapas: i) revisão da literatura; ii) definição do número de ETAs e ETRs avaliadas e suas características; iii) elaboração dos projetos básicos das ETAs e ETRs; iv) cálculo dos quantitativos de investimento e funcionamento; v) definição da metodologia para avaliar os custos; vi) desenvolvimento da ferramenta computacional em Excel para aplicação do modelo; e vii) validação e ajuste.

### 4.1 Revisão da literatura

Os critérios utilizados para calcular os dispêndios nas ETAs de filtração direta, considerando os resíduos gerados, foram baseados nas indicações de Sabogal Paz (2007). Outros documentos, posteriormente descritos, também foram consultados para orientar o cálculo e a discussão dos custos.

### 4.2 ETAs e ETRs avaliadas

As ETAs e ETRs analisadas foram as mostradas na Tabela 7. Como base, foram considerados 27 projetos de ETA+ETR previamente desenvolvidos por Sabogal Paz (2007). Esses projetos foram, então, modificados considerando os processos construtivos mostrados na última coluna da Tabela 7. Dessa forma, foram produzidos 63 novos desenhos. Todos os 90 projetos (originais e com novos métodos construtivos) foram avaliados economicamente. As tecnologias foram, então, nomeadas de acordo com os métodos construtivos analisados, como mostrado na Tabela 8. A Figura 25, a Figura 26 e a Figura 27 apresentam exemplos dos projetos (desenho em AutoCAD) desenvolvidos no presente trabalho.

Considerando-se um consumo diário de  $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e um coeficiente do dia de maior consumo  $K_1 = 1$ , calculou-se o número de habitantes que podem ser atendidos para cada uma das vazões analisadas (10, 20 e 40 L/s) a partir da Equação 3. Os valores encontrados estão mostrados na Tabela 9. Dessa forma, as vazões consideradas pretenderam abranger pequenas comunidades de até aproximadamente 20.000 habitantes.

$$Pop = \frac{86400 \cdot Q}{K_1 \cdot q} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

*Pop*: população atendida (hab);

*Q*: vazão de projeto (L/s);

*K*<sub>1</sub>: coeficiente do dia de maior consumo;

*q*: consumo de água diário per capita (200 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)

Tabela 7 – ETAs e ETRs avaliadas

Tipo	Sigla	Processos e operações	Vazões de projeto (L/s)	Processos construtivos
ETA	DF	MRHIM + FAP + FRD + DES + FLU	10, 20 e 40	Câmara de carga (quando presente), filtros e tanques de água filtrada em chapa de aço (original) e concreto (modificado)
	FDA	MRHIM + FAAG + DES + FLU		
	FDD	MRHIM + FRD + DES + FLU		
ETR	ETR1	TCA + DLD	10, 20 e 40	Leitos de drenagem em concreto (original) e alvenaria (modificado)
	ETR2	DLL		
	ETR3	TER		
<b>Número total de projetos</b>				<b>27 (existentes) + 63 (modificados) = 90 (total)</b>

DES: desinfecção com hipoclorito de sódio; DF: dupla filtração; DLD: desaguamento por leito de drenagem; DLL: desaguamento por lagoa de lodo; ETA: estação de tratamento de água; ETR: estação de tratamento de resíduos; ETR1: estação de tratamento de resíduos com leitos de drenagem; ETR2: estação de tratamento de resíduos com lagoas de lodo; ETR3: estação de tratamento de resíduos com tanque de regularização de vazão; FAAG: filtro rápido ascendente em areia grossa, a taxa constante; FAP: filtro rápido ascendente em pedregulho, a taxa constante; FDA: filtração direta ascendente; FDD: filtração direta descendente; FLU: fluoração com ácido fluossilícico; FRD: filtro rápido descendente em areia, a taxa constante; MRHIM: mistura rápida hidráulica com injetor e malha de fios; TCA: tanque de clarificação/adensamento por gravidade; TER: tanque de regularização de vazão. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Nomenclatura das tecnologias de acordo com os métodos construtivos empregados

Variações das tecnologias		Métodos construtivos empregados	
		ETA (DF, FDA e FDD)	ETR
0 (zero)	ETR1	Chapa de aço (original)	Concreto (original)
	ETR2	Chapa de aço (original)	Geotêxtil (original)
	ETR3	Chapa de aço (original)	Chapa de aço (original)
a	ETR1	Concreto (modificado)	Concreto (original)
	ETR2	Concreto (modificado)	Geotêxtil (original)
	ETR3	Concreto (modificado)	Chapa de aço (original)
b	ETR1	Chapa de aço (original)	Alvenaria (modificado)
c	ETR3	Chapa de aço (original)	Concreto (modificado)
d	ETR1	Concreto (modificado)	Alvenaria (modificado)
e	ETR3	Concreto (modificado)	Concreto (modificado)

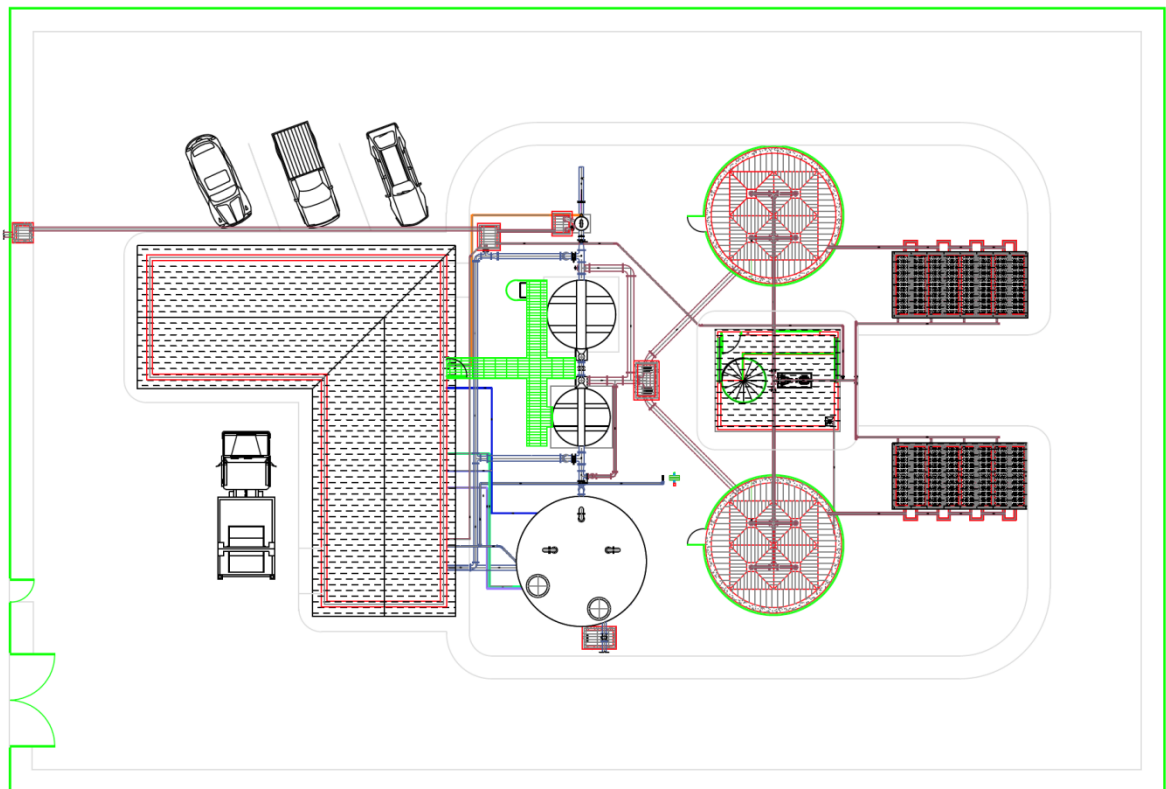
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 9 – População atendida para cada vazão analisada

Vazão (L/s)	População calculada (hab)	População aproximada (hab)
10	4320	5000
20	8640	10000
40	17280	20000

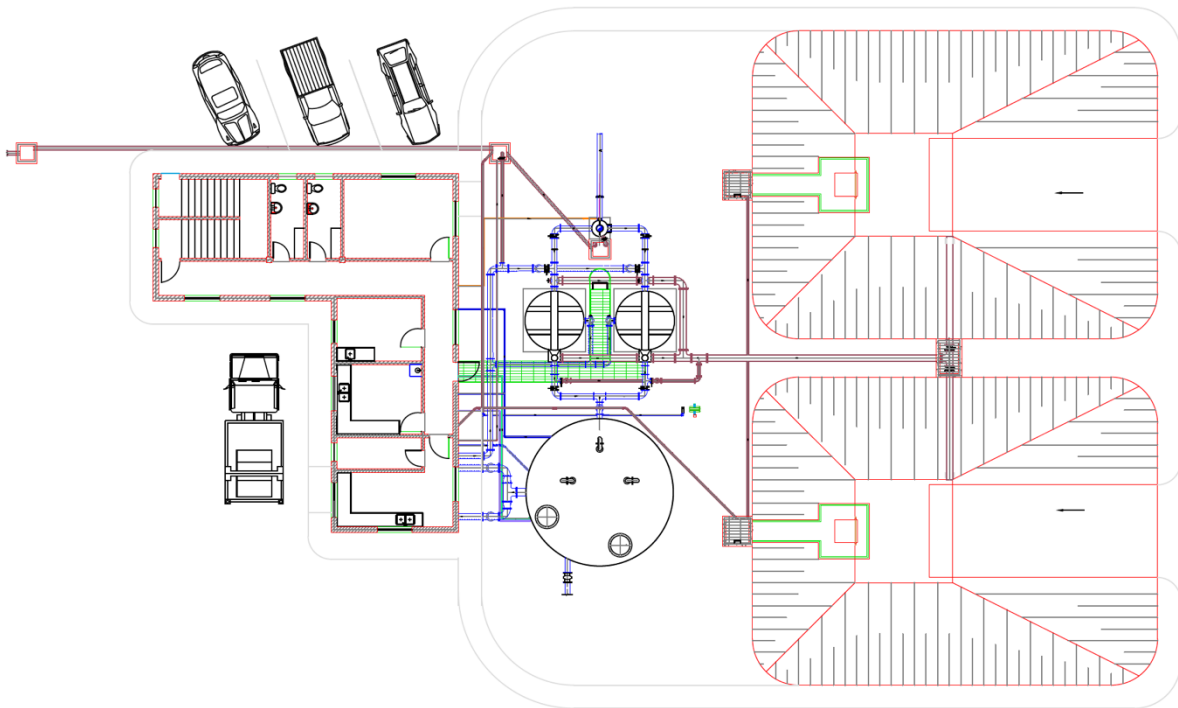
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 25 – Vista superior do projeto de uma ETA de DF com tratamento do resíduo por leitos de drenagem



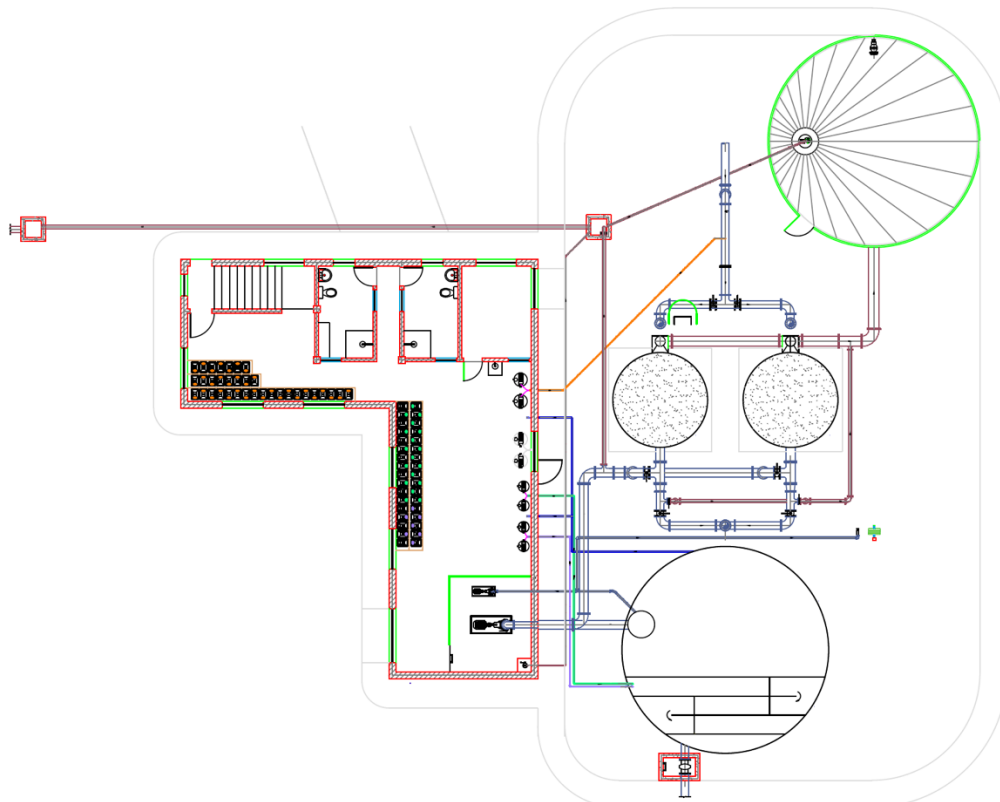
Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Figura 26 – Vista superior do projeto de uma ETA de FDA com tratamento do resíduo por lagoas de lodo



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Figura 27 – Vista superior do projeto de uma ETA de FDD com encaminhamento do resíduo a um tanque de regularização de vazão



Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).



A qualidade da água utilizada para a elaboração dos projetos originais encontra-se na Tabela 10. Foi considerada uma mesma qualidade para os projetos modificados. Para os projetos das ETAs de FDA e FDD, utilizou-se uma qualidade da água (água tipo 1) e, para os projetos das ETAs de DF, utilizou-se outra qualidade da água (água tipo 2). Dessa forma, considerou-se que, para a avaliação das tecnologias, a qualidade da água bruta a ser tratada nas ETAs está de acordo com esses parâmetros. Os critérios de projeto utilizados para o dimensionamento das ETAs de FDA, FDD e DF encontram-se na Tabela 11, na Tabela 12 e na Tabela 13, respectivamente.

Não foram feitas modificações no método construtivo das lagoas de lodo, uma vez eu considerou-se que o método construtivo originalmente utilizado por Sabogal Paz (2007), ou seja, lagoas de lodo revestidas por manta de geotêxtil, é o mais adequado.

Os tipos de disposição dos resíduos considerados foram: ETE para a ETR3 e disposição em ACII para a ETR1 e para a ETR2.

Tabela 10 – Qualidade da água considerada para os projetos das ETAs

Variáveis	Água tipo 1 (FDA e FDD)	Água tipo 2 (DF)
Turbidez (uT)	100% ≤ 25	100% ≤ 100
	95% ≤ 15	95% ≤ 50
	90% ≤ 10	90% ≤ 30
Cor verdadeira (uH)	100% ≤ 20	100% ≤ 20
	95% ≤ 15	95% ≤ 15
	90% ≤ 10	90% ≤ 10
Ferro total (mg/L)	100% ≤ 2	100% ≤ 5
	95% ≤ 1,5	95% ≤ 4
	90% ≤ 1	90% ≤ 2
Manganês total (mg/L)	100% ≤ 0,7	100% ≤ 1
	95% ≤ 0,5	95% ≤ 0,6
	90% ≤ 0,2	90% ≤ 0,3
Coliformes totais (NMP/100mL)	100% ≤ 2500	100% ≤ 5000
	95% ≤ 1500	95% ≤ 2500
	90% ≤ 1000	90% ≤ 1500
Escherichia coli (NMP/100mL)	100% ≤ 1000	100% ≤ 1500
	95% ≤ 750	95% ≤ 1000
	90% ≤ 500	90% ≤ 500

Fonte: adaptado de Sabogal Paz (2007).

Tabela 11 – Critérios de projeto das ETAs de FDA

<b>Critério de projeto (variável)</b>	<b>Valor (indicador)</b>
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarteste ( $s^{-1}$ )	1000
- Tempo de mistura obtido em jarteste (s)	10
<i>Filtro rápido ascendente em areia grossa</i>	
- Taxa média de filtração ( $m^3/m^2.s$ )	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2,0
- Meio filtrante	
espessura do meio filtrante (m)	1,9
tamanho dos grãos (mm)	0,59 a 2,0
tamanho efetivo - $D_{10}$ (mm)	0,84
coeficiente de desuniformidade - CD	1,68
- Camada suporte	
espessura da camada suporte (m)	0,7
número de subcamadas	7
tamanho dos grãos (mm)	2,4 a 38,0
- Número de filtros	1 (Q = 10 L/s) e 2 (Q = 20 e 40 L/s)
- Característica de operação dos filtros	Taxa constante

Fonte: Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

Tabela 12 – Critérios de projeto das ETAs de FDD

<b>Critério de projeto (variável)</b>	<b>Valor (indicador)</b>
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarteste ( $s^{-1}$ )	1000
- Tempo de mistura obtido em jarteste (s)	10
<i>Filtro rápido descendente em areia</i>	
- Taxa média de filtração ( $m^3/m^2.s$ )	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2,0
- Meio filtrante	
espessura do meio filtrante (m)	1,0
tamanho dos grãos (mm)	0,84 a 1,68
tamanho efetivo - $D_{10}$ (mm)	1,0
coeficiente de desuniformidade - CD	1,68
- Camada suporte	
espessura da camada suporte (m)	0,45
número de subcamadas	7
tamanho dos grãos (mm)	2,0 a 38,0
- Número de filtros	1 (Q = 10 L/s) e 2 (Q = 20 e 40 L/s)
- Característica de operação dos filtros	Taxa constante

Fonte: Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

Tabela 13 – Critérios de projeto das ETAs de DF

<b>Critério de projeto (variável)</b>	<b>Valor (indicador)</b>
<i>Mistura rápida</i>	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarteste ( $s^{-1}$ )	1000
- Tempo de mistura obtido em jarteste (s)	10
<i>Filtro rápido ascendente em pedregulho</i>	
- Taxa média de filtração ( $m^3/m^2.s$ )	120
- Carga hidráulica disponível (m)	1,0
- Taxa inicial de descarga na lavagem (m/min)	0,55
- Meio filtrante	
espessura do meio filtrante (m)	1,9
número de subcamadas	5
topo (m; mm)	0,6; 2,38 a 4,8
subcamada intermediária (m; mm)	0,3; 4,8 a 9,6
subcamada intermediária (m; mm)	0,2; 9,6 a 15,9
subcamada intermediária (m; mm)	0,1; 15,9 a 25,4
Fundo (m; mm)	0,1; 25,4 a 31,0
- Número de filtros	1 (Q = 10 L/s) e 2 (Q = 20 e 40 L/s)
- Característica de operação dos filtros	Taxa constante
<i>Filtro rápido descendente em areia</i>	
- Taxa média de filtração ( $m^3/m^2.s$ )	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2,0
- Meio filtrante	
espessura do meio filtrante (m)	0,6
tamanho dos grãos (mm)	0,3 a 1,41
tamanho efetivo - $D_{10}$ (mm)	0,42
coeficiente de desuniformidade - CD	1,7
- Camada suporte	
espessura do meio filtrante (m)	0,45
número de subcamadas	7
tamanho dos grãos (mm)	2,0 a 38,0
- Número de filtros	1 (Q = 10 L/s) e 2 (Q = 20 e 40 L/s)
- Característica de operação dos filtros	Taxa constante

Fonte: Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

### 4.3 Adequação dos projetos de ETAs e ETRs

Para a adequação dos projetos das ETAs de filtração direta e ETRs, foram tomados como base 27 projetos em AutoCAD desenvolvidos por Sabogal Paz (2007). Esses desenhos foram modificados considerando diferentes tipos construtivos, para comparação econômica entre os novos materiais e os originalmente utilizados.

A escolha dos tipos construtivos foi feita com base em materiais comumente acessíveis a pequenas comunidades e compatíveis com as tecnologias adotadas. Para o correto

dimensionamento das novas estruturas em escala de projeto básico, foram consultados profissionais da área (professores da área de engenharia hidráulica e de estruturas).

Cabe-se ressaltar que, para a avaliação econômica, foram avaliados os projetos básicos de ETA+ETR, e não os executivos. Além disso, tais projetos são conceituais e servem como orientação para a concepção de tecnologias de filtração direta com tratamento dos resíduos, embora alguns dos desenhos de Sabogal Paz (2007) tenham sido implantados em campo.

#### 4.4 Cálculo dos quantitativos

A partir dos desenhos em AutoCAD de todos os projetos de ETA+ETR analisados (mostrados na Tabela 7) e de seus memoriais descritivos, foram determinados os quantitativos de investimento inicial e operação. Não foi considerado nessa análise o projeto arquitetônico (como fachada dos edifícios), mas foi considerado o projeto estrutural (em escala de projeto básico). Os projetos hidro sanitários e elétricos foram considerados como uma porcentagem de 10% sobre o valor total da casa de química (local onde existem instalações hidro sanitárias e elétricas). Outras despesas (indiretas) foram consideradas como inclusas na taxa de BDI.

Na composição dos custos de investimento inicial foram avaliados: área requerida (valor do terreno); serviços preliminares (como limpeza do terreno, cercas, instalações provisórias, sondagem e locação da obra); caixas de passagem e de inspeção; calçadas; casa de química; câmara de carga; filtros; tanques de água filtrada; passarelas e parapeitos; tanques de clarificação/adensamento; casa de bombas; leitos de drenagem; lagoas de lodo; tanques de regularização de vazão; tubulações, conexões e válvulas; equipamentos, vidrarias e acessórios de laboratório; e outros equipamentos e acessórios das ETAs e ETRs.

Na composição dos custos de operação, por sua vez, foram avaliados: captação da água do manancial; limpeza das unidades e disposição final dos resíduos; produtos químicos; energia elétrica; pessoal para operação/administração; e ensaios de controle da qualidade da água.

Em relação aos métodos construtivos, foi considerado o uso de chapa de aço, alvenaria com bloco estrutural e concreto virado em obra com betoneira.

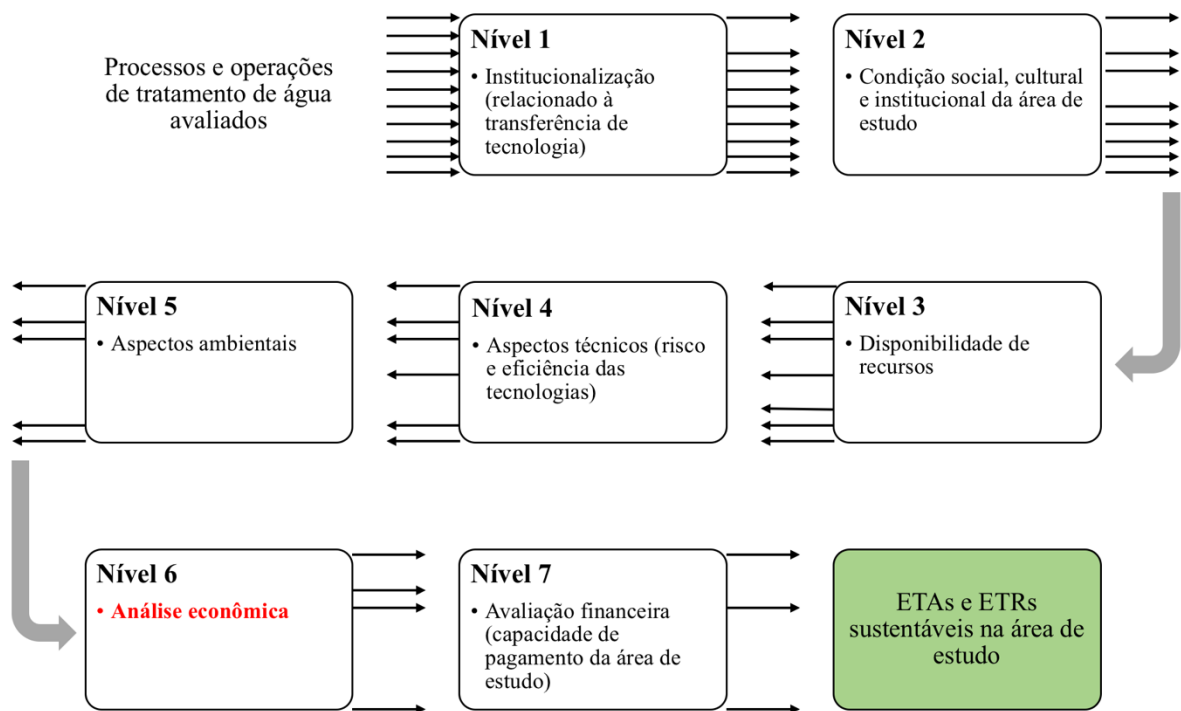
Para simplificação dos cálculos, foi considerada a construção das estações em terreno plano, firme, sem tendência à compressão e sem presença de rochas. Os equipamentos e acessórios utilizados foram os especificados nos projetos desenvolvidos por Sabogal Paz (2007).

## 4.5 Modelo conceitual de seleção

### 4.5.1 Análise econômica como uma parte da seleção de tecnologias

O modelo conceitual de seleção a ser adotado no projeto tem como base o proposto por Sabogal Paz (2007), mostrado na Figura 28. De acordo com esse modelo, cada nível de seleção elimina as tecnologias que não atendem às condições de sustentabilidade. Como o presente trabalho pretende avaliar as tecnologias de tratamento sob a perspectiva econômica, será analisado somente o Nível 6, indicado em vermelho na Figura 28. Dessa forma, considera-se que as opções analisadas no presente trabalho (sistemas de ETA+ETR) já foram aprovadas nos níveis de seleção anteriores.

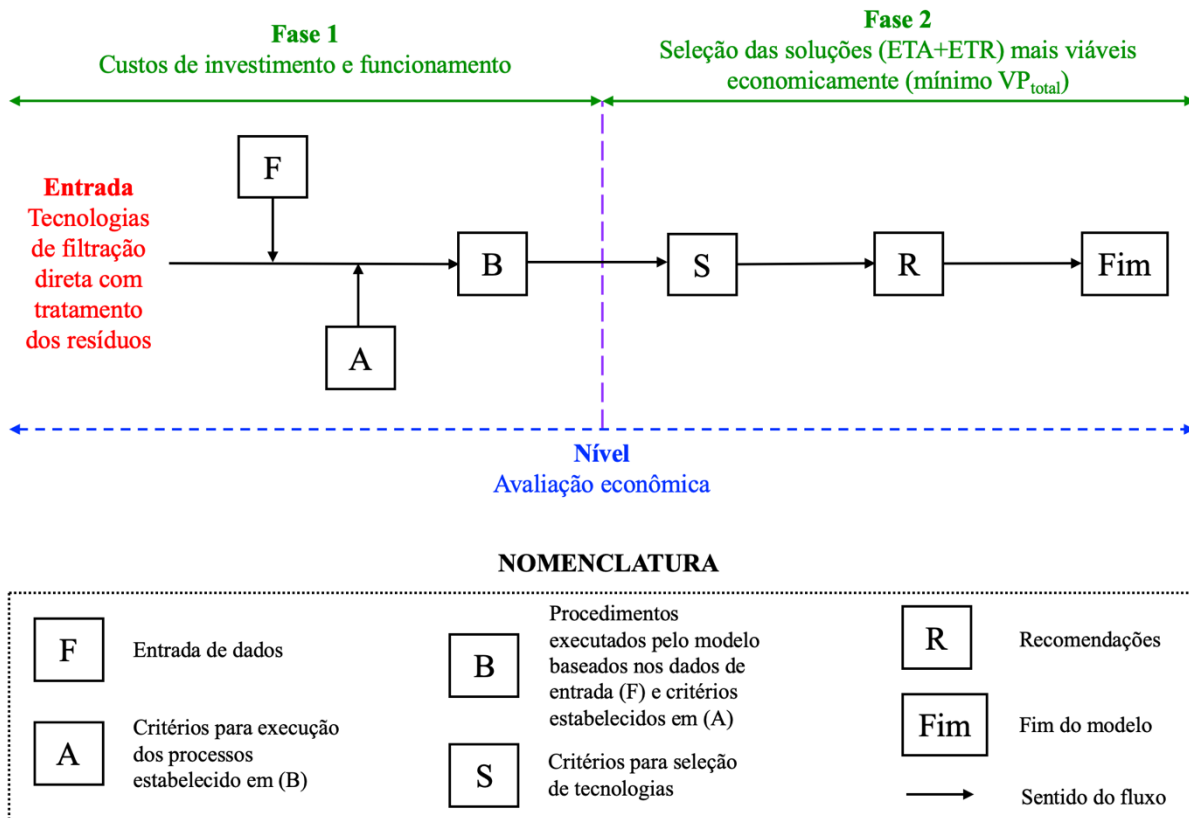
Figura 28 – Método de interação de fatores, variáveis e indicadores de seleção de tecnologias de tratamento de água, considerando os resíduos gerados no sistema



Fonte: adaptado de Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

O modelo proposto para o Nível 6 foi estruturado considerando os seguintes fatores: dados de entrada (F), critérios básicos (A), procedimentos (B) e seleções parciais (S), como mostrado na Figura 29.

Figura 29 – Esquema geral do Nível 6 do modelo conceitual de seleção



Fonte: adaptado de Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

Na Fase 1, os dados de entrada são dados fornecidos pelo usuário do modelo (como vazão de projeto, período de projeto, taxa de retorno, taxa de BDI, leis sociais, e custos unitários dos insumos e mão-de-obra). Os critérios básicos, por sua vez, referem-se aos modelos de quantitativos (explicados no item 4.5.2) utilizados para o cálculo dos custos de cada componente dos sistemas ETA+ETR. Os procedimentos correspondem aos cálculos do modelo (explicados no item 4.5.4) e são executados segundo os dados de entrada e os critérios básicos.

Na Fase 2, a partir dos procedimentos, as seleções parciais indicam as alternativas econômicas mais favoráveis. Nessa fase também são feitas recomendações para o usuário do modelo.

#### 4.5.2 Modelos de quantitativos

Os modelos de quantitativos são funções matemáticas (em geral do tipo polinomial de segundo grau) que relacionam a vazão de projeto da ETA com a quantidade de cada item de

construção ou operação. A partir dos cálculos dos quantitativos dos sistemas ETA+ETR para vazões de 10, 20 e 40 L/s, foram elaborados gráficos de valor do quantitativo versus vazão. Em seguida, foi escolhida a curva que melhor se ajusta aos pontos (linha de tendência com valor de  $R^2$  próximo de 1). A equação dessa curva é o modelo do quantitativo.

Uma vez fornecida a vazão de projeto da ETA pelo usuário, é possível determinar o valor do quantitativo correspondente. Esse valor, por sua vez, ao ser multiplicado pelo custo unitário do quantitativo, fornece o custo do quantitativo para a vazão de projeto considerada.

#### 4.5.3 Custos unitários

Os custos unitários foram obtidos a partir da base de dados do SINAPI (CAIXA, 2019), tendo como data base janeiro de 2019. Também foram utilizados custos orçados por Sabogal Paz (2007) em empresas especializadas, atualizados para janeiro de 2019 utilizando o índice de correção IGP-M (BCB, 2019a).

A base de dados do SINAPI (CAIXA, 2019) foi escolhida uma vez que é gratuita (todos os usuários podem ter acesso, facilitando e universalizando a utilização do modelo de seleção), por ela ser atualizada periodicamente e por possuir tabelas de custos unitários para todos os estados brasileiros. Além disso, o artigo 31 da Lei nº. 13.303/16 (BRASIL, 2016) indica o SINAPI como sendo a referência de custo para orçamentos de obras da construção civil. Dessa forma, o SINAPI é o balizador de custos para serviços contratados com recursos do Orçamento Geral da União (OGU). Ou seja, a base de dados é usada para aprovação de financiamentos de projetos de saneamento para operadoras que usarão recursos governamentais (CAIXA, 2018b).

No presente trabalho foram utilizados, como padrão, os dados de custos unitários para o Estado de São Paulo, mas o usuário pode consultar as tabelas de custo específicas do seu estado e modificar os dados de entrada do modelo.

No modelo também foi considerada a taxa de BDI (multiplicada ao valor final dos custos de investimento). Para o cálculo do custo da mão-de-obra, também foi considerado um acréscimo percentual para contemplar os custos com leis sociais. A taxa de BDI foi retirada do Tribunal de Contas da União – TCU (2013) e pode ser consultada no Anexo B. A porcentagem relativa às leis sociais foi retirada da CAIXA (2018a), sendo usado o valor em vigor a partir de outubro de 2018, e pode ser consultada no Anexo A.

#### 4.5.4 Determinação da alternativa mais viável economicamente

As principais etapas utilizadas na metodologia a fim de se obter a seleção da alternativa mais favorável economicamente estão mostradas na Figura 30. Para determinação do custo de cada sistema ETA+ETR, foi feito o cálculo do seu respectivo valor presente, a partir das Equações 1 e 2. O fluxo de caixa utilizado para essa análise foi o mostrado na Figura 5.

O valor da taxa de retorno (ou taxa de juros), fornecida pelo usuário, deve representar da melhor forma a remuneração dos investimentos em abastecimento de água por tarifas. Como padrão, utilizou-se no modelo de seleção uma taxa de retorno hipotética de 12% ao ano (valor histórico no setor). No entanto, o usuário pode utilizar outra taxa de retorno desejada (geralmente dada pela agência regulatória competente em cada área de estudo). Como exemplo, a ARSESP (estado de São Paulo) tem, atualmente, uma taxa de retorno fixada em 8,11% para o setor de saneamento (ARSESP, 2018).

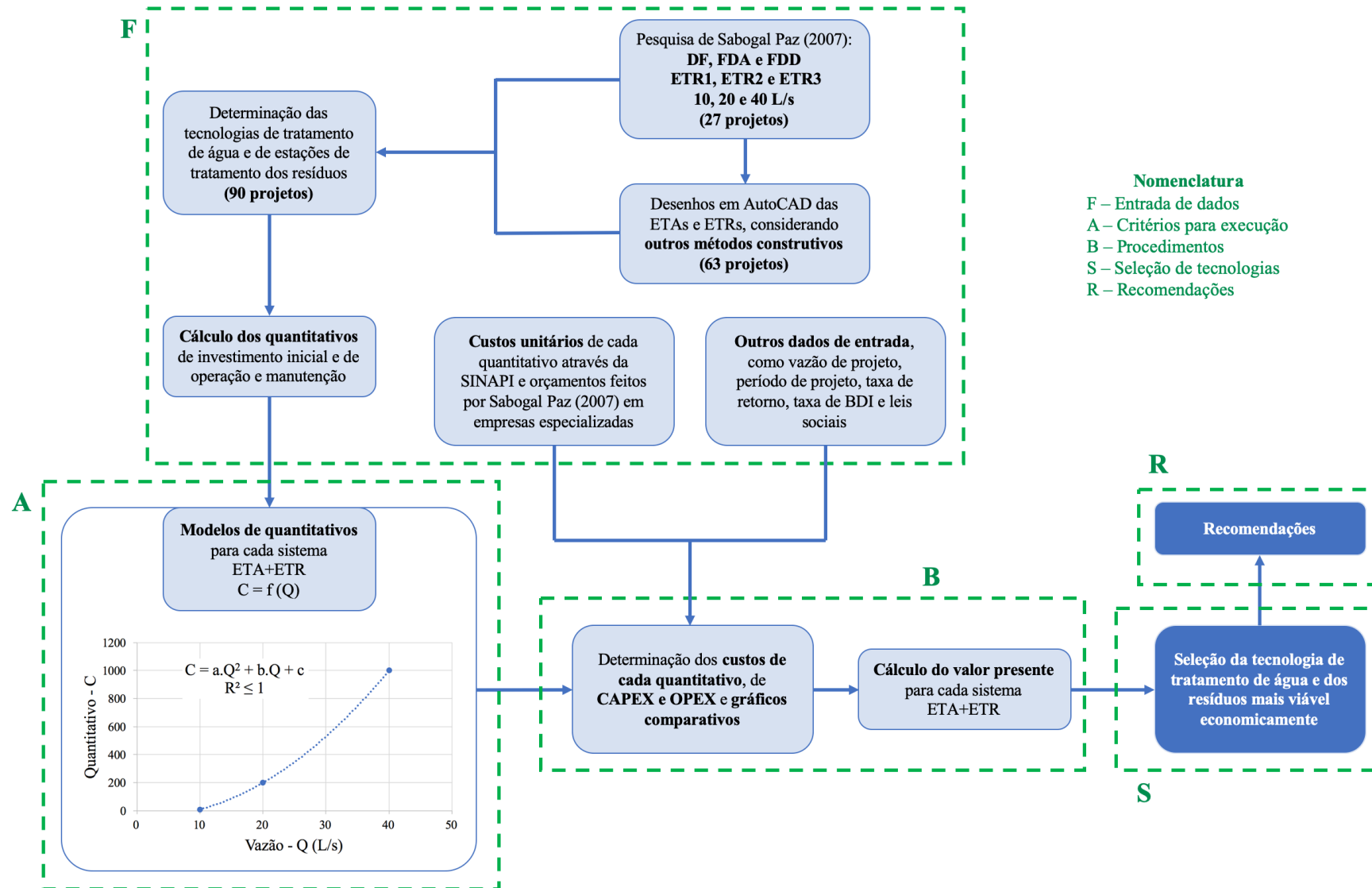
Para o cálculo do valor presente total foi considerado, conforme as recomendações de Sabogal Paz (2010), que os custos de operação e administração são periódicos e constantes no tempo. Dessa forma, foram utilizadas as Equações 1 e 2 para o cálculo do VP. Nesse sentido, a alternativa mais favorável economicamente é a que apresenta o menor valor presente total.

Cabe-se ressaltar que o uso de um fluxo de caixa onde os custos de funcionamento são periódicos e constantes ao longo do tempo é uma boa aproximação de um modelo com alta complexidade. Embora o que ocorra na prática é um aumento gradual dos desembolsos com funcionamento, faltam dados ou estudos sobre gradientes que expressem tal aumento. Dessa forma, a utilização de um fluxo de caixa compatível com este cenário é inviabilizada.

Nesse sentido, o uso do valor presente também é vantajoso, uma vez que, ao transportar os custos periódicos para o instante considerado inicial, são neutralizados os efeitos temporais.



Figura 30 – Fluxograma das principais etapas envolvidas na metodologia, considerando a mesma estrutura mostrada na Figura 29



Fonte: adaptado de Sabogal Paz et al. (2015).

#### 4.5.5 Restrições do modelo

Neste trabalho não foram avaliados: dispêndios com financiamento, tarifas (capacidade e a disponibilidade de pagamento da população), depreciação, desembolsos com investimentos futuros e com manutenção (reposição de peças e equipamentos, por exemplo).

#### 4.6 Desenvolvimento da ferramenta computacional

Após a estruturação do modelo conceitual de seleção, foi desenvolvida uma ferramenta computacional em Excel para sua implantação. Essa ferramenta tem como dados de entrada (que podem ser alterados pelo usuário) a vazão de projeto da ETA (que deve ser entre 10 e 40 L/s), o período de projeto, a taxa de juros (ou de retorno), a taxa de BDI, as leis sociais e os custos unitários dos insumos e mão-de-obra. Os dados de saída, por sua vez, são gráficos e tabelas que indicam o orçamento (em relação ao valor presente) de todas as combinações de ETA+ETR analisadas, de forma compatível com os dados de entrada. A partir desses resultados, o usuário pode selecionar a tecnologia mais adequada para seu projeto.

#### 4.7 Validação do modelo

Após o desenvolvimento do modelo conceitual de seleção e da ferramenta computacional, foram feitas nove simulações com a rotina de cálculo (combinação de três valores de vazão – 10, 20 e 40 L/s – e três períodos de projeto – 10, 20 e 30 anos) para análise dos resultados. Para a validação do modelo e da ferramenta computacional, os resultados obtidos pelo modelo foram, então, comparados com os custos calculados para cada um dos projetos analisados. Para isso, foram comparados os VPs das tecnologias analisadas obtidos a partir do modelo e a partir do cálculo direto. Dessa forma, foram calculados os erros relativos do modelo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se a metodologia proposta, foi desenvolvido um modelo conceitual de seleção e uma ferramenta computacional em Excel para permitir a escolha da tecnologia mais viável economicamente de tratamento de água por filtração direta e do tratamento para os resíduos gerados na ETA.

### 5.1 Adequação dos projetos de ETAs e ETRs

As adequações dos projetos de ETA+ETR considerando novos métodos construtivos, além dos projetos originais tomados como base, encontram-se no Apêndice A (disponível somente em meio eletrônico devido ao número muito grande de páginas, uma vez que se tratam de 90 projetos com aproximadamente 6 folhas tamanho A3 cada). Os apêndices disponíveis somente em meio eletrônico podem ser consultados, para a versão impressa, no DVD afixado na contracapa, ao final do trabalho. Para a versão digital do trabalho, tais apêndices encontram-se ao final do documento (após o Anexo C). A ferramenta computacional (Apêndice F) encontra-se apenas no DVD.

### 5.2 Cálculo dos quantitativos

Os quantitativos considerados na análise econômica encontram-se no Apêndice B. Os quantitativos foram agrupados segundo seus respectivos processos unitários. Os processos unitários (e demais categorias de importância), foram também divididos em: investimento inicial e funcionamento, como mostrado na Figura 31.

Dentre os quantitativos medidos, destacam-se: concreto, forma, armadura, chapa de aço, escavação, meio filtrante, alvenaria, fechamentos e divisórias, coberturas, enquadriarías, revestimentos primários e de superfície, forros, pisos, pintura, escadas, guarda-corpos, tubulações (de ferro fundido, aço galvanizado, PVC, entre outros), conexões, entre outros.

Os valores de cada quantitativo medido encontram-se no Apêndice C (também disponível somente em meio eletrônico devido ao número elevado de dados).

Figura 31 – Agrupamento dos processos unitários (e demais categorias de importância) segundo investimento inicial e funcionamento

<b>Investimento Inicial</b>	<b>Funcionamento</b>
1. Área requerida	1. Água captada pela ETA
2. Serviços iniciais	2. Operação da ETR
3. Caixas de passagem e de inspeção	3. Produtos químicos
4. Calçadas	4. Energia elétrica
5. Casa de química da ETA	5. Pessoal para operação e administração
6. Câmara de carga (para DF e FDA)	6. Controle de qualidade da água – laboratório externo
7. Filtros rápidos ascendentes (para FDA)	
8. Filtros rápidos ascendentes em pedregulho (para DF)	
9. Filtros rápidos descendentes (para DF e FDD)	
10. Passarela	
11. Tanque de água filtrada e câmara de contato	
12. Tanques de clarificação/adensamento (para ETR1)	
13. Casa de bombas (para ETR1)	
14. Leitões de drenagem (para ETR1)	
15. Lagoas de lodo (para ETR2)	
16. Tanque de regularização de vazão (para ETR3)	
17. Tubulações, conexões e válvulas da ETA	
18. Tubulações, conexões e válvulas da ETR	
19. Equipamentos de laboratório	
20. Vidraria e acessórios de laboratório	
21. Outros equipamentos e acessórios	

Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.3 Modelos de quantitativos

Os modelos de quantitativos, gerados a partir das linhas de tendência que apresentavam o melhor ajuste aos dados dos gráficos de vazão versus valores dos quantitativos, encontram-se no Apêndice D (devido ao elevado número de dados, disponível somente em meio eletrônico).

### 5.4 Ferramenta computacional

Após a determinação dos modelos de quantitativos, foi desenvolvida uma ferramenta computacional em Microsoft Excel para determinar os custos de cada projeto de ETA+ETR analisado (30 alternativas) para alguns dados de entrada fornecidos pelo usuário.

#### 5.4.1 Estrutura da ferramenta computacional

A planilha é dividida em diferentes abas, que seguem o andamento da metodologia proposta neste trabalho. As abas utilizadas, de acordo com sua ordem na planilha, foram:

- Info;
- Dados (F);
- Quantitativos (A);
- Custos (B1);
- Resumo (B2);
- Gráficos (B3);
- Gráficos (B4);
- Gráficos (B5);
- Seleção (S);
- Análise (R);

As letras utilizadas entre parênteses nos nomes das abas pretendem remeter ao diagrama de blocos utilizado no método proposto, como mostrado na Figura 29.

Todas as abas possuem um botão “Voltar ao topo” para que o usuário possa voltar ao início da aba mais rapidamente. As abas intermediárias possuem os botões “Retornar” (que direciona o usuário para a aba anterior) e “Avançar” (que direciona o usuário para a aba seguinte) (mostrados no topo da aba). A primeira aba possui somente o botão “Início” (mostrado ao final da aba) que é análogo ao botão “Avançar”. A última aba possui o botão “Retornar” e o botão “Voltar ao início” (mostrado ao final da aba), que direciona o usuário à aba “Info”. Ao entrar dados inválidos, também são mostradas mensagens de erro em células adjacentes e em janelas de erro (que aparecem na tela). Além disso, foram adicionados botões para que o usuário acesse os sites mostrados no programa.

A primeira aba da planilha (“Info”) apresenta uma introdução ao programa, como nome do programa, finalidade, desenvolvedores e informações acerca das tecnologias avaliadas (tipo de tecnologia, combinações e nomenclatura). A aba “Info” está ilustrada na Figura 32 e na Figura 33, onde são apresentadas imagens da tela do programa em execução

A aba seguinte, “Dados (F)”, apresenta os dados de entrada do programa. A aba “Dados (F)” está ilustrada da Figura 34 à Figura 37. Primeiramente são apresentadas as considerações iniciais do programa e seus respectivos valores adotados como padrão, como mostrado na Tabela 14. Esses valores podem ser alterados pelo usuário, desde que alguns critérios sejam atendidos, como o uso da vazão de projeto entre 10 e 40 L/s e o uso de valores não negativos de período de projeto. Caso o usuário entre com valores que não atendem a tais critérios, são exibidas mensagens de erro, como mostrado na Figura 35.

Tabela 14 – Considerações iniciais do programa e respectivos valores adotados como padrão

Vazão de projeto da ETA (L/s) <sup>(1)</sup>	10,00
Período de projeto (anos)	10
Taxa de juros ou de retorno (% a.a)	12,00%
Taxa de benefícios e despesas indiretas - taxa de BDI (%) <sup>(2)</sup>	24,18%
Leis sociais e riscos de trabalho para horistas (%) <sup>(3)</sup>	115,79%
Taxa representativa do dólar (R\$) <sup>(4)</sup>	R\$ 3,74
Data base dos preços unitários indicados no modelo	01/2019
Data em que está sendo realizada a avaliação econômica	01/2019

<sup>(1)</sup> A vazão deve estar entre 10 e 40 L/s (ou seja,  $10 \leq Q \leq 40$  L/s); <sup>(2)</sup> Fonte: TCU (2013); <sup>(3)</sup> Fonte: CAIXA (2018a); <sup>(4)</sup> Fonte: DólarHoje (2019). A cotação do dólar deve ser atualizada de acordo com a data em que se está realizando a avaliação econômica.

Fonte: elaborado pelo autor.

Nenhum dado deve ser deixado em branco. A vazão adotada deve estar entre 10 e 40 L/s, ou seja,  $10 \leq Q \leq 40$  L/s. Como padrão foi adotada a vazão mínima possível (10 L/s). Todos os outros parâmetros mostrados na Tabela 14 devem ser maiores que zero. As datas também devem ser válidas.

É recomendado que, para a escolha do período de projeto, o usuário tome como referência as vidas úteis dos ativos, dadas pelas agências reguladoras de cada região. Dessa forma, recomenda-se que o usuário consulte a base de remuneração regulatória da sua região. Na ferramenta computacional, a única restrição imposta é que esse valor seja positivo.

Chung et al. (2008), Clark e Morand (1981a), Clark e Morand (1981b), Hutton (2012) e Gupta e Shrivastava (2010) utilizaram em seus estudos um período de projeto para ETAs de 20 anos. Já Vince et al. (2008) consideraram um período de projeto de 25 anos. Kumar, Groth e Vlacic (2015), por sua vez, consideraram um período de projeto de 10 anos para filtração por membrana. Como padrão foi adotado um período de projeto hipotético (e configurável pelo usuário) de 10 anos. Para as análises de diferentes cenários, utilizou-se períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos.

Segundo dados históricos, verificou-se que a taxa de retorno de 12% ao ano já foi utilizada por diversas companhias de saneamento no Brasil no passado (BRASIL, 2014; TEIXEIRA; HELLER, 2003). Em seus estudo, Teixeira e Heller (2003) e Sabogal Paz et al. (2015) utilizaram essa taxa de 12% ao ano. Já Gupta e Shrivastava (2010) utilizaram uma taxa de juros de 10% ao ano para o cálculo dos custos de funcionamento em ETAs de ciclo completo. Atualmente, a taxa de retorno é dada pelas agências reguladoras competentes em cada localidade. Como essa taxa varia de região para região, foi adotado como padrão o valor hipotético (e configurável pelo usuário) de 12% ao ano no presente trabalho. No entanto, recomenda-se que o usuário utilize a taxa dada pela agência reguladora competente na sua

área de estudo. Como exemplo, a ARSESP (no estado de São Paulo) considera uma taxa de retorno de 8,11%.

A taxa de BDI foi adotada como 24,18%, de acordo com o valor mostrado em TCU (2013). Essa referência está inclusa no programa, caso o usuário queira acessá-la, e a tabela de referência utilizada encontra-se no Anexo B deste trabalho. Para fins comparativos, Clark (1982) adotou um valor de aproximadamente 30% para a taxa de BDI.

As leis sociais e risco de trabalho para horistas foi adotada de acordo com o valor mostrado em CAIXA (2018a). Essa referência também está inclusa no programa e seu cálculo encontra-se no Anexo A.

A taxa representativa do dólar foi tomada como a cotação média do dólar para o mês de janeiro de 2019 (DÓLARHOJE, 2019), como mostrado no Anexo C. A referência utilizada para a cotação do dólar está inclusa no programa para consultas futuras pelo usuário. Esse valor deve ser atualizado pelo usuário de acordo com a cotação do dólar na data em que está sendo realizada a avaliação econômica.

A data base dos preços unitários indicados no modelo foi janeiro de 2019. A data em que se está sendo realizada a avaliação econômica deve ser atualizada pelo usuário e essa data irá influenciar a atualização dos preços unitários em relação ao tempo. Todas as considerações utilizadas pelo usuário devem ser compatíveis e refletir as condições do projeto em que está trabalhando.

Após as considerações iniciais do programa, o usuário deve escolher o tipo de reajuste dos preços unitários, como mostrado na Tabela 15. A primeira opção (escolhida como padrão), envolve a atualização manual de todos os preços unitários. A segunda opção envolve o uso de um índice de correção (IGP-M) para atualização de todos os preços unitários. A terceira opção mescla as das primeiras opções. Os preços unitários retirados do SINAPI devem ser ajustados manualmente e os preços unitários orçados (sem ser pelo SINAPI) são ajustados utilizando o índice de correção IGP-M (FGV).

O usuário só pode escolher uma das opções e todas as contas do programa são ajustadas automaticamente com a seleção da opção desejada. O programa inclui um link para o usuário acessar o site para determinação do índice IGP-M (FGV) (BANCO CNTRAL DO BRASIL – BCB, 2019a). O índice somente deverá ser determinado caso a opção 2 ou a opção 3 tenha sido escolhida. Para a opção 1, o índice de correção deverá ser igual a 1. Caso o usuário entre com um valor inválido, são exibidas mensagens de erro, como mostrado na Figura 37.

Para o cálculo do índice, o usuário deve entrar no site do Banco Central do Brasil – BCB (2019a) a data inicial (que deve ser igual à data base dos preços unitários indicados no modelo, ou seja, janeiro de 2019), a data final (que deve ser igual à data em que está sendo realizada a avaliação econômica) e um valor a ser ajustado (que pode ser qualquer valor, por exemplo R\$1,00). Ainda no site do BCB, após o usuário inserir tais dados, deve então clicar em “corrigir valor”. O índice IGP-M (FGV) será, então, igual ao “índice de correção no período”. Se o usuário escolher a opção 2 ou a opção 3 para reajuste dos valores, o índice calculado deve ser copiado do site do BCB e colado na célula devidamente indicada na planilha.

Após a escolha do tipo de reajuste desejado e inserção (caso necessário) do índice de correção, o usuário deve escolher o tipo de coagulante desejado para a etapa de coagulação. As opções são as mostradas na Tabela 16. O usuário pode selecionar apenas uma opção e os cálculos são ajustadas automaticamente com a seleção da opção desejada.

Tabela 15 – Tipos de reajuste dos preços unitários (como padrão optou-se pela opção 1)

1. Atualizar manualmente (um a um) todos os preços unitários, utilizando valores atualizados do SINAPI, consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas
2. Utilizar para todos os preços unitários o índice de correção IGP-M (FGV) (BCB, 2019a). Nesse caso, para se obter o índice de correção no período desejado, a data inicial deve ser a data base dos preços unitários indicados no modelo, e a data final deve ser a data em que está sendo realizada a avaliação econômica
3. Utilizar somente para os preços unitários obtidos por consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas o índice de correção IGP-M (FGV) (BCB, 2019a). Para os demais preços unitários, inserir manualmente (um a um) os preços unitários atualizados referentes às tabelas de composições e insumos do SINAPI (2018a)
Caso se opte pela opção 2 ou pela opção 3, o usuário deve indicar o índice utilizado para reajuste dos preços unitários, utilizando o índice de correção IGP-M (FGV) (BCB, 2019a)

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 16 – Tipo de coagulante considerado

1. Sulfato de alumínio
2. Cloreto férrico

Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, são apresentados os quantitativos utilizados na análise econômica e seus respectivos preços unitários (e unidades de referência). Esses quantitativos são apresentados em três diferentes tabelas, de acordo com a origem dos preços unitários. A primeira tabela apresenta os quantitativos cujos custos foram extraídos das tabelas de composições do



SINAPI. A segunda tabela apresenta os quantitativos cujos custos foram extraídos das tabelas de insumos do SINAPI. Também foram inclusos links para o usuário acessar a base de dados do SINAPI (CAIXA, 2019) e atualizar os dados, caso o usuário deseje. Por fim, a terceira tabela apresenta os quantitativos cujos custos foram extraídos de orçamentos feitos por Sabogal Paz (2007) em empresas/lojas especializadas e consulta a peritos – os custos foram atualizados para janeiro de 2019, usando o índice de correção IGP-M (BCB, 2019a).

Os preços unitários utilizados no modelo como padrão (preços relativos a janeiro de 2019), encontram-se no Apêndice E. Caso o usuário queira alterar o preço unitário de algum quantitativo, o valor utilizado deve ser maior que zero.

A aba seguinte, “Quantitativos (A)”, apresenta os valores de todos os quantitativos analisados, agrupados segundo seus respectivos processos unitários (e demais categorias de importância). Esses valores são calculados substituindo o valor da vazão de projeto inserida pelo usuário na aba “Dados (F)” nos modelos de quantitativos (equações matemáticas) determinados neste trabalho. Esses cálculos também consideram o tipo de coagulante desejado pelo usuário. As equações dos quantitativos não são apresentadas explicitamente no programa, mas podem ser consultadas no Apêndice D deste trabalho. A aba “Quantitativos (A)” está ilustrada na Figura 38.

A aba “Custos (B1)” apresenta os custos de todos os quantitativos analisados, agrupados segundo seus respectivos processos unitários (e demais categorias de importância), como mostrado na Figura 31. Os custos são calculados multiplicando os valores dos quantitativos (mostrados na aba “Quantitativos (A)”) por seus respectivos preços unitários (inseridos na aba “Dados (F)”). Esses cálculos consideram os reajustes dos preços unitários de acordo com o tipo de reajuste escolhido pelo usuário e com o índice de correção IGP-M inserido pelo usuário. A aba “Custos (B1)” está ilustrada na Figura 39.

A aba “Resumo (B2)” apresenta os custos de cada um dos processos unitários (e demais categorias de importância) mostrados na Figura 31. Os cálculos também consideram um aumento de 10% ao custo da casa de química para contabilizar os gastos com instalações elétricas e hidrossanitárias. Segundo a empresa de representação, consultoria e acessoria PREMONTA (2015), as instalações elétricas custam, em média, 6 a 9% do custo total para construção de edifícios. Ainda segundo PREMONTA (2015), as instalações hidráulicas custam também entre 6 e 9% do custo total para construção de edifícios. No entanto, foi adotado o valor de 10% pelo fato da casa de química possuir projetos hidrossanitários e elétricos mais simples em relação a um edifício.

Nessa aba também são apresentados os custos de investimento inicial e de funcionamento da ETA, da ETR e total (considerando a taxa de BDI e a taxa relativa às leis sociais indicadas na aba “Dados (F)”). A aba “Resumo (B2)” está ilustrada na Figura 40.

As três próximas abas apresentam gráficos comparativos das alternativas analisadas, a partir dos cálculos realizados até então. A aba “Gráficos (B3)” apresenta, para cada processo unitário (e demais categorias de importância), seus custos para cada uma das 30 alternativas analisadas. Devido ao grande número de gráficos, no início dessa planilha foi colocada uma caixa de seleção para o usuário escolha o gráfico que deseja visualizar. Dessa forma, o usuário é direcionado para a localização do gráfico desejado. A aba “Gráficos (B3)” está ilustrada na Figura 41.

A aba “Gráficos (B4)” apresenta, para cada uma das 30 alternativas analisadas, os custos com cada item de investimento inicial. Nessa aba, o usuário seleciona o gráfico da alternativa de ETA+ETR que deseja visualizar. Nesse sentido, é mostrado apenas o gráfico desejado, uma vez que o gráfico é atualizado de acordo com a alternativa escolhida pelo usuário. A aba “Gráficos (B4)” está ilustrada na Figura 42.

A aba “Gráficos (B5)” possui basicamente a mesma estrutura que a aba “Gráficos (B4)”, mas, ao invés de mostrar gráficos relativos aos itens de investimento inicial, mostra os relativos aos itens de funcionamento. A aba “Gráficos (B5)” está ilustrada na Figura 43.

A aba “Seleção (S)” apresenta um resumo dos custos de investimento inicial e de funcionamento (totais e referentes à ETA e à ETR) para cada alternativa analisada. Nessa aba também são realizados os cálculos de valor presente (total, da ETA e da ETR). O valor presente total também é apresentado em dólares. Para os cálculos de valor presente, o programa considera os dados de período de projeto e de taxa de juros consideradas pelo usuário na aba “Dados (F)” e as Equações 1 e 2.

A aba também apresenta uma tabela com um resumo mostrando os principais resultados do modelo, como tecnologia de ETA+ETR mais viável economicamente, valor presente da ETA e da ETE correspondentes e valor presente total da alternativa (em reais e em dólares). Para o cálculo dos custos em dólares, é utilizada a cotação do dólar (em relação ao real) considerada pelo usuário na aba “Dados (F)”.

A aba apresenta, ainda, três gráficos que comparam os custos de investimento inicial, funcionamento e valor presente de cada alternativa analisada. O usuário pode selecionar no topo da aba o gráfico que deseja visualizar e, com isso, é direcionado para a localização do gráfico desejado. A aba “Seleção (S)” está ilustrada na Figura 44 e na Figura 45.

A última aba da planilha, “Análise (R)”, apresenta algumas análises dos resultados da ferramenta computacional e também algumas recomendações ao usuário. Em relação às análises, são apresentados os materiais (quantitativos) com maior custo para cada item (processo unitário e outras categorias de interesse), considerando todas as 30 alternativas de ETA+ETR analisadas. Também são apresentados os itens (processo unitário e outras categorias de interesse) com maior custo para todas as alternativas avaliadas.

Já em relação às recomendações, são apresentadas quais as etapas que devem ser realizadas antes e depois da utilização da ferramenta computacional (como análise social, ambiental e financeira, tal como mostrado na Figura 28). Nas recomendações também são apresentadas algumas limitações das tecnologias analisadas pela ferramenta computacional.

A ferramenta computacional, intitulada “DirectFiltrationCost”, encontra-se no Apêndice F (disponível somente em meio eletrônico). A ferramenta também está, atualmente, em processo de registro junto à Agência USP de Inovação.

A extensão utilizada no programa é a “.xlsx”, portanto o computador do usuário deve suportar tal formato para abrir o arquivo. Por exemplo, o arquivo é suportado em versões de Microsoft Excel 2010 ou mais recentes.



Figura 33 – Ilustração da aba "Info" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando informações sobre as tecnologias avaliadas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	<b>Programa DirectFiltrationCost</b>											
2	<b>Programa Desenvolvido para Avaliação Preliminar de Custos em Estações de Tratamento de Água (ETAs) por Filtração Direta (Dupla Filtração, Filtração Direta Ascendente e Filtração Direta Descendente) Considerando Diferentes Métodos Construtivos e Tratamentos dos Resíduos Gerados nas ETAs</b>											
3	Autores: Raquel de Castro Rodrigues Lima e Lyda Patricia Sabogal Paz											
4	Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - EESC/USP											
5	Os autores não se fazem responsáveis por eventuais erros associados ao uso do programa											
6	<b>Informações - Tecnologias Avaliadas</b>											
7	<b>Voltar ao topo</b>											
68		FDA	ETR1	e	Filtração direta ascendente	Leitos de drenagem	Chapa de aço	Concreto				
69				0			Chapa de aço	Concreto				
70				a			Concreto	Concreto				
71			b	Chapa de aço		Alvenaria						
72			d	Concreto		Alvenaria						
73			0	Chapa de aço		Geotêxtil						
74		a	Concreto	Geotêxtil								
75		ETR2	0	Lagoas de lodo	Chapa de aço	Chapa de aço						
76			a		Concreto	Chapa de aço						
77			c		Chapa de aço	Concreto						
78		ETR3	e	Tanque misturador + envio à ETE	Concreto	Concreto						
79			0		Chapa de aço	Concreto						
80			a		Concreto	Concreto						
81		ETR1	b	Leitos de drenagem	Chapa de aço	Alvenaria						
82			d		Concreto	Alvenaria						
83	0		Chapa de aço		Geotêxtil							
84	ETR2	a	Lagoas de lodo	Concreto	Geotêxtil							
85		0		Chapa de aço	Chapa de aço							
86		a		Concreto	Chapa de aço							
87	ETR3	c	Tanque misturador + envio à ETE	Chapa de aço	Concreto							
88		e		Concreto	Concreto							
89		0		Chapa de aço	Concreto							
90	<b>INICIAR</b>											
91												
92												
93												
94												
95												

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 34 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando legenda e considerações iniciais

A	B	C	D	E
1	<b>RETORNAR</b>	<b>Voltar ao topo</b>	<b>Dados de entrada (F)</b>	<b>AVANÇAR</b>
2				
3				
4	<b>Legenda</b>			
5	Critério do usuário			
6	Dados Atualizados da SINAPI - CAIXA (para o estado de São Paulo)			
7	Dados Atualizados do Tribunal de Contas da União			
8	<b>OBS 1: Os dados não fornecidos devem ficar vazios ou com "zero"</b>			
9	<b>OBS 2: Antes de preencher os dados, ler todas as informações e comentários indicados na planilha</b>			
10				
11	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS (DADOS OBRIGATÓRIOS)</b>			
12				
13				
14	<b>Vazão de projeto da ETA (L/s) <sup>(1)</sup></b>		<b>10,00</b>	
15	Período de projeto (anos)		10	
16	Taxa de juros ou de retorno (% a.a)		12,00%	
17	Taxa de benefícios e despesas indiretas - taxa de BDI (%) <sup>(2)</sup>		24,18%	
18	Leis sociais e riscos de trabalho para horistas (%) <sup>(3)</sup>		115,79%	
19	Taxa representativa do dólar (R\$) <sup>(4)</sup>		R\$ 3,74	
20	Data base dos preços unitários indicados no modelo		01/2019	
21	Data em que está sendo realizada a avaliação econômica		01/2019	
22	<sup>(1)</sup> A vazão deve estar entre 10 e 40 L/s (ou seja, $10 \leq Q \leq 40$ L/s)			
23	<sup>(2)</sup> O valor deve incluir, no mínimo: administração central, despesa tributária (PIS, COFINS, ISS), taxa de risco, seguro e garantia de empreendimento, e taxa de lucro (benefício do construtor). Para mais informações, consultar o estudo sobre taxas de BDI publicado pelo Tribunal de Contas da União, disponível em: <a href="https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A151356F96015168D520297EE4">https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A151356F96015168D520297EE4</a> <b>Ir para o site</b>			
24	<sup>(3)</sup> Para mais informações acerca do cálculo dos encargos sociais sobre a mão-de-obra de horistas (sem desoneração) para o estado de São Paulo, consultar o seguinte site: <a href="http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-encargos-sociais-sem-desoneracao/SINAPI_Encargos_Sociais_A_PARTIR_DE_OUTUBRO_2018.pdf">http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-encargos-sociais-sem-desoneracao/SINAPI_Encargos_Sociais_A_PARTIR_DE_OUTUBRO_2018.pdf</a> <b>Ir para o site</b>			
25	<sup>(4)</sup> Cotação do dólar na data base dos preços unitários indicados no modelo. O usuário deve alterar esse valor para a cotação na data em que está sendo realizada a avaliação econômica			
26				
27	<b>REAJUSTE DOS PREÇOS UNITÁRIOS (DADOS OBRIGATÓRIOS)</b>			
28				
29				
30	O usuário deve escolher o <b>tipo desejado de reajuste</b> dos preços unitários em relação ao tempo, marcando a opção escolhida na tabela abaixo			
31				
32	1. Atualizar <b>manualmente</b> (um a um) <b>todos</b> os preços unitários indicados nas Tabelas 1 a 3 mostradas abaixo, utilizando valores atualizados da SINAPI (Tabelas 1 e 2), consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (Tabela 3)		<input checked="" type="radio"/>	
33	2. Utilizar para <b>todos</b> os preço unitários das Tabelas 1 a 3 o <b>índice de correção</b> IGP-M (FGV), cujo cálculo pode ser efetuado através do seguinte site: <a href="https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice">https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice</a> Nesse caso, para se obter o índice de correção no período desejado, a data inicial deve ser a data base dos preços unitários indicados no modelo, e a data final deve ser a data em que está sendo realizada a avaliação econômica		<input type="radio"/>	<b>Ir para o site</b>

Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 36 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional desenvolvida, mostrando reajuste dos preços, escolha do coagulante e preços unitários

	A	B	C	D	E
1	<b>RETORNAR</b>	<b>Voltar ao topo</b>	<b>Dados de entrada (F)</b>		<b>AVANÇAR</b>
2					
32		1. Atualizar <b>manualmente</b> (um a um) <b>todos</b> os preços unitários indicados nas Tabelas 1 a 3 mostradas abaixo, utilizando valores atualizados da SINAPI (Tabelas 1 e 2), consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (Tabela 3)	<input checked="" type="radio"/>		
33		2. Utilizar para <b>todos</b> os preço unitários das Tabelas 1 a 3 o <b>índice de correção</b> IGP-M (FGV), cujo cálculo pode ser efetuado através do seguinte site: <a href="https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice">https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice</a> . Nesse caso, para se obter o índice de correção no período desejado, a data inicial deve ser a data base dos preços unitários indicados no modelo, e a data final deve ser a data em que está sendo realizada a avaliação econômica	<input type="radio"/>	<a href="#">Ir para o site</a>	
34		3. Utilizar <b>somente</b> para os preços unitários indicados na <b>Tabela 3 (orçamentos)</b> o <b>índice de correção</b> IGP-M (FGV). Para os <b>demais</b> preços unitários (mostrados na <b>Tabela 1 e 2</b> ), inserir <b>manualmente</b> (um a um) os preços unitários atualizados referentes às tabelas de composições e insumos da <b>SINAPI</b> .	<input type="radio"/>		
35					
36		Caso se opte pela <b>opção 2</b> ou pela <b>opção 3</b> , o usuário deve indicar na tabela abaixo o índice utilizado para reajuste dos preços unitários. Para este caso, utilizar um índice de reajuste maior que 1			
37		<b>OBS: Caso se opte pela opção 1, o índice de reajuste deve ser igual a 1</b>			
38					
39		Reajuste dos preços unitários utilizados no modelo - Índice de correção IGP-M (FGV)		<b>1</b>	
40					
41					
42		<b>COAGULANTE CONSIDERADO (DADOS OBRIGATÓRIOS)</b>			
43					
44		O usuário deve escolher o <b>tipo de coagulante</b> desejado: sulfato de alumínio ou cloreto férrico, marcando a opção escolhida na tabela abaixo			
45					
46					
47		1. Sulfato de alumínio	<input checked="" type="radio"/>		
48					
49		2. Cloreto férrico	<input type="radio"/>		
50					
51					
52		<b>PREÇOS UNITÁRIOS - TABELA 1 - COMPOSIÇÕES (DADOS OBRIGATÓRIOS)</b>			
53					
54					
55		Os preços unitários mostrados nessa etapa foram retirados das tabelas de composições da SINAPI - CAIXA para o estado de São Paulo		<a href="#">Ir para o site</a>	
56					
57					
58		<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preços unitários</b>	
59		Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até ø 15 cm, utilizando trator de esteiras	m <sup>2</sup>	R\$	0,35
60		Limpeza manual do terreno (c/ raspagem superficial)	m <sup>2</sup>	R\$	4,89
61		Portão em tela arame galvanizado n.12 malha 2" e moldura em tubos de aço com duas folhas de abrir, incluso ferragens	m <sup>2</sup>	R\$	805,46
62		Portão de ferro em chapa galvanizada plana 14 GSG	m <sup>2</sup>	R\$	245,80
63		Entrada provisória de energia elétrica aérea trifásica 40 A em poste madeira	un	R\$	1.453,55
64		Execução de depósito em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário	m <sup>2</sup>	R\$	569,16
65		Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>	R\$	296,22
66		Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg	R\$	6,32
67					
		Info	<b>Dados (F)</b>	Quantitativos (A)	Custos (B1)
				Resumo (B2)	Gráficos (B3)
				Gráficos (B4)	Gráficos (B5)
				Seleção (S)	Análise (R)
					+

Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 37 – Ilustração da aba "Dados (F)" da ferramenta computacional, mostrando mensagem de erro por índice de correção inválido

1 **RETORNAR** Voltar ao topo **Dados de entrada (F)** AVANÇAR

2 pelo Tribunal de Contas da União, disponível em:  
 23 https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A151356f

24 (3) Para mais informações acerca do cálculo dos encargos sociais sobre a mão-de-obra em São Paulo, consultar o seguinte site: http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-encargos-desoneracao/SINAPI\_Encargos\_Sociais\_A\_PARTIR\_DE\_OUTUBRO\_2018.pdf

25 (4) Cotação do dólar na data base dos preços unitários indicados no modelo. O usuário que está sendo realizada a avaliação econômica

26

27

28 **REAJUSTE DOS PREÇOS UNITÁRIOS (DADOS OBRIGATÓRIOS)**

29 O usuário deve escolher o **tipo desejado de reajuste** dos preços unitários em relação abaixo

30

31

32

1. Atualizar <b>manualmente</b> (um a um) <b>todos</b> os preços unitários indicados nas Tabelas 1 a 3 mostradas abaixo, utilizando valores atualizados da SINAPI (Tabelas 1 e 2), consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (Tabela 3)	<input type="radio"/>
2. Utilizar para <b>todos</b> os preço unitários das Tabelas 1 a 3 o <b>índice de correção</b> IGP-M (FGV), cujo cálculo pode ser efetuado através do seguinte site: https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice. Nesse caso, para se obter o índice de correção no período desejado, a data inicial deve ser a data base dos preços unitários indicados no modelo, e a data final deve ser a data em que está sendo realizada a avaliação econômica	<input checked="" type="radio"/>
3. Utilizar <b>somente</b> para os preços unitários indicados na <b>Tabela 3 (orçamentos)</b> o <b>índice de correção</b> IGP-M (FGV). Para os demais preços unitários (mostrados na <b>Tabela 1 e 2</b> ), inserir <b>manualmente</b> (um a um) os preços unitários atualizados referentes às tabelas de composições e insumos da SINAPI.	<input type="radio"/>

33 [Ir para o site](#)

34

35

36 Caso se opte pela **opção 2** ou pela **opção 3**, o usuário deve indicar na tabela abaixo o índice utilizado para reajuste dos preços unitários. Para este caso, utilizar um índice de reajuste maior que 1

37 **OBS: Caso se opte pela opção 1, o índice de reajuste deve ser igual a 1**

38

39 Reajuste dos preços unitários utilizados no modelo - Índice de correção IGP-M (FGV)

40 **ERRO! Quando a opção 2 ou a opção 3 é escolhida, o índice de reajuste deve ser diferente de 1**

41

42

43 **COAGULANTE CONSIDERADO (DADOS OBRIGATÓRIOS)**

44 O usuário deve escolher o **tipo de coagulante** desejado: sulfato de alumínio ou cloreto férrico, marcando a opção escolhida na tabela abaixo

45

46

47

1. Sulfato de alumínio	<input checked="" type="radio"/>
2. Cloreto férrico	<input type="radio"/>

48

49

50

51

52

53

PREÇOS UNITÁRIOS - TABELA 1 - COMPOSIÇÕES (DADOS OBRIGATÓRIOS)

Info **Dados (F)** Quantitativos (A) Custos (B1) Resumo (B2) Gráficos (B3) Gráficos (B4) Gráficos (B5) Seleção (S) Análise (R) +

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 38 – Ilustração da aba "Quantitativos (A)" da ferramenta computacional, mostrando os valores dos quantitativos

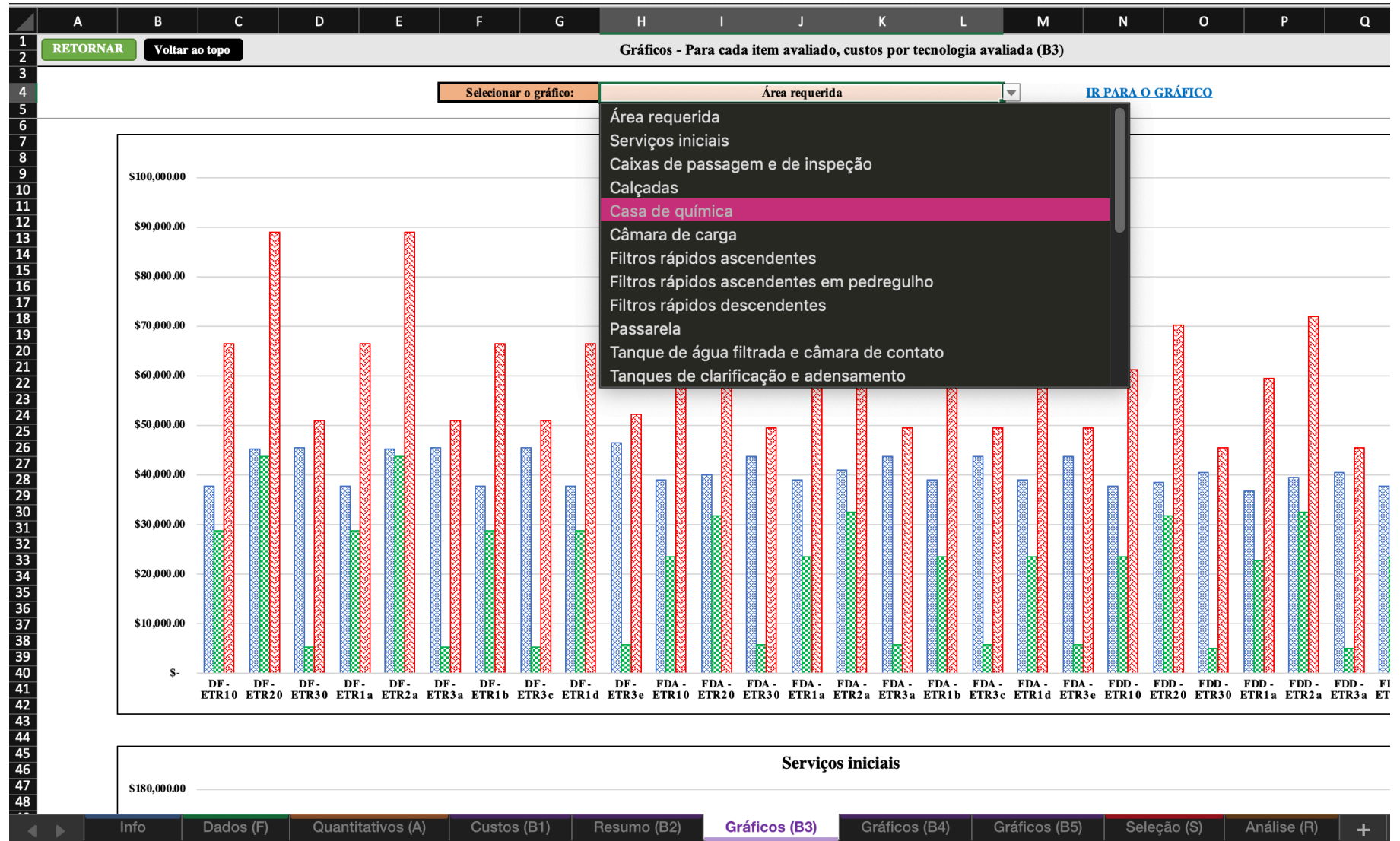
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	RETORNAR	Quantitativos (A)	AVANÇAR									
3												
4		Vazão (L/s) *										
5		10,00										
6		* Inserir a vazão desejada na aba "Dados"										
7			Voltar ao topo									
8												
9												
10		Item	Unidade									
11				DF - ETR1 0	DF - ETR2 0	DF - ETR3 0	DF - ETR1 a	DF - ETR2 a	DF - ETR3 a	DF - ETR1 b	DF - ETR3 c	DF - ETR1 d
12		INVESTIMENTO INICIAL										
13		1. Área requerida										
14		Área requerida pela ETA	m²	1015,00	1218,00	1223,97	1015,00	1218,00	1224,00	1015,00	1224,00	1015,00
15		Área requerida pela ETR	m²	770,00	1176,00	144,00	770,00	1176,00	144,00	770,00	144,00	770,00
16		2. Serviços iniciais										
17		2.1. Serviços iniciais da ETA										
18		Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até ø 15 cm, utilizando trator de esteiras	m²	1015,00	1218,00	1223,97	1015,00	1218,00	1224,00	1015,00	1224,00	1015,00
19		Limpeza manual do terreno (c/ raspagem superficial)	m²	1015,00	1218,00	1223,97	1015,00	1218,00	1224,00	1015,00	1224,00	1015,00
20		Gradil 1320x2170 mm (AxL) em barra de aço chata 25x2 mm, entrelaçada com barra aço redonda 5 mm, malha 65x132 mm, galvanizado e pintura eletrostática, cor preto	m²	184,80	199,50	249,90	184,80	199,50	249,90	184,80	249,90	184,80
21		Portão em tela arame galvanizado n.12 malha 2" e moldura em tubos de aço com duas folhas de abrir, incluso ferragens	m²	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40
22		Portão de ferro em chapa galvanizada plana 14 GSG	m²	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
23		Entrada provisória de energia elétrica aérea trifásica 40 A em poste madeira	un	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
24		Execução de depósito em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário	m²	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
25		Mobilização e instalação de 01 equipamento de sondagem, distância até 10 km	un	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
26		Locação convencional de obra, através de gabarito de tabuas corridas pontaletadas, com reaproveitamento de 10 vezes	m²	1015,00	1218,00	1223,97	1015,00	1218,00	1224,00	1015,00	1224,00	1015,00
27		2.2. Serviços iniciais da ETR										
28		Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até ø 15 cm, utilizando trator de esteiras	m²	770,00	1176,00	144,00	770,00	1176,00	144,00	770,00	144,00	770,00
29		Limpeza manual do terreno (c/ raspagem superficial)	m²	770,00	1176,00	144,00	770,00	1176,00	144,00	770,00	144,00	770,00
30		Gradil 1320x2170 mm (AxL) em barra de aço chata 25x2 mm, entrelaçada com barra aço redonda 5 mm, malha 65x132 mm, galvanizado e pintura eletrostática, cor preto	m²	165,90	205,80	50,40	165,90	205,80	50,40	165,90	50,40	165,90
31		Execução de depósito em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário	m²	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
		Mobilização e instalação de 01 equipamento de sondagem, distância até 10 km	un	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		Locação convencional de obra, através de gabarito de tabuas corridas pontaletadas, com reaproveitamento de 10 vezes	m²	770,00	1176,00	144,00	770,00	1176,00	144,00	770,00	144,00	770,00
	Info	Dados (F)	Quantitativos (A)	Custos (B1)	Resumo (B2)	Gráficos (B3)	Gráficos (B4)	Gráficos (B5)	Seleção (S)	Análise (R)	+	

Fonte: elaborado pelo autor.





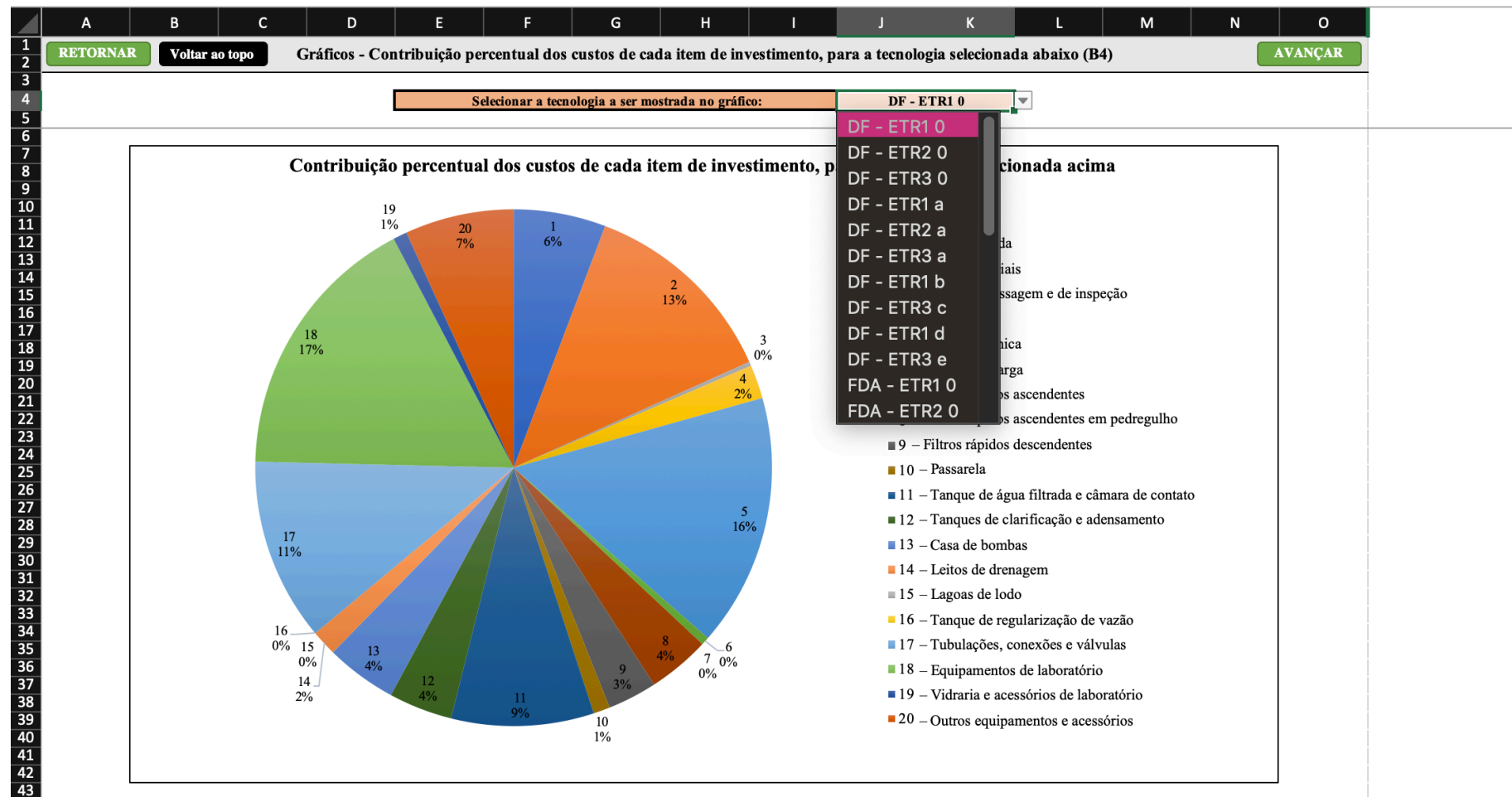
Figura 41 – Ilustração da aba "Gráficos (B3)" da ferramenta computacional, mostrando a seleção dos gráficos por processo unitário



Fonte: elaborado pelo autor.

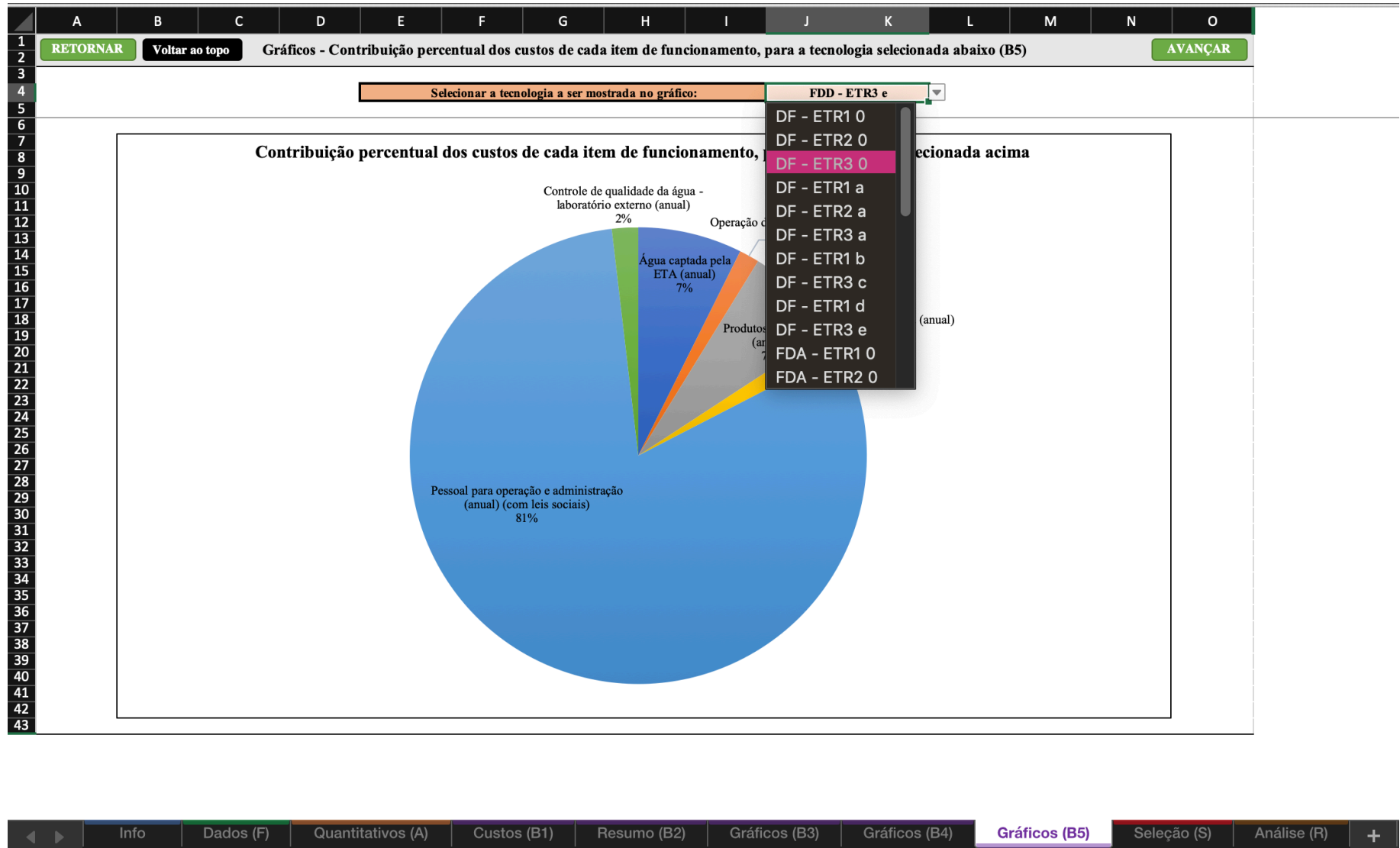


Figura 42 – Ilustração da aba "Gráficos (B4)" da ferramenta computacional, mostrando a seleção do gráfico de investimento inicial



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 43 – Ilustração da aba "Gráficos (B5)" da ferramenta computacional, mostrando a seleção do gráfico de funcionamento



Fonte: elaborado pelo autor.

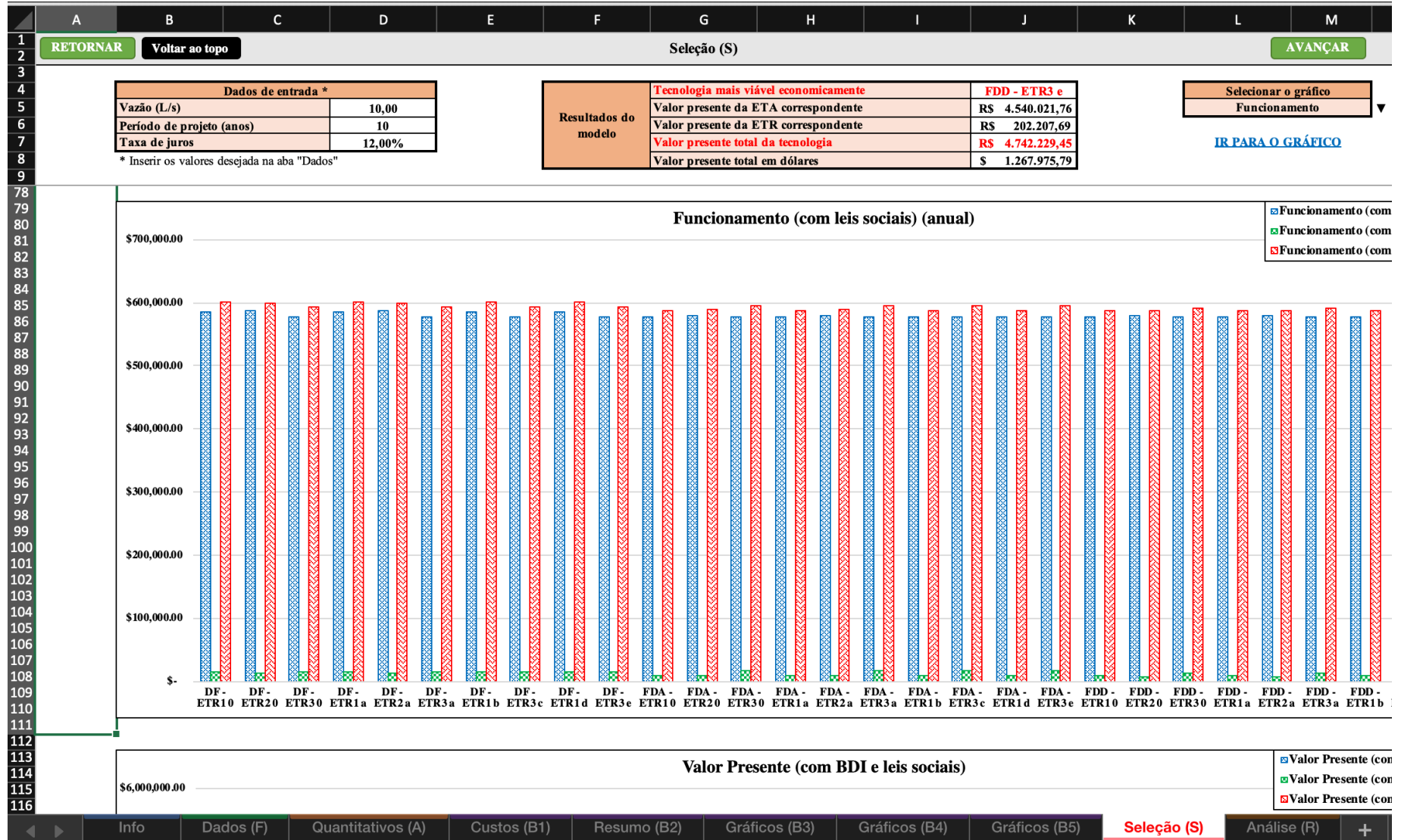
Figura 44 – Ilustração da aba "Seleção (S)" da ferramenta computacional, mostrando os principais resultados do modelo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	RETORNAR		Voltar ao topo		Seleção (S)								AVANÇAR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
4	Dados de entrada *				Resultados do modelo				Tecnologia mais viável economicamente				FDD - ETR3 e																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
5	Vazão (L/s)		10,00						Valor presente da ETA correspondente				R\$ 4.540.021,76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
6	Período de projeto (anos)		10						Valor presente da ETR correspondente				R\$ 202.207,69																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
7	Taxa de juros		12,00%						Valor presente total da tecnologia				R\$ 4.742.229,45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
8	* Inserir os valores desejada na aba "Dados"													Selecionar o gráfico																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
5														Investimento Inicial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
7														Investimento Inicial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
8														Funcionamento																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
9														Valor Presente																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
11	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tecnologia</th> <th colspan="3">Investimento Inicial (com BDI)</th> <th colspan="3">Funcionamento (com leis sociais) (anual)</th> <th colspan="3">Valor Presente (com BDI e leis sociais)</th> <th rowspan="2">Valor Presente total em dólares</th> </tr> <tr> <th>ETA</th> <th>ETR</th> <th>Total</th> <th>ETA</th> <th>ETR</th> <th>Total</th> <th>ETA</th> <th>ETR</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>DF - ETR1 0</td><td>R\$ 1.045.694,35</td><td>R\$ 383.036,64</td><td>R\$ 1.428.730,99</td><td>R\$ 585.934,84</td><td>R\$ 14.448,72</td><td>R\$ 600.383,56</td><td>R\$ 4.753.636,38</td><td>R\$ 474.471,73</td><td>R\$ 5.228.108,11</td><td>\$ 1.397.889,87</td></tr> <tr><td>DF - ETR2 0</td><td>R\$ 1.065.527,25</td><td>R\$ 271.849,25</td><td>R\$ 1.337.376,51</td><td>R\$ 587.096,04</td><td>R\$ 12.588,02</td><td>R\$ 599.684,06</td><td>R\$ 4.780.817,66</td><td>R\$ 351.509,36</td><td>R\$ 5.132.327,02</td><td>\$ 1.372.279,95</td></tr> <tr><td>DF - ETR3 0</td><td>R\$ 1.085.103,44</td><td>R\$ 133.257,26</td><td>R\$ 1.218.360,70</td><td>R\$ 577.626,03</td><td>R\$ 15.445,36</td><td>R\$ 593.071,39</td><td>R\$ 4.740.465,22</td><td>R\$ 230.999,37</td><td>R\$ 4.971.464,60</td><td>\$ 1.329.268,61</td></tr> <tr><td>DF - ETR1 a</td><td>R\$ 904.388,53</td><td>R\$ 383.082,78</td><td>R\$ 1.287.471,31</td><td>R\$ 585.934,84</td><td>R\$ 14.448,72</td><td>R\$ 600.383,56</td><td>R\$ 4.612.330,55</td><td>R\$ 474.517,87</td><td>R\$ 5.086.848,42</td><td>\$ 1.360.119,90</td></tr> <tr><td>DF - ETR2 a</td><td>R\$ 924.225,90</td><td>R\$ 271.864,84</td><td>R\$ 1.196.090,74</td><td>R\$ 587.096,04</td><td>R\$ 12.588,02</td><td>R\$ 599.684,06</td><td>R\$ 4.639.516,31</td><td>R\$ 351.524,95</td><td>R\$ 4.991.041,26</td><td>\$ 1.334.503,01</td></tr> <tr><td>DF - ETR3 a</td><td>R\$ 943.936,49</td><td>R\$ 133.348,23</td><td>R\$ 1.077.284,72</td><td>R\$ 577.626,03</td><td>R\$ 15.445,36</td><td>R\$ 593.071,39</td><td>R\$ 4.599.298,27</td><td>R\$ 231.090,35</td><td>R\$ 4.830.388,62</td><td>\$ 1.291.547,76</td></tr> <tr><td>DF - ETR1 b</td><td>R\$ 1.045.694,35</td><td>R\$ 386.527,17</td><td>R\$ 1.432.221,52</td><td>R\$ 585.934,84</td><td>R\$ 14.448,72</td><td>R\$ 600.383,56</td><td>R\$ 4.753.636,38</td><td>R\$ 477.962,26</td><td>R\$ 5.231.598,64</td><td>\$ 1.398.823,17</td></tr> <tr><td>DF - ETR3 c</td><td>R\$ 1.085.194,78</td><td>R\$ 116.142,27</td><td>R\$ 1.201.337,04</td><td>R\$ 577.626,03</td><td>R\$ 15.445,36</td><td>R\$ 593.071,39</td><td>R\$ 4.740.556,56</td><td>R\$ 213.884,38</td><td>R\$ 4.954.440,94</td><td>\$ 1.324.716,83</td></tr> <tr><td>DF - ETR1 d</td><td>R\$ 904.388,53</td><td>R\$ 386.573,31</td><td>R\$ 1.290.961,84</td><td>R\$ 585.934,84</td><td>R\$ 14.448,72</td><td>R\$ 600.383,56</td><td>R\$ 4.612.330,55</td><td>R\$ 478.008,40</td><td>R\$ 5.090.338,95</td><td>\$ 1.361.053,20</td></tr> <tr><td>DF - ETR3 e</td><td>R\$ 946.331,11</td><td>R\$ 117.719,61</td><td>R\$ 1.064.050,72</td><td>R\$ 577.626,03</td><td>R\$ 15.445,36</td><td>R\$ 593.071,39</td><td>R\$ 4.601.692,89</td><td>R\$ 215.461,72</td><td>R\$ 4.817.154,62</td><td>\$ 1.288.009,26</td></tr> <tr><td>FDA - ETR1 0</td><td>R\$ 1.051.111,08</td><td>R\$ 345.280,86</td><td>R\$ 1.396.391,94</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 9.510,67</td><td>R\$ 587.752,08</td><td>R\$ 4.710.367,17</td><td>R\$ 405.466,74</td><td>R\$ 5.115.833,90</td><td>\$ 1.367.870,03</td></tr> <tr><td>FDA - ETR2 0</td><td>R\$ 1.051.247,06</td><td>R\$ 219.099,18</td><td>R\$ 1.270.346,24</td><td>R\$ 579.402,63</td><td>R\$ 9.346,10</td><td>R\$ 588.748,73</td><td>R\$ 4.717.851,61</td><td>R\$ 278.243,64</td><td>R\$ 4.996.095,25</td><td>\$ 1.335.854,34</td></tr> <tr><td>FDA - ETR3 0</td><td>R\$ 1.080.853,24</td><td>R\$ 135.777,07</td><td>R\$ 1.216.630,31</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 16.999,20</td><td>R\$ 595.240,61</td><td>R\$ 4.740.109,32</td><td>R\$ 243.352,25</td><td>R\$ 4.983.461,58</td><td>\$ 1.332.476,36</td></tr> <tr><td>FDA - ETR1 a</td><td>R\$ 920.096,79</td><td>R\$ 345.280,86</td><td>R\$ 1.265.377,64</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 9.510,67</td><td>R\$ 587.752,08</td><td>R\$ 4.579.352,87</td><td>R\$ 405.466,74</td><td>R\$ 4.984.819,61</td><td>\$ 1.332.839,47</td></tr> <tr><td>FDA - ETR2 a</td><td>R\$ 922.845,21</td><td>R\$ 224.696,08</td><td>R\$ 1.147.541,30</td><td>R\$ 579.402,63</td><td>R\$ 9.346,10</td><td>R\$ 588.748,73</td><td>R\$ 4.589.449,76</td><td>R\$ 283.840,54</td><td>R\$ 4.873.290,31</td><td>\$ 1.303.018,80</td></tr> <tr><td>FDA - ETR3 a</td><td>R\$ 949.838,95</td><td>R\$ 135.777,07</td><td>R\$ 1.085.616,02</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 16.999,20</td><td>R\$ 595.240,61</td><td>R\$ 4.609.095,03</td><td>R\$ 243.352,25</td><td>R\$ 4.852.447,28</td><td>\$ 1.297.445,80</td></tr> <tr><td>FDA - ETR1 b</td><td>R\$ 1.051.111,08</td><td>R\$ 347.102,59</td><td>R\$ 1.398.213,67</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 9.510,67</td><td>R\$ 587.752,08</td><td>R\$ 4.710.367,17</td><td>R\$ 407.288,47</td><td>R\$ 5.117.655,64</td><td>\$ 1.368.357,12</td></tr> <tr><td>FDA - ETR3 c</td><td>R\$ 1.078.811,37</td><td>R\$ 129.409,63</td><td>R\$ 1.208.221,00</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 16.999,20</td><td>R\$ 595.240,61</td><td>R\$ 4.738.067,46</td><td>R\$ 236.984,82</td><td>R\$ 4.975.052,27</td><td>\$ 1.330.227,88</td></tr> <tr><td>FDA - ETR1 d</td><td>R\$ 920.096,79</td><td>R\$ 347.102,59</td><td>R\$ 1.267.199,38</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 9.510,67</td><td>R\$ 587.752,08</td><td>R\$ 4.579.352,87</td><td>R\$ 407.288,47</td><td>R\$ 4.986.641,34</td><td>\$ 1.333.326,56</td></tr> <tr><td>FDA - ETR3 e</td><td>R\$ 947.797,08</td><td>R\$ 129.409,63</td><td>R\$ 1.077.206,71</td><td>R\$ 578.241,41</td><td>R\$ 16.999,20</td><td>R\$ 595.240,61</td><td>R\$ 4.607.053,16</td><td>R\$ 236.984,82</td><td>R\$ 4.844.037,98</td><td>\$ 1.295.197,32</td></tr> <tr><td>FDD - ETR1 0</td><td>R\$ 972.628,48</td><td>R\$ 332.717,79</td><td>R\$ 1.305.346,27</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 9.476,60</td><td>R\$ 587.717,98</td><td>R\$ 4.631.884,35</td><td>R\$ 392.688,08</td><td>R\$ 5.024.572,43</td><td>\$ 1.343.468,56</td></tr> <tr><td>FDD - ETR2 0</td><td>R\$ 976.398,66</td><td>R\$ 210.891,38</td><td>R\$ 1.187.290,05</td><td>R\$ 579.402,59</td><td>R\$ 7.615,90</td><td>R\$ 587.018,49</td><td>R\$ 4.643.003,00</td><td>R\$ 259.086,70</td><td>R\$ 4.902.089,69</td><td>\$ 1.310.719,17</td></tr> <tr><td>FDD - ETR3 0</td><td>R\$ 999.261,83</td><td>R\$ 122.027,55</td><td>R\$ 1.121.289,38</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 13.086,36</td><td>R\$ 591.327,74</td><td>R\$ 4.658.517,70</td><td>R\$ 204.841,31</td><td>R\$ 4.863.359,01</td><td>\$ 1.300.363,37</td></tr> <tr><td>FDD - ETR1 a</td><td>R\$ 852.628,56</td><td>R\$ 330.923,58</td><td>R\$ 1.183.552,14</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 9.476,60</td><td>R\$ 587.717,98</td><td>R\$ 4.511.884,43</td><td>R\$ 390.893,87</td><td>R\$ 4.902.778,31</td><td>\$ 1.310.903,29</td></tr> <tr><td>FDD - ETR2 a</td><td>R\$ 861.388,48</td><td>R\$ 213.155,37</td><td>R\$ 1.074.543,84</td><td>R\$ 579.402,59</td><td>R\$ 7.615,90</td><td>R\$ 587.018,49</td><td>R\$ 4.527.992,82</td><td>R\$ 261.350,68</td><td>R\$ 4.789.343,49</td><td>\$ 1.280.573,13</td></tr> <tr><td>FDD - ETR3 a</td><td>R\$ 881.786,86</td><td>R\$ 122.026,43</td><td>R\$ 1.003.813,29</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 13.086,36</td><td>R\$ 591.327,74</td><td>R\$ 4.541.042,73</td><td>R\$ 204.840,18</td><td>R\$ 4.745.882,91</td><td>\$ 1.268.952,65</td></tr> <tr><td>FDD - ETR1 b</td><td>R\$ 972.628,48</td><td>R\$ 334.543,22</td><td>R\$ 1.307.171,70</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 9.476,60</td><td>R\$ 587.717,98</td><td>R\$ 4.631.884,35</td><td>R\$ 394.513,51</td><td>R\$ 5.026.397,86</td><td>\$ 1.343.956,65</td></tr> <tr><td>FDD - ETR3 c</td><td>R\$ 996.052,45</td><td>R\$ 117.909,33</td><td>R\$ 1.113.961,79</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 13.086,36</td><td>R\$ 591.327,74</td><td>R\$ 4.655.308,33</td><td>R\$ 200.723,09</td><td>R\$ 4.856.031,41</td><td>\$ 1.298.404,12</td></tr> <tr><td>FDD - ETR1 d</td><td>R\$ 878.443,43</td><td>R\$ 267.801,58</td><td>R\$ 1.146.245,01</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 9.476,60</td><td>R\$ 587.717,98</td><td>R\$ 4.537.699,30</td><td>R\$ 327.771,87</td><td>R\$ 4.865.471,17</td><td>\$ 1.300.928,12</td></tr> <tr><td>FDD - ETR3 e</td><td>R\$ 880.765,89</td><td>R\$ 119.393,93</td><td>R\$ 1.000.159,82</td><td>R\$ 578.241,38</td><td>R\$ 13.086,36</td><td>R\$ 591.327,74</td><td>R\$ 4.540.021,76</td><td>R\$ 202.207,69</td><td>R\$ 4.742.229,45</td><td>\$ 1.267.975,79</td></tr> </tbody> </table>													Tecnologia	Investimento Inicial (com BDI)			Funcionamento (com leis sociais) (anual)			Valor Presente (com BDI e leis sociais)			Valor Presente total em dólares	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total	DF - ETR1 0	R\$ 1.045.694,35	R\$ 383.036,64	R\$ 1.428.730,99	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.753.636,38	R\$ 474.471,73	R\$ 5.228.108,11	\$ 1.397.889,87	DF - ETR2 0	R\$ 1.065.527,25	R\$ 271.849,25	R\$ 1.337.376,51	R\$ 587.096,04	R\$ 12.588,02	R\$ 599.684,06	R\$ 4.780.817,66	R\$ 351.509,36	R\$ 5.132.327,02	\$ 1.372.279,95	DF - ETR3 0	R\$ 1.085.103,44	R\$ 133.257,26	R\$ 1.218.360,70	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.740.465,22	R\$ 230.999,37	R\$ 4.971.464,60	\$ 1.329.268,61	DF - ETR1 a	R\$ 904.388,53	R\$ 383.082,78	R\$ 1.287.471,31	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.612.330,55	R\$ 474.517,87	R\$ 5.086.848,42	\$ 1.360.119,90	DF - ETR2 a	R\$ 924.225,90	R\$ 271.864,84	R\$ 1.196.090,74	R\$ 587.096,04	R\$ 12.588,02	R\$ 599.684,06	R\$ 4.639.516,31	R\$ 351.524,95	R\$ 4.991.041,26	\$ 1.334.503,01	DF - ETR3 a	R\$ 943.936,49	R\$ 133.348,23	R\$ 1.077.284,72	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.599.298,27	R\$ 231.090,35	R\$ 4.830.388,62	\$ 1.291.547,76	DF - ETR1 b	R\$ 1.045.694,35	R\$ 386.527,17	R\$ 1.432.221,52	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.753.636,38	R\$ 477.962,26	R\$ 5.231.598,64	\$ 1.398.823,17	DF - ETR3 c	R\$ 1.085.194,78	R\$ 116.142,27	R\$ 1.201.337,04	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.740.556,56	R\$ 213.884,38	R\$ 4.954.440,94	\$ 1.324.716,83	DF - ETR1 d	R\$ 904.388,53	R\$ 386.573,31	R\$ 1.290.961,84	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.612.330,55	R\$ 478.008,40	R\$ 5.090.338,95	\$ 1.361.053,20	DF - ETR3 e	R\$ 946.331,11	R\$ 117.719,61	R\$ 1.064.050,72	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.601.692,89	R\$ 215.461,72	R\$ 4.817.154,62	\$ 1.288.009,26	FDA - ETR1 0	R\$ 1.051.111,08	R\$ 345.280,86	R\$ 1.396.391,94	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.710.367,17	R\$ 405.466,74	R\$ 5.115.833,90	\$ 1.367.870,03	FDA - ETR2 0	R\$ 1.051.247,06	R\$ 219.099,18	R\$ 1.270.346,24	R\$ 579.402,63	R\$ 9.346,10	R\$ 588.748,73	R\$ 4.717.851,61	R\$ 278.243,64	R\$ 4.996.095,25	\$ 1.335.854,34	FDA - ETR3 0	R\$ 1.080.853,24	R\$ 135.777,07	R\$ 1.216.630,31	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.740.109,32	R\$ 243.352,25	R\$ 4.983.461,58	\$ 1.332.476,36	FDA - ETR1 a	R\$ 920.096,79	R\$ 345.280,86	R\$ 1.265.377,64	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.579.352,87	R\$ 405.466,74	R\$ 4.984.819,61	\$ 1.332.839,47	FDA - ETR2 a	R\$ 922.845,21	R\$ 224.696,08	R\$ 1.147.541,30	R\$ 579.402,63	R\$ 9.346,10	R\$ 588.748,73	R\$ 4.589.449,76	R\$ 283.840,54	R\$ 4.873.290,31	\$ 1.303.018,80	FDA - ETR3 a	R\$ 949.838,95	R\$ 135.777,07	R\$ 1.085.616,02	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.609.095,03	R\$ 243.352,25	R\$ 4.852.447,28	\$ 1.297.445,80	FDA - ETR1 b	R\$ 1.051.111,08	R\$ 347.102,59	R\$ 1.398.213,67	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.710.367,17	R\$ 407.288,47	R\$ 5.117.655,64	\$ 1.368.357,12	FDA - ETR3 c	R\$ 1.078.811,37	R\$ 129.409,63	R\$ 1.208.221,00	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.738.067,46	R\$ 236.984,82	R\$ 4.975.052,27	\$ 1.330.227,88	FDA - ETR1 d	R\$ 920.096,79	R\$ 347.102,59	R\$ 1.267.199,38	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.579.352,87	R\$ 407.288,47	R\$ 4.986.641,34	\$ 1.333.326,56	FDA - ETR3 e	R\$ 947.797,08	R\$ 129.409,63	R\$ 1.077.206,71	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.607.053,16	R\$ 236.984,82	R\$ 4.844.037,98	\$ 1.295.197,32	FDD - ETR1 0	R\$ 972.628,48	R\$ 332.717,79	R\$ 1.305.346,27	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.631.884,35	R\$ 392.688,08	R\$ 5.024.572,43	\$ 1.343.468,56	FDD - ETR2 0	R\$ 976.398,66	R\$ 210.891,38	R\$ 1.187.290,05	R\$ 579.402,59	R\$ 7.615,90	R\$ 587.018,49	R\$ 4.643.003,00	R\$ 259.086,70	R\$ 4.902.089,69	\$ 1.310.719,17	FDD - ETR3 0	R\$ 999.261,83	R\$ 122.027,55	R\$ 1.121.289,38	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.658.517,70	R\$ 204.841,31	R\$ 4.863.359,01	\$ 1.300.363,37	FDD - ETR1 a	R\$ 852.628,56	R\$ 330.923,58	R\$ 1.183.552,14	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.511.884,43	R\$ 390.893,87	R\$ 4.902.778,31	\$ 1.310.903,29	FDD - ETR2 a	R\$ 861.388,48	R\$ 213.155,37	R\$ 1.074.543,84	R\$ 579.402,59	R\$ 7.615,90	R\$ 587.018,49	R\$ 4.527.992,82	R\$ 261.350,68	R\$ 4.789.343,49	\$ 1.280.573,13	FDD - ETR3 a	R\$ 881.786,86	R\$ 122.026,43	R\$ 1.003.813,29	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.541.042,73	R\$ 204.840,18	R\$ 4.745.882,91	\$ 1.268.952,65	FDD - ETR1 b	R\$ 972.628,48	R\$ 334.543,22	R\$ 1.307.171,70	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.631.884,35	R\$ 394.513,51	R\$ 5.026.397,86	\$ 1.343.956,65	FDD - ETR3 c	R\$ 996.052,45	R\$ 117.909,33	R\$ 1.113.961,79	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.655.308,33	R\$ 200.723,09	R\$ 4.856.031,41	\$ 1.298.404,12	FDD - ETR1 d	R\$ 878.443,43	R\$ 267.801,58	R\$ 1.146.245,01	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.537.699,30	R\$ 327.771,87	R\$ 4.865.471,17	\$ 1.300.928,12	FDD - ETR3 e	R\$ 880.765,89	R\$ 119.393,93	R\$ 1.000.159,82	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.540.021,76	R\$ 202.207,69	R\$ 4.742.229,45	\$ 1.267.975,79	Investimento Inicial (com BDI)	
Tecnologia	Investimento Inicial (com BDI)			Funcionamento (com leis sociais) (anual)			Valor Presente (com BDI e leis sociais)			Valor Presente total em dólares																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
DF - ETR1 0	R\$ 1.045.694,35	R\$ 383.036,64	R\$ 1.428.730,99	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.753.636,38	R\$ 474.471,73	R\$ 5.228.108,11	\$ 1.397.889,87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR2 0	R\$ 1.065.527,25	R\$ 271.849,25	R\$ 1.337.376,51	R\$ 587.096,04	R\$ 12.588,02	R\$ 599.684,06	R\$ 4.780.817,66	R\$ 351.509,36	R\$ 5.132.327,02	\$ 1.372.279,95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR3 0	R\$ 1.085.103,44	R\$ 133.257,26	R\$ 1.218.360,70	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.740.465,22	R\$ 230.999,37	R\$ 4.971.464,60	\$ 1.329.268,61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR1 a	R\$ 904.388,53	R\$ 383.082,78	R\$ 1.287.471,31	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.612.330,55	R\$ 474.517,87	R\$ 5.086.848,42	\$ 1.360.119,90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR2 a	R\$ 924.225,90	R\$ 271.864,84	R\$ 1.196.090,74	R\$ 587.096,04	R\$ 12.588,02	R\$ 599.684,06	R\$ 4.639.516,31	R\$ 351.524,95	R\$ 4.991.041,26	\$ 1.334.503,01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR3 a	R\$ 943.936,49	R\$ 133.348,23	R\$ 1.077.284,72	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.599.298,27	R\$ 231.090,35	R\$ 4.830.388,62	\$ 1.291.547,76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR1 b	R\$ 1.045.694,35	R\$ 386.527,17	R\$ 1.432.221,52	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.753.636,38	R\$ 477.962,26	R\$ 5.231.598,64	\$ 1.398.823,17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR3 c	R\$ 1.085.194,78	R\$ 116.142,27	R\$ 1.201.337,04	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.740.556,56	R\$ 213.884,38	R\$ 4.954.440,94	\$ 1.324.716,83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR1 d	R\$ 904.388,53	R\$ 386.573,31	R\$ 1.290.961,84	R\$ 585.934,84	R\$ 14.448,72	R\$ 600.383,56	R\$ 4.612.330,55	R\$ 478.008,40	R\$ 5.090.338,95	\$ 1.361.053,20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DF - ETR3 e	R\$ 946.331,11	R\$ 117.719,61	R\$ 1.064.050,72	R\$ 577.626,03	R\$ 15.445,36	R\$ 593.071,39	R\$ 4.601.692,89	R\$ 215.461,72	R\$ 4.817.154,62	\$ 1.288.009,26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR1 0	R\$ 1.051.111,08	R\$ 345.280,86	R\$ 1.396.391,94	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.710.367,17	R\$ 405.466,74	R\$ 5.115.833,90	\$ 1.367.870,03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR2 0	R\$ 1.051.247,06	R\$ 219.099,18	R\$ 1.270.346,24	R\$ 579.402,63	R\$ 9.346,10	R\$ 588.748,73	R\$ 4.717.851,61	R\$ 278.243,64	R\$ 4.996.095,25	\$ 1.335.854,34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR3 0	R\$ 1.080.853,24	R\$ 135.777,07	R\$ 1.216.630,31	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.740.109,32	R\$ 243.352,25	R\$ 4.983.461,58	\$ 1.332.476,36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR1 a	R\$ 920.096,79	R\$ 345.280,86	R\$ 1.265.377,64	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.579.352,87	R\$ 405.466,74	R\$ 4.984.819,61	\$ 1.332.839,47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR2 a	R\$ 922.845,21	R\$ 224.696,08	R\$ 1.147.541,30	R\$ 579.402,63	R\$ 9.346,10	R\$ 588.748,73	R\$ 4.589.449,76	R\$ 283.840,54	R\$ 4.873.290,31	\$ 1.303.018,80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR3 a	R\$ 949.838,95	R\$ 135.777,07	R\$ 1.085.616,02	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.609.095,03	R\$ 243.352,25	R\$ 4.852.447,28	\$ 1.297.445,80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR1 b	R\$ 1.051.111,08	R\$ 347.102,59	R\$ 1.398.213,67	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.710.367,17	R\$ 407.288,47	R\$ 5.117.655,64	\$ 1.368.357,12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR3 c	R\$ 1.078.811,37	R\$ 129.409,63	R\$ 1.208.221,00	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.738.067,46	R\$ 236.984,82	R\$ 4.975.052,27	\$ 1.330.227,88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR1 d	R\$ 920.096,79	R\$ 347.102,59	R\$ 1.267.199,38	R\$ 578.241,41	R\$ 9.510,67	R\$ 587.752,08	R\$ 4.579.352,87	R\$ 407.288,47	R\$ 4.986.641,34	\$ 1.333.326,56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDA - ETR3 e	R\$ 947.797,08	R\$ 129.409,63	R\$ 1.077.206,71	R\$ 578.241,41	R\$ 16.999,20	R\$ 595.240,61	R\$ 4.607.053,16	R\$ 236.984,82	R\$ 4.844.037,98	\$ 1.295.197,32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR1 0	R\$ 972.628,48	R\$ 332.717,79	R\$ 1.305.346,27	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.631.884,35	R\$ 392.688,08	R\$ 5.024.572,43	\$ 1.343.468,56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR2 0	R\$ 976.398,66	R\$ 210.891,38	R\$ 1.187.290,05	R\$ 579.402,59	R\$ 7.615,90	R\$ 587.018,49	R\$ 4.643.003,00	R\$ 259.086,70	R\$ 4.902.089,69	\$ 1.310.719,17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR3 0	R\$ 999.261,83	R\$ 122.027,55	R\$ 1.121.289,38	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.658.517,70	R\$ 204.841,31	R\$ 4.863.359,01	\$ 1.300.363,37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR1 a	R\$ 852.628,56	R\$ 330.923,58	R\$ 1.183.552,14	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.511.884,43	R\$ 390.893,87	R\$ 4.902.778,31	\$ 1.310.903,29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR2 a	R\$ 861.388,48	R\$ 213.155,37	R\$ 1.074.543,84	R\$ 579.402,59	R\$ 7.615,90	R\$ 587.018,49	R\$ 4.527.992,82	R\$ 261.350,68	R\$ 4.789.343,49	\$ 1.280.573,13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR3 a	R\$ 881.786,86	R\$ 122.026,43	R\$ 1.003.813,29	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.541.042,73	R\$ 204.840,18	R\$ 4.745.882,91	\$ 1.268.952,65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR1 b	R\$ 972.628,48	R\$ 334.543,22	R\$ 1.307.171,70	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.631.884,35	R\$ 394.513,51	R\$ 5.026.397,86	\$ 1.343.956,65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR3 c	R\$ 996.052,45	R\$ 117.909,33	R\$ 1.113.961,79	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.655.308,33	R\$ 200.723,09	R\$ 4.856.031,41	\$ 1.298.404,12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR1 d	R\$ 878.443,43	R\$ 267.801,58	R\$ 1.146.245,01	R\$ 578.241,38	R\$ 9.476,60	R\$ 587.717,98	R\$ 4.537.699,30	R\$ 327.771,87	R\$ 4.865.471,17	\$ 1.300.928,12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FDD - ETR3 e	R\$ 880.765,89	R\$ 119.393,93	R\$ 1.000.159,82	R\$ 578.241,38	R\$ 13.086,36	R\$ 591.327,74	R\$ 4.540.021,76	R\$ 202.207,69	R\$ 4.742.229,45	\$ 1.267.975,79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
46	\$1.600.000,00													Investment																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
47														Investment																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
48														Investment																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Info	Dados (F)	Quantitativos (A)	Custos (B1)	Resumo (B2)	Gráficos (B3)	Gráficos (B4)	Gráficos (B5)	Seleção (S)			Análise (R)	+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 45 – Ilustração da aba "Seleção (S)" da ferramenta computacional, mostrando o gráfico de funcionamento para as alternativas de ETA+ETR



Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 47 – Ilustração da aba "Análise (R)" da ferramenta computacional, mostrando algumas recomendações ao usuário

	A	B	C	D	E
1	<b>RETORNAR</b>	<b>Voltar ao topo</b>	<b>Análise e Recomendações (R)</b>		
2					
59			<b>ITEM COM MAIOR CUSTO (PARA TODAS AS TECNOLOGIAS AVALIADAS)</b>		
60					
61			<b>Investimento Inicial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para <b>FDD (todas as vazões válidas)</b>, <b>DF</b> (<math>Q \leq 20</math> L/s) e <b>FDA</b> (<math>Q \leq 20</math> L/s): "Equipamentos de laboratório"</li> <li>- Para <b>DF e FDA</b> (<math>Q &gt; 20</math> L/s): "Equipamentos de Laboratório" ou "Tubulações, conexões e válvulas" (dependendo da vazão escolhida e da tecnologia)</li> <li>- Para "<b>DF ETR3 0"</b> e "<b>DF ETR3 c"</b> (<math>Q &gt; 39,38</math> L/s): "Tanque de água filtrada e câmara de contato"</li> </ul>	
62			<b>Funcionamento</b>	"Pessoal para operação e administração"	
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69			<p>- Para a seleção de uma tecnologia sustentável, os seguintes aspectos devem ser analisados <b>ANTES da avaliação econômica</b>: 1) Transferência de tecnologia ; 2) Aspectos sociais da área; 3) Disponibilidade de recursos (somente selecionar uma tecnologia cujos materiais de construção necessários estejam disponíveis no local); 4) Aspectos técnicos (risco e eficiência das tecnologias); e 5) Aspectos ambientais</p>		
70			<p>- Para a seleção de uma tecnologia sustentável, deve ser realizada uma avaliação financeira (capacidade de pagamento da área de estudo) <b>APÓS a avaliação econômica</b></p>		
71			<p>- Deve-se selecionar uma tecnologia cuja <b>qualidade da água</b> requerida seja compatível com o <b>manacial</b> utilizado</p>		
72			<p>- Verificar a presença de <b>mão-de-obra especializada</b> no local escolhido para implementação da ETA, uma vez que as ETAs de filtração direta requerem monitoramento contínuo e tomadas de decisão rápidas baseadas em aspectos técnicos</p>		
73			<p>- Somente selecionar a <b>ETR2</b> caso não haja restrição de <b>área</b> para implementação da ETA e caso o preço do m<sup>2</sup> do terreno não seja muito elevado, uma vez que as lagoas ocupam uma área elevada</p>		
74			<p>- Somente selecionar a <b>ETR2</b> caso o índice de <b>pluviosidade</b> do local escolhido para implementação da ETA não seja muito elevado, uma vez que, para que ocorra secagem do lodo, o índice de pluviosidade deve ser menor que o índice de evaporação do local</p>		
75			<p>- Somente selecionar a <b>ETR3</b> caso exista uma <b>Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)</b> próxima ao local escolhido para implementação da ETA, uma vez que todo o resíduo gerado na ETA deverá ser destinado à ETE para tratamento posterior</p>		
76					<b>VOLTAR AO INÍCIO</b>

◀	▶	Info	Dados (F)	Quantitativos (A)	Custos (B1)	Resumo (B2)	Gráficos (B3)	Gráficos (B4)	Gráficos (B5)	Seleção (S)	<b>Análise (R)</b>	+
---	---	------	-----------	-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------	---------------	-------------	--------------------	---

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 5.4.2 Resultados da ferramenta computacional

Os principais resultados acerca dos materiais e itens que mais impactam os custos das tecnologias analisadas encontram-se na Tabela 17, na Tabela 18 e na Tabela 19. Essas tabelas também estão presentes na aba “Análise (S)” da ferramenta computacional.

A Tabela 17 mostra os materiais com maior custo para cada item de investimento inicial avaliado. Nessa tabela destaca-se que a mudança nos métodos construtivos altera o material com maior custo. Por exemplo, a chapa de aço de 4,75 mm possui, em geral, mais importância para as tecnologias que utilizam chapa de aço na construção dos filtros e tanques. Da mesma forma, o concreto possui, em geral, mais importância para as tecnologias que utilizam concreto na construção dos filtros e tanques.

A vazão também exerce um papel importante nos custos dos materiais. Em uma vazão menor, um determinado material pode ser o com maior custo, mas outro material possuir maior custo para vazões maiores. Em geral, os materiais com maior custo são: concreto, chapa de aço de 4,75 mm, forma de madeira e areia. Isso pode ser explicado devido ao alto volume utilizado desses materiais.

Tabela 17 – Material com maior custo para cada item de investimento inicial avaliado, considerando todas as tecnologias analisadas (continua)

ITEM AVALIADO	MATERIAL COM MAIOR CUSTO	
Área requerida	"Terreno"	
Serviços iniciais	"Gradil"	
Caixas de passagem e de inspeção	"Forma de madeira"	
Calçadas	"Concreto"	
Casa de química	"Concreto"	
Câmara de carga	- Para câmara em chapa de aço	- Para câmara em concreto
	"Chapa de aço de 4,75 mm"	- Para $Q \leq 15$ L/s: "Concreto" (para DF) ou "Forma de madeira" (para FDA)
		- Para $15 < Q \leq 36,58$ L/s: "Chapa de aço de 4,75 mm"
		- Para $Q > 36,58$ L/s: "Concreto" (para DF) ou "Chapa de aço de 4,75 mm" (para FDA)
Filtros rápidos ascendentes	- Para filtros em chapa de aço	- Para filtros em concreto
	- Para $Q \leq 38,76$ L/s: "Chapa de aço de 4,75 mm"	"Areia"
	- Para $Q > 38,76$ L/s: "Areia"	
Filtros rápidos ascendentes em pedregulho	- Para filtros em chapa de aço	- Para filtros em concreto
	- Para $Q \leq 38,96$ L/s: "Chapa de aço de 4,75 mm"	"Concreto"
	- Para $Q > 38,96$ L/s: "Concreto"	

Tabela 17 – Material com maior custo para casa item de investimento inicial avaliado, considerando todas as tecnologias analisadas (conclusão)

	- Para filtros em chapa de aço	- Para filtros em concreto
Filtros rápidos descendentes	"Chapa de aço de 4,75 mm"	"Concreto" (para DF) ou "Areia" (para FDD)
Passarela	"Guarda-corpo" (da passarela)	
Tanque de água filtrada e câmara de contato	- Para tanque em chapa de aço	- Para tanque em concreto
	"Chapa de aço de 4,75 mm"	"Concreto"
Tanques de clarificação e adensamento	- Para $Q \leq 11,23$ L/s: "Concreto" (para DF e FDA) ou "Guarda-corpo" (para FDD)	
	- Para $Q > 11,23$ L/s: "Concreto"	
	- Para $Q \leq 31,13$ L/s: "Escada metálica tipo caracol"	
Casa de bombas	- Para $Q > 31,13$ L/s: "Concreto" (para DF) ou "Escada metálica tipo caracol" (para FDA e FDD)	
	- Para leitos em concreto	- Para leitos em alvenaria
Leitos de drenagem	"Forma de madeira"	- Para $Q \leq 23,39$ L/s: "Impermeabilização" (para DF) ou "Alvenaria" (para FDA e FDD)
		- Para $Q > 23,39$ L/s: "Impermeabilização"
Lagoas de lodo	- Para $Q \leq 22,55$ L/s: "Geotêxtil" (para DF) ou "Guarda-corpo" (para FDA e FDD)	
	- Para $22,55 < Q \leq 22,79$ L/s: "Geotêxtil (para DF e FDD) ou "Guarda-corpo" (para FDA)	
	- Para $Q > 22,79$ L/s: "Geotêxtil"	
Tanque de regularização de vazão	- Para tanque em chapa de aço	- Para tanque em concreto
	"Pintura para chapa de aço" (ambas as tintas epóxi)	"Concreto"
Tubulações, conexões e válvulas	"Tubulações de ferro fundido" ou "Tubulações de aço galvanizado" (bastante variável dependendo da vazão escolhida e da tecnologia)	
Equipamentos de laboratório	"Espectrofotômetro"	
Vidraria e acessórios de laboratório	"Porta-filtro com funil"	
Outros equipamentos e acessórios	- Para $Q \leq 14,99$ L/s: "Bomba para lavagem dos filtros" (para DF - ETR1 e ETR2, FDA e FDD - ETR1 e ETR2) ou "Misturador submersível" (DF - ETR3 e FDD - ETR3)	
	- Para $Q > 14,99$ L/s: "Bomba para lavagem dos filtros" (para DF, FDA e FDD - ETR1 e ETR2) ou "Misturador submersível" (para FDD - ETR3)	

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 18 mostra os materiais com maior custo para cada item de funcionamento avaliado. Nesse sentido, os itens que mais influenciam a operação das ETRs são a água para limpeza das unidades e a disposição dos resíduos. O item que mais influencia os custos dos produtos químicos depende da escolha do coagulante feita pelo usuário. Quando o usuário escolhe o sulfato de alumínio, este é o item mais custoso. No entanto, quando é escolhido o cloreto férrico, o item mais custoso é variável de acordo com a vazão de projeto escolhida. Em relação à energia elétrica, o que mais influencia seu custo são as lâmpadas, com exceção à DFs que utilizam a ETR3, onde o item com maior custo é o misturador submersível (utilizado

para agitação dos resíduos no tanque de regularização da vazão). Em relação aos ensaios de qualidade da água realizados em laboratório externo, o item com maior custo é o ensaio de glifosato, um agrotóxico amplamente utilizado na agricultura.

Tabela 18 – Material com maior custo para cada item de funcionamento avaliado, considerando todas as tecnologias analisadas

ITEM AVALIADO	MATERIAL COM MAIOR CUSTO	
Água captada pela ETA	"Água captada"	
Operação da ETR	"Água para limpeza das unidades" (para DF - ETR3, FDA e FDD) ou "Retirada e disposição de resíduos sólidos" (para DF - ETR1 e ETR2)	
Produtos químicos	<p><b>- Quando o coagulante escolhido é o sulfato de alumínio</b></p> <p>"Sulfato de alumínio"</p>	<p><b>- Quando o coagulante escolhido é o cloreto férrico</b></p> <p><b>- Para <math>Q \leq 11,55</math> L/s:</b> "Hipoclorito de sódio" (para DF - ETR1 e ETR2) ou "Ácido fluossilícico" (para DF - ETR3, FDA e FDD)</p> <p><b>- Para <math>11,55 &lt; Q \leq 34,84</math> L/s:</b> "Hipoclorito de sódio" (para DF) ou "Ácido fluossilícico" (para FDA e FDD)</p> <p><b>- Para <math>Q &gt; 34,84</math> L/s:</b> "Hipoclorito de sódio" (para DF - ETR1 e ETR3) ou "Cloreto férrico" (para DF - ETR2) ou "Ácido fluossilícico" (para FDA e FDD)</p>
	Energia elétrica	<p><b>- Para <math>Q \leq 30,70</math> L/s:</b> "Lâmpadas" (somando-se as da casa de química com as de iluminação externa da ETA)</p> <p><b>- Para <math>Q &gt; 30,70</math> L/s:</b> "Lâmpadas" (somando-se as da casa de química com as de iluminação externa da ETA) (para DF - ETR1 e ETR2, FDA e FDD) ou "Misturador submersível" (para DF - ETR3)</p>
Pessoal para operação e administração	"Operador de ETA com nível técnico"	
Controle de qualidade da água - laboratório externo	"Glifosato" (ensaio de qualidade da água)	

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 19 mostra quais são os itens de investimento inicial e funcionamento mais custosos. Em relação ao investimento inicial, o item mais importante depende da tecnologia e da vazão de projeto escolhida. Para menores vazões, os equipamentos de laboratório têm um maior impacto nos custos, uma vez que são caros e possuem preço fixo e quantidade mínima. Para vazões maiores, o impacto das tubulações, conexões e válvulas aumenta, uma vez que os preços são mais elevados para de tubulações com maior diâmetro e também porque a quantidade utilizada aumenta. Para os casos específicos de DF com ETR3 que utilizam filtros e tanques da ETA em chapa de aço, o tanque de água filtrada e a câmara de contato possuem um impacto maior no custo quando são consideradas vazões próximas de 40 L/s, uma vez que essas estruturas são mais robustas e necessitam de mais material para sua construção.

Em relação ao funcionamento, sempre o maior custo está associado ao pessoal para operação e administração. Isso pode ser explicado por diversos fatores. Um deles está relacionado às grandes taxas referentes às leis sociais, que praticamente multiplica por dois o custo com os funcionários. Outro fator é a menor dosagem de coagulante utilizada na filtração direta, como explicado no item 3.6 deste trabalho, o que explica o menor gasto com coagulante se comparado com os gastos com funcionários. O menor porte das estações também está associado a esse resultado, uma vez que um número mínimo de funcionários é necessário, mesmo que a quantidade de água tratada pela ETA seja pequena. Como as tecnologias analisadas não tem um alto requerimento energético, os gastos com energia são menores (não são utilizados flotores ou centrífugas, que aumentam o gasto energético).

Tabela 19 – Item de investimento e de funcionamento com maior custo, considerando todas as tecnologias analisadas

Investimento Inicial	- Para FDD (todas as vazões válidas), DF ( $Q \leq 20$ L/s) e FDA ( $Q \leq 20$ L/s): "Equipamentos de laboratório"
	- Para DF e FDA ( $Q > 20$ L/s): "Equipamentos de Laboratório" ou "Tubulações, conexões e válvulas" (dependendo da vazão escolhida e da tecnologia)
	- Para "DF ETR3 0" e "DF ETR3 c" ( $Q > 39,38$ L/s): "Tanque de água filtrada e câmara de contato"
Funcionamento	"Pessoal para operação e administração"

Fonte: elaborado pelo autor.

Além dos resultados mostrados acerca dos materiais e itens que mais impactam os custos das tecnologias analisadas, a ferramenta computacional também foi testada para nove situações distintas, sendo elas combinações de três valores de vazão de projeto (10, 20 e 40 L/s) e três valores de período de projeto (10, 20 e 30 anos). As demais variáveis foram mantidas constantes e iguais aos valores tomados como padrão. Os resultados obtidos foram analisados e, para cada uma dessas situações, foi calculado o erro relativo entre os valores presentes totais obtidos a partir dos quantitativos medidos (real, como mostrado no Apêndice C) e a partir do uso do modelo.

Utilizando o modelo, os custos de investimento inicial e de funcionamento para vazões de projeto de 10, 20 e 40 L/s encontram-se na Tabela 20, na Tabela 21 e na Tabela 22, respectivamente. Os menores valores, para cada coluna, estão apresentados em verde. Já os maiores valores estão apresentados em vermelho.

Os valores presentes totais reais e calculados pelo modelo, além dos erros relativos, para as nove situações analisadas, encontram-se na Tabela 23, na Tabela 24 e na Tabela 25.

Assim como nas tabelas de custos de investimento inicial e de funcionamento, os menores valores, para cada coluna, estão apresentados em verde e os maiores valores, em vermelho.

Tabela 20 – Custos de investimento inicial e de funcionamento para uma vazão de projeto de 10 L/s

Tecnologia	Custos de investimento inicial			Custos de funcionamento		
	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total
DF - ETR1 0	1.045.694,35	383.036,64	1.428.730,99	585.934,84	14.448,72	600.383,56
DF - ETR2 0	1.065.527,25	271.849,25	1.337.376,51	587.096,04	12.588,02	599.684,06
DF - ETR3 0	1.085.103,44	133.257,26	1.218.360,70	577.626,03	15.445,36	593.071,39
DF - ETR1 a	904.388,53	383.082,78	1.287.471,31	585.934,84	14.448,72	600.383,56
DF - ETR2 a	924.225,90	271.864,84	1.196.090,74	587.096,04	12.588,02	599.684,06
DF - ETR3 a	943.936,49	133.348,23	1.077.284,72	577.626,03	15.445,36	593.071,39
DF - ETR1 b	1.045.694,35	386.527,17	1.432.221,52	585.934,84	14.448,72	600.383,56
DF - ETR3 c	1.085.194,78	116.142,27	1.201.337,04	577.626,03	15.445,36	593.071,39
DF - ETR1 d	904.388,53	386.573,31	1.290.961,84	585.934,84	14.448,72	600.383,56
DF - ETR3 e	946.331,11	117.719,61	1.064.050,72	577.626,03	15.445,36	593.071,39
FDA - ETR1 0	1.051.111,08	345.280,86	1.396.391,94	578.241,41	9.510,67	587.752,08
FDA - ETR2 0	1.051.247,06	219.099,18	1.270.346,24	579.402,63	9.346,10	588.748,73
FDA - ETR3 0	1.080.853,24	135.777,07	1.216.630,31	578.241,41	16.999,20	595.240,61
FDA - ETR1 a	920.096,79	345.280,86	1.265.377,64	578.241,41	9.510,67	587.752,08
FDA - ETR2 a	922.845,21	224.696,08	1.147.541,30	579.402,63	9.346,10	588.748,73
FDA - ETR3 a	949.838,95	135.777,07	1.085.616,02	578.241,41	16.999,20	595.240,61
FDA - ETR1 b	1.051.111,08	347.102,59	1.398.213,67	578.241,41	9.510,67	587.752,08
FDA - ETR3 c	1.078.811,37	129.409,63	1.208.221,00	578.241,41	16.999,20	595.240,61
FDA - ETR1 d	920.096,79	347.102,59	1.267.199,38	578.241,41	9.510,67	587.752,08
FDA - ETR3 e	947.797,08	129.409,63	1.077.206,71	578.241,41	16.999,20	595.240,61
FDD - ETR1 0	972.628,48	332.717,79	1.305.346,27	578.241,38	9.476,60	587.717,98
FDD - ETR2 0	976.398,66	210.891,38	1.187.290,05	579.402,59	7.615,90	587.018,49
FDD - ETR3 0	999.261,83	122.027,55	1.121.289,38	578.241,38	13.086,36	591.327,74
FDD - ETR1 a	852.628,56	330.923,58	1.183.552,14	578.241,38	9.476,60	587.717,98
FDD - ETR2 a	861.388,48	213.155,37	1.074.543,84	579.402,59	7.615,90	587.018,49
FDD - ETR3 a	881.786,86	122.026,43	1.003.813,29	578.241,38	13.086,36	591.327,74
FDD - ETR1 b	972.628,48	334.543,22	1.307.171,70	578.241,38	9.476,60	587.717,98
FDD - ETR3 c	996.052,45	117.909,33	1.113.961,79	578.241,38	13.086,36	591.327,74
FDD - ETR1 d	878.443,43	267.801,58	1.146.245,01	578.241,38	9.476,60	587.717,98
FDD - ETR3 e	880.765,89	119.393,93	1.000.159,82	578.241,38	13.086,36	591.327,74

Fonte: elaborado pelo autor.

Para as três vazões consideradas, os menores custos totais de investimento inicial foram encontrados na tecnologia “FDD – ETR3 e”, ou seja, filtração direta descendente com tanque de regularização de vazão com filtros e tanques em concreto. Esse resultado pode ser explicado pelo menor número de unidades na FDD (em relação à DF e à FDA), e também pelo concreto ser, em geral, mais barato que a chapa de aço.

Em relação aos custos totais de funcionamento, os menores custos totais foram encontrados (para as três vazões) nas tecnologias “FDD – ETR2 0” e “FDD – ETR2 a”, ou seja, filtração direta descendente com lagoas de lodo, sendo a primeira tecnologia com filtros



e tanques em chapa de aço e a segunda em concreto. Esse resultado pode ser explicado pelo fato das lagoas não necessitam de energia elétrica em sua operação, diminuindo os custos de funcionamento.

Tabela 21 – Custos de investimento inicial e de funcionamento para uma vazão de projeto de 20 L/s

Tecnologia	Custos de investimento inicial			Custos de funcionamento		
	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total
DF - ETR1 0	1.246.937,96	473.505,81	1.720.443,77	679.160,49	26.986,89	706.147,38
DF - ETR2 0	1.291.412,16	324.237,29	1.615.649,45	680.937,03	25.126,19	706.063,22
DF - ETR3 0	1.297.504,95	167.266,44	1.464.771,39	679.775,81	24.931,79	704.707,60
DF - ETR1 a	1.047.650,67	475.846,68	1.523.497,35	679.160,49	26.986,89	706.147,38
DF - ETR2 a	1.086.833,55	324.316,82	1.411.150,36	680.937,03	25.126,19	706.063,22
DF - ETR3 a	1.099.764,38	170.741,70	1.270.506,07	679.775,81	24.931,79	704.707,60
DF - ETR1 b	1.246.937,96	478.981,06	1.725.919,01	679.160,49	26.986,89	706.147,38
DF - ETR3 c	1.301.504,07	141.450,55	1.442.954,61	679.775,81	24.931,79	704.707,60
DF - ETR1 d	1.047.650,67	481.321,92	1.528.972,60	679.160,49	26.986,89	706.147,38
DF - ETR3 e	1.102.262,26	146.516,02	1.248.778,29	679.775,81	24.931,79	704.707,60
FDA - ETR1 0	1.178.120,47	410.965,95	1.589.086,42	659.666,28	17.283,80	676.950,08
FDA - ETR2 0	1.187.709,89	254.206,32	1.441.916,21	660.827,49	15.422,73	676.250,22
FDA - ETR3 0	1.206.695,42	154.460,43	1.361.155,85	659.666,28	23.073,48	682.739,76
FDA - ETR1 a	1.001.836,29	414.301,15	1.416.137,45	659.666,28	17.283,80	676.950,08
FDA - ETR2 a	1.013.999,15	256.487,71	1.270.486,86	660.827,49	15.422,73	676.250,22
FDA - ETR3 a	1.030.411,24	154.460,43	1.184.871,67	659.666,28	23.073,48	682.739,76
FDA - ETR1 b	1.178.120,47	413.740,38	1.591.860,85	659.666,28	17.283,80	676.950,08
FDA - ETR3 c	1.203.451,35	144.172,57	1.347.623,92	659.666,28	23.073,48	682.739,76
FDA - ETR1 d	1.001.836,29	417.075,58	1.418.911,88	659.666,28	17.283,80	676.950,08
FDA - ETR3 e	1.027.167,17	144.172,57	1.171.339,75	659.666,28	23.073,48	682.739,76
FDD - ETR1 0	1.077.981,01	375.386,87	1.453.367,89	659.666,08	17.080,93	676.747,01
FDD - ETR2 0	1.092.876,50	245.987,93	1.338.864,42	660.827,29	15.220,23	676.047,52
FDD - ETR3 0	1.103.589,46	156.145,32	1.259.734,78	659.666,08	22.768,92	682.435,00
FDD - ETR1 a	917.586,77	375.380,58	1.292.967,35	659.666,08	17.080,93	676.747,01
FDD - ETR2 a	932.475,18	245.986,76	1.178.461,94	660.827,29	15.220,23	676.047,52
FDD - ETR3 a	949.192,64	157.730,46	1.106.923,10	659.666,08	22.768,92	682.435,00
FDD - ETR1 b	1.077.981,01	378.176,74	1.456.157,75	659.666,08	17.080,93	676.747,01
FDD - ETR3 c	1.106.473,95	146.221,37	1.252.695,32	659.666,08	22.768,92	682.435,00
FDD - ETR1 d	946.292,03	307.068,08	1.253.360,10	659.666,08	17.080,93	676.747,01
FDD - ETR3 e	946.214,67	146.259,86	1.092.474,52	659.666,08	22.768,92	682.435,00

Fonte: elaborado pelo autor.

Em geral, as tecnologias de dupla filtração apresentaram os maiores custos de investimento inicial e funcionamento. Isso pode ser explicado pelo fato da tecnologia de DF possuir mais unidades que as demais tecnologias (possuem mais filtros que a FDA e a FDD e, em relação à FDD, possuem câmara de carga).

Tabela 22 – Custos de investimento inicial e de funcionamento para uma vazão de projeto de 40 L/s

Tecnologia	Custos de investimento inicial			Custos anuais de funcionamento		
	ETA	ETR	Total	ETA	ETR	Total
DF - ETR1 0	1.518.429,99	627.841,49	2.146.271,48	862.088,62	51.420,90	913.509,52
DF - ETR2 0	1.570.485,50	431.756,34	2.002.241,84	824.507,30	49.560,19	874.067,50
DF - ETR3 0	1.586.205,91	229.251,13	1.815.457,04	863.565,29	44.828,04	908.393,33
DF - ETR1 a	1.197.702,64	627.949,28	1.825.651,92	862.088,62	51.420,90	913.509,52
DF - ETR2 a	1.249.256,54	439.385,96	1.688.642,51	824.507,30	49.560,19	874.067,50
DF - ETR3 a	1.270.751,39	233.865,64	1.504.617,03	863.565,29	44.828,04	908.393,33
DF - ETR1 b	1.518.429,99	637.150,95	2.155.580,94	862.088,62	51.420,90	913.509,52
DF - ETR3 c	1.594.637,34	188.585,09	1.783.222,42	863.565,29	44.828,04	908.393,33
DF - ETR1 d	1.197.702,64	637.258,74	1.834.961,38	862.088,62	51.420,90	913.509,52
DF - ETR3 e	1.273.321,44	194.922,80	1.468.244,24	863.565,29	44.828,04	908.393,33
FDA - ETR1 0	1.425.562,34	512.221,38	1.937.783,72	823.346,49	31.800,00	855.146,49
FDA - ETR2 0	1.443.356,71	325.858,64	1.769.215,36	824.507,70	29.938,56	854.446,26
FDA - ETR3 0	1.454.984,55	201.355,26	1.656.339,81	823.346,49	38.682,18	862.028,67
FDA - ETR1 a	1.154.240,99	512.221,38	1.666.462,37	823.346,49	31.800,00	855.146,49
FDA - ETR2 a	1.172.038,19	325.862,76	1.497.900,95	824.507,70	29.938,56	854.446,26
FDA - ETR3 a	1.183.663,19	201.355,26	1.385.018,45	823.346,49	38.682,18	862.028,67
FDA - ETR1 b	1.425.562,34	516.819,79	1.942.382,13	823.346,49	31.800,00	855.146,49
FDA - ETR3 c	1.457.024,87	185.435,14	1.642.460,01	823.346,49	38.682,18	862.028,67
FDA - ETR1 d	1.154.240,99	516.819,79	1.671.060,78	823.346,49	31.800,00	855.146,49
FDA - ETR3 e	1.185.703,52	185.435,14	1.371.138,66	823.346,49	38.682,18	862.028,67
FDD - ETR1 0	1.280.982,71	475.634,68	1.756.617,39	822.360,93	31.249,48	853.610,41
FDD - ETR2 0	1.291.499,54	307.766,01	1.599.265,55	823.522,15	29.388,78	852.910,93
FDD - ETR3 0	1.307.846,70	198.274,92	1.506.121,62	822.360,93	37.793,88	860.154,81
FDD - ETR1 a	1.037.699,14	475.610,28	1.513.309,42	822.360,93	31.249,48	853.610,41
FDD - ETR2 a	1.051.525,08	312.217,46	1.363.742,54	823.522,15	29.388,78	852.910,93
FDD - ETR3 a	1.064.746,07	198.346,51	1.263.092,59	822.360,93	37.793,88	860.154,81
FDD - ETR1 b	1.280.982,71	480.291,75	1.761.274,47	822.360,93	31.249,48	853.610,41
FDD - ETR3 c	1.304.665,06	176.881,60	1.481.546,66	822.360,93	37.793,88	860.154,81
FDD - ETR1 d	1.061.294,83	390.115,44	1.451.410,27	822.360,93	31.249,48	853.610,41
FDD - ETR3 e	1.061.563,57	176.946,78	1.238.510,35	822.360,93	37.793,88	860.154,81

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação aos valores presente, em todos os nove casos avaliados os menores custos foram encontrados na tecnologia “FDD – ETR3 e” e os maiores custos foram encontrados na tecnologia “DF – ETR1 b”, ou seja, dupla filtração com leitos de drenagem, sendo os filtros e tanques em chapa de aço e os leitos em alvenaria.

O baixo custo da “FDD – ETR3 e”, como explicado anteriormente, pode ser explicado devido ao menor número de unidades e ao preço do concreto. Dentre os cenários analisados, essa alternativa possui valores presentes entre R\$ 4.813.351,39 (para uma vazão de 10 L/s e período de projeto de 10 anos) e R\$ 9.360.778,17 (para uma vazão de 40 L/s e período de projeto de 30 anos).

Tabela 23 – Valores presentes reais e obtidos com o modelo e erro relativo para períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos e vazão de projeto de 10 L/s

Tecnologia	Período de projeto = 10 anos			Período de projeto = 20 anos			Período de projeto = 30 anos		
	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo
DF - ETR1 0	5.309.393,60	5.309.393,21	7,27E-08	6.558.862,91	6.558.862,59	4,98E-08	6.961.158,59	6.961.158,28	4,42E-08
DF - ETR2 0	5.213.610,36	5.213.612,13	3,39E-07	6.461.654,48	6.461.656,25	2,75E-07	6.863.491,29	6.863.493,06	2,59E-07
DF - ETR3 0	5.052.755,47	5.052.749,70	1,14E-06	6.287.326,11	6.287.320,34	9,18E-07	6.684.824,82	6.684.819,04	8,64E-07
DF - ETR1 a	5.168.140,34	5.168.133,53	1,32E-06	6.417.609,66	6.417.602,90	1,05E-06	6.819.905,34	6.819.898,60	9,88E-07
DF - ETR2 a	5.072.330,23	5.072.326,36	7,62E-07	6.320.374,35	6.320.370,49	6,11E-07	6.722.211,16	6.722.207,30	5,74E-07
DF - ETR3 a	4.911.681,37	4.911.673,72	1,56E-06	6.146.252,01	6.146.244,35	1,25E-06	6.543.750,72	6.543.743,06	1,17E-06
DF - ETR1 b	5.312.885,54	5.312.883,74	3,38E-07	6.562.354,85	6.562.353,12	2,64E-07	6.964.650,53	6.964.648,82	2,46E-07
DF - ETR3 c	5.035.728,84	5.035.726,04	5,57E-07	6.270.299,49	6.270.296,68	4,48E-07	6.667.798,19	6.667.795,38	4,22E-07
DF - ETR1 d	5.171.632,28	5.171.624,06	1,59E-06	6.421.101,59	6.421.093,43	1,27E-06	6.823.397,27	6.823.389,13	1,19E-06
DF - ETR3 e	4.898.446,16	4.898.439,72	1,32E-06	6.133.016,80	6.133.010,35	1,05E-06	6.530.515,51	6.530.509,06	9,88E-07
FDA - ETR1 0	5.186.940,08	5.186.958,37	3,53E-06	6.407.400,18	6.407.419,31	2,99E-06	6.800.355,67	6.800.375,07	2,85E-06
FDA - ETR2 0	5.067.200,93	5.067.219,71	3,71E-06	6.289.692,14	6.289.711,35	3,06E-06	6.683.301,59	6.683.320,95	2,90E-06
FDA - ETR3 0	5.054.572,46	5.054.586,04	2,69E-06	6.290.291,47	6.290.305,07	2,16E-06	6.688.159,91	6.688.173,53	2,04E-06
FDA - ETR1 a	5.055.927,88	5.055.944,07	3,20E-06	6.276.387,98	6.276.405,02	2,72E-06	6.669.343,46	6.669.360,78	2,60E-06
FDA - ETR2 a	4.944.402,75	4.944.414,77	2,43E-06	6.166.893,96	6.166.906,41	2,02E-06	6.560.503,41	6.560.516,01	1,92E-06
FDA - ETR3 a	4.923.560,26	4.923.571,75	2,33E-06	6.159.279,26	6.159.290,78	1,87E-06	6.557.147,71	6.557.159,23	1,76E-06
FDA - ETR1 b	5.188.764,75	5.188.780,10	2,96E-06	6.409.224,85	6.409.241,04	2,53E-06	6.802.180,34	6.802.196,80	2,42E-06
FDA - ETR3 c	5.046.157,98	5.046.176,74	3,72E-06	6.281.876,98	6.281.895,76	2,99E-06	6.679.745,42	6.679.764,22	2,81E-06
FDA - ETR1 d	5.057.752,55	5.057.765,81	2,62E-06	6.278.212,65	6.278.226,75	2,25E-06	6.671.168,13	6.671.182,51	2,15E-06
FDA - ETR3 e	4.915.145,77	4.915.162,44	3,39E-06	6.150.864,77	6.150.881,47	2,71E-06	6.548.733,22	6.548.749,93	2,55E-06
FDD - ETR1 0	5.095.701,51	5.095.696,90	9,05E-07	6.316.093,39	6.316.088,36	7,97E-07	6.709.026,91	6.709.021,74	7,71E-07
FDD - ETR2 0	4.973.218,10	4.973.214,16	7,93E-07	6.192.184,79	6.192.180,40	7,10E-07	6.584.659,45	6.584.654,91	6,89E-07
FDD - ETR3 0	4.934.486,32	4.934.483,48	5,75E-07	6.162.232,80	6.162.229,92	4,67E-07	6.557.534,31	6.557.531,42	4,41E-07
FDD - ETR1 a	4.973.903,65	4.973.902,77	1,76E-07	6.194.295,53	6.194.294,23	2,10E-07	6.587.229,06	6.587.227,62	2,18E-07
FDD - ETR2 a	4.860.468,71	4.860.467,96	1,54E-07	6.079.435,40	6.079.434,20	1,98E-07	6.471.910,05	6.471.908,70	2,08E-07
FDD - ETR3 a	4.817.006,16	4.817.007,38	2,54E-07	6.044.752,64	6.044.753,82	1,96E-07	6.440.054,15	6.440.055,32	1,82E-07
FDD - ETR1 b	5.097.525,86	5.097.522,33	6,93E-07	6.317.917,74	6.317.913,79	6,26E-07	6.710.851,26	6.710.847,17	6,09E-07
FDD - ETR3 c	4.927.157,09	4.927.155,88	2,47E-07	6.154.903,58	6.154.902,32	2,04E-07	6.550.205,09	6.550.203,82	1,94E-07
FDD - ETR1 d	4.936.595,43	4.936.595,64	4,13E-08	6.156.987,31	6.156.987,10	3,56E-08	6.549.920,84	6.549.920,48	5,42E-08
FDD - ETR3 e	4.813.351,39	4.813.353,91	5,23E-07	6.041.097,88	6.041.100,36	4,10E-07	6.436.399,39	6.436.401,85	3,83E-07

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 24 – Valores presentes reais e obtidos com o modelo e erro relativo para períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos e vazão de projeto de 20 L/s

Tecnologia	Período de projeto = 10 anos			Período de projeto = 20 anos			Período de projeto = 30 anos		
	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo
DF - ETR1 0	6.351.699,13	6.351.691,00	1,28E-06	7.842.837,95	7.842.828,66	1,19E-06	8.322.944,74	8.322.935,07	1,16E-06
DF - ETR2 0	6.246.363,46	6.246.364,08	9,94E-08	7.737.330,95	7.737.330,26	8,93E-08	8.217.382,58	8.217.381,47	1,35E-07
DF - ETR3 0	6.086.927,11	6.086.907,30	3,25E-06	7.575.131,29	7.575.111,36	2,63E-06	8.054.293,21	8.054.273,24	2,48E-06
DF - ETR1 a	6.154.772,46	6.154.744,58	4,53E-06	7.645.911,28	7.645.882,24	3,80E-06	8.126.018,07	8.125.988,66	3,62E-06
DF - ETR2 a	6.041.883,17	6.041.865,00	3,01E-06	7.532.850,66	7.532.831,17	2,59E-06	8.012.902,29	8.012.882,38	2,48E-06
DF - ETR3 a	5.892.668,76	5.892.641,98	4,54E-06	7.380.872,94	7.380.846,04	3,64E-06	7.860.034,86	7.860.007,92	3,43E-06
DF - ETR1 b	6.357.180,31	6.357.166,24	2,21E-06	7.848.319,13	7.848.303,90	1,94E-06	8.328.425,92	8.328.410,32	1,87E-06
DF - ETR3 c	6.065.104,66	6.065.090,52	2,33E-06	7.553.308,84	7.553.294,58	1,89E-06	8.032.470,75	8.032.456,46	1,78E-06
DF - ETR1 d	6.160.253,64	6.160.219,82	5,49E-06	7.651.392,46	7.651.357,48	4,57E-06	8.131.499,25	8.131.463,90	4,35E-06
DF - ETR3 e	5.870.935,89	5.870.914,20	3,69E-06	7.359.140,07	7.359.118,26	2,96E-06	7.838.301,98	7.838.280,13	2,79E-06
FDA - ETR1 0	6.005.015,19	6.005.083,91	1,14E-05	7.426.845,60	7.426.916,92	9,60E-06	7.884.636,93	7.884.709,09	9,15E-06
FDA - ETR2 0	5.853.412,33	5.853.484,84	1,24E-05	7.273.817,54	7.273.891,87	1,02E-05	7.731.150,01	7.731.224,91	9,69E-06
FDA - ETR3 0	5.813.742,20	5.813.791,87	8,54E-06	7.247.371,67	7.247.421,50	6,88E-06	7.708.961,99	7.709.011,87	6,47E-06
FDA - ETR1 a	5.832.071,76	5.832.134,94	1,08E-05	7.253.902,16	7.253.967,95	9,07E-06	7.711.693,50	7.711.760,12	8,64E-06
FDA - ETR2 a	5.682.008,78	5.682.055,49	8,22E-06	7.102.414,00	7.102.462,52	6,83E-06	7.559.746,46	7.559.795,57	6,50E-06
FDA - ETR3 a	5.637.463,57	5.637.507,69	7,83E-06	7.071.093,04	7.071.137,32	6,26E-06	7.532.683,35	7.532.727,70	5,89E-06
FDA - ETR1 b	6.007.801,58	6.007.858,34	9,45E-06	7.429.631,99	7.429.691,35	7,99E-06	7.887.423,33	7.887.483,52	7,63E-06
FDA - ETR3 c	5.800.193,82	5.800.259,94	1,14E-05	7.233.823,28	7.233.889,57	9,16E-06	7.695.413,60	7.695.479,94	8,62E-06
FDA - ETR1 d	5.834.858,15	5.834.909,37	8,78E-06	7.256.688,56	7.256.742,38	7,42E-06	7.714.479,89	7.714.534,55	7,09E-06
FDA - ETR3 e	5.623.915,18	5.623.975,77	1,08E-05	7.057.544,65	7.057.605,40	8,61E-06	7.519.134,97	7.519.195,77	8,09E-06
FDD - ETR1 0	5.867.799,05	5.868.080,29	4,79E-05	7.289.187,30	7.289.499,53	4,28E-05	7.746.836,27	7.747.158,48	4,16E-05
FDD - ETR2 0	5.749.169,08	5.749.150,31	3,27E-06	7.169.165,00	7.169.144,33	2,88E-06	7.626.365,68	7.626.344,40	2,79E-06
FDD - ETR3 0	5.710.457,73	5.710.442,20	2,72E-06	7.143.466,65	7.143.450,87	2,21E-06	7.604.857,16	7.604.841,31	2,09E-06
FDD - ETR1 a	5.707.384,74	5.707.679,75	5,17E-05	7.128.772,99	7.129.098,99	4,57E-05	7.586.421,96	7.586.757,94	4,43E-05
FDD - ETR2 a	5.588.754,77	5.588.747,83	1,24E-06	7.008.750,69	7.008.741,85	1,26E-06	7.465.951,37	7.465.941,92	1,27E-06
FDD - ETR3 a	5.557.629,98	5.557.630,51	9,61E-08	6.990.638,89	6.990.639,18	4,11E-08	7.452.029,41	7.452.029,62	2,79E-08
FDD - ETR1 b	5.870.585,12	5.870.870,15	4,86E-05	7.291.973,37	7.292.289,39	4,33E-05	7.749.622,34	7.749.948,34	4,21E-05
FDD - ETR3 c	5.703.411,47	5.703.402,73	1,53E-06	7.136.420,38	7.136.411,40	1,26E-06	7.597.810,90	7.597.801,84	1,19E-06
FDD - ETR1 d	5.667.773,12	5.668.072,50	5,28E-05	7.089.161,37	7.089.491,74	4,66E-05	7.546.810,34	7.547.150,69	4,51E-05
FDD - ETR3 e	5.543.176,32	5.543.181,94	1,01E-06	6.976.185,24	6.976.190,61	7,70E-07	7.437.575,76	7.437.581,05	7,12E-07

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 25 – Valores presentes reais e obtidos com o modelo e erro relativo para períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos e vazão de projeto de 40 L/s

Tecnologia	Período de projeto = 10 anos			Período de projeto = 20 anos			Período de projeto = 30 anos		
	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo	Valor presente total (modelo)	Valor presente total (real)	Erro relativo
DF - ETR1 0	8.242.214,65	8.242.167,65	5,70E-06	10.204.937,34	10.204.883,07	5,32E-06	10.836.881,52	10.836.824,91	5,22E-06
DF - ETR2 0	7.848.550,89	7.848.539,07	1,51E-06	9.730.909,95	9.730.890,31	2,02E-06	10.336.979,19	10.336.957,03	2,14E-06
DF - ETR3 0	7.879.055,86	7.878.976,69	1,00E-05	9.831.347,49	9.831.267,74	8,11E-06	10.459.933,14	10.459.853,21	7,64E-06
DF - ETR1 a	7.921.665,82	7.921.548,09	1,49E-05	9.884.388,51	9.884.263,51	1,26E-05	10.516.332,69	10.516.205,35	1,21E-05
DF - ETR2 a	7.535.020,72	7.534.939,74	1,07E-05	9.417.379,77	9.417.290,98	9,43E-06	10.023.449,01	10.023.357,70	9,11E-06
DF - ETR3 a	7.568.240,88	7.568.136,69	1,38E-05	9.520.532,51	9.520.427,73	1,10E-05	10.149.118,16	10.149.013,20	1,03E-05
DF - ETR1 b	8.251.548,32	8.251.477,11	8,63E-06	10.214.271,01	10.214.192,53	7,68E-06	10.846.215,19	10.846.134,37	7,45E-06
DF - ETR3 c	7.846.804,55	7.846.742,08	7,96E-06	9.799.096,18	9.799.033,13	6,43E-06	10.427.681,83	10.427.618,59	6,06E-06
DF - ETR1 d	7.930.999,49	7.930.857,55	1,79E-05	9.893.722,18	9.893.572,97	1,51E-05	10.525.666,36	10.525.514,81	1,44E-05
DF - ETR3 e	7.531.847,30	7.531.763,89	1,11E-05	9.484.138,93	9.484.054,94	8,86E-06	10.112.724,58	10.112.640,41	8,32E-06
FDA - ETR1 0	7.603.111,16	7.603.380,26	3,54E-05	9.427.272,61	9.427.550,71	2,95E-05	10.014.603,78	10.014.884,78	2,81E-05
FDA - ETR2 0	7.430.092,33	7.430.380,67	3,88E-05	9.252.828,59	9.253.124,39	3,20E-05	9.839.700,88	9.839.999,09	3,03E-05
FDA - ETR3 0	7.365.293,77	7.365.488,50	2,64E-05	9.203.486,00	9.203.681,58	2,13E-05	9.795.334,70	9.795.530,56	2,00E-05
FDA - ETR1 a	7.331.808,20	7.332.058,91	3,42E-05	9.155.969,65	9.156.229,36	2,84E-05	9.743.300,81	9.743.563,43	2,70E-05
FDA - ETR2 a	7.158.878,94	7.159.066,26	2,62E-05	8.981.615,20	8.981.809,98	2,17E-05	9.568.487,49	9.568.684,68	2,06E-05
FDA - ETR3 a	7.093.990,80	7.094.167,14	2,49E-05	8.932.183,03	8.932.360,23	1,98E-05	9.524.031,74	9.524.209,20	1,86E-05
FDA - ETR1 b	7.607.758,01	7.607.978,67	2,90E-05	9.431.919,46	9.432.149,12	2,43E-05	10.019.250,63	10.019.483,19	2,32E-05
FDA - ETR3 c	7.351.352,43	7.351.608,70	3,49E-05	9.189.544,67	9.189.801,79	2,80E-05	9.781.393,37	9.781.650,76	2,63E-05
FDA - ETR1 d	7.336.455,04	7.336.657,31	2,76E-05	9.160.616,49	9.160.827,77	2,31E-05	9.747.947,66	9.748.161,83	2,20E-05
FDA - ETR3 e	7.080.049,46	7.080.287,35	3,36E-05	8.918.241,70	8.918.480,43	2,68E-05	9.510.090,40	9.510.329,41	2,51E-05
FDD - ETR1 0	7.412.581,53	7.412.493,24	1,19E-05	9.233.629,83	9.233.533,89	1,04E-05	9.819.958,65	9.819.860,24	1,00E-05
FDD - ETR2 0	7.250.790,82	7.250.714,89	1,05E-05	9.070.413,93	9.070.330,32	9,22E-06	9.656.283,87	9.656.197,79	8,91E-06
FDD - ETR3 0	7.203.476,20	7.203.412,09	8,90E-06	9.037.852,32	9.037.787,14	7,21E-06	9.628.472,34	9.628.406,81	6,81E-06
FDD - ETR1 a	7.169.221,28	7.169.185,26	5,02E-06	8.990.269,58	8.990.225,91	4,86E-06	9.576.598,40	9.576.552,27	4,82E-06
FDD - ETR2 a	7.015.223,06	7.015.191,87	4,45E-06	8.834.846,18	8.834.807,30	4,40E-06	9.420.716,12	9.420.674,77	4,39E-06
FDD - ETR3 a	6.960.384,70	6.960.383,05	2,36E-07	8.794.760,81	8.794.758,10	3,08E-07	9.385.380,83	9.385.377,77	3,26E-07
FDD - ETR1 b	7.417.223,47	7.417.150,31	9,86E-06	9.238.271,77	9.238.190,96	8,75E-06	9.824.600,59	9.824.517,32	8,48E-06
FDD - ETR3 c	7.178.873,54	7.178.837,13	5,07E-06	9.013.249,66	9.013.212,18	4,16E-06	9.603.869,68	9.603.831,85	3,94E-06
FDD - ETR1 d	7.107.304,08	7.107.286,11	2,53E-06	8.928.352,38	8.928.326,77	2,87E-06	9.514.681,19	9.514.653,12	2,95E-06
FDD - ETR3 e	6.935.782,04	6.935.800,82	2,71E-06	8.770.158,16	8.770.175,87	2,02E-06	9.360.778,17	9.360.795,54	1,86E-06

Fonte: elaborado pelo autor.

O alto custo da “DF – ETR1 b”, por sua vez, pode ser explicado pelo fato de a ETR1 apresentar, além das unidades em comum com as outras ETRs, tanques de clarificação/adensamento e casa de bombas. A construção dessas unidades aumenta o custo de investimento inicial. Além disso, o uso de energia elétrica para o funcionamento das bombas aumenta o custo de funcionamento. Dentre os cenários avaliados, a média dos valores presentes dos projetos de ETA+ETR foi de aproximadamente 7,3 milhões de reais.

A partir dos resultados de valor presente, pode-se verificar ainda a presença da economia de escala, uma vez que de uma vazão para a seguinte o valor de vazão é dobrado (de 10 L/s para 20 L/s e de 20 L/s para 40 L/s), mas o valor presente é menor que o dobro. Portanto, o custo de cada projeto de ETA+ETR por população atendida diminui para maiores vazões de projeto.

Para uma melhor visualização dos custos da tecnologia de “FDD – ETR3 e”, foram calculados os custos do tratamento de água por família atendida e por habitante. Dessa forma, tem-se uma ideia de quanto seria o valor da conta de água por moradia e qual seria o impacto desse custo para as famílias atendidas, levando-se em consideração as limitações financeiras das pequenas comunidades.

Nesse sentido, a Tabela 26 apresenta os custos mensais do tratamento de água por família atendida e por habitante, considerando a tecnologia de “FDD – ETR3 e”; vazões de projeto de 10, 20 e 40 L/s; períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos; taxa de retorno de 12%; e famílias de 4 pessoas.

A partir da Tabela 26, pode-se verificar que os custos mensais do tratamento de água por família atendida variam entre, aproximadamente, 20 e 60 reais. Esses valores correspondem a cerca de 2% a 6% do salário mínimo em vigor a partir de janeiro de 2019 (R\$ 998,00). Os custos por habitante, por sua vez, variam em torno de 5 a 15 reais.

Levando-se em consideração que as famílias atendidas pertencem a pequenas comunidades (com condições financeiras, em geral, precárias), o valor da conta de água pode ter um impacto significativo sobre o orçamento das famílias. Além disso, os resultados mostrados na Tabela 26 correspondem somente ao tratamento de água mais viável economicamente encontrado pelo modelo desenvolvido no presente trabalho.

Dessa forma, a ausência de subsídios governamentais pode inviabilizar a instalação de estações de tratamento em pequenas comunidades (principalmente as com menores condições financeiras).

Tabela 26 – Custos mensais do tratamento água por família atendida e por habitante

Vazão de projeto (L/s)	Período de projeto (anos)	Valor presente da tecnologia "FDD - ETR3 e"	Custo anual da tecnologia "FDD - ETR3 e"	Número de habitantes atendidos	Número de pessoas por família	Número de famílias	Custo mensal do tratamento de água por família	Custo mensal do tratamento de água por habitante
10	10	R\$ 4.813.351,39	R\$ 851.886,97	5000	4	1250	R\$ 56,79	R\$ 14,20
	20	R\$ 6.041.097,88	R\$ 808.774,81	5000	4	1250	R\$ 53,92	R\$ 13,48
	30	R\$ 6.436.399,39	R\$ 799.038,16	5000	4	1250	R\$ 53,27	R\$ 13,32
20	10	R\$ 5.543.176,32	R\$ 981.054,43	10000	4	2500	R\$ 32,70	R\$ 8,18
	20	R\$ 6.976.185,24	R\$ 933.963,17	10000	4	2500	R\$ 31,13	R\$ 7,78
	30	R\$ 7.437.575,76	R\$ 923.327,86	10000	4	2500	R\$ 30,78	R\$ 7,69
40	10	R\$ 6.935.782,04	R\$ 1.227.523,59	20000	4	5000	R\$ 20,46	R\$ 5,11
	20	R\$ 8.770.158,16	R\$ 1.174.138,08	20000	4	5000	R\$ 19,57	R\$ 4,89
	30	R\$ 9.360.778,17	R\$ 1.162.081,24	20000	4	5000	R\$ 19,37	R\$ 4,84

Fonte: elaborado pelo autor.

Para análise dos resultados, também foi calculada a contribuição dos custos da ETR para o valor presente total dos projetos de ETA+ETR analisados. A Tabela 27 mostra as porcentagens medidas de contribuição da ETR para o valor presente total, considerando os nove cenários analisados. Essas porcentagens foram determinadas para a contribuição da ETR em cada tecnologia de filtração direta, e a contribuição da ETR para cada gerenciamento do resíduo. Tomando todos os cenários analisados, essa contribuição foi em média 6,54%, o que corresponde a uma parcela pequena dos custos dos projetos de ETA+ETR, fazendo com que seja viável o tratamento, na própria estação, dos resíduos gerados.

Na análise, foi calculada, ainda, a porcentagem média de contribuição dos itens de funcionamento para o valor presente total, considerando os nove cenários analisados. Como pode ser visto na Tabela 28, a contribuição do funcionamento aumenta conforme o período de projeto é estendido, o que é esperado. Conforme se aumenta o período de projeto, o tempo de funcionamento da estação cresce, aumentando a contribuição dos seus custos quando se analisa o período de construção e operação como um todo.

As porcentagens mostradas na Tabela 28 foram determinadas para cada uma das tecnologias de filtração direta e para cada tecnologia de gerenciamento dos resíduos. Tomando todos os cenários analisados, a contribuição da etapa de funcionamento varia entre 76,81% (para um período de projeto de 10 anos) e 82,51% (para um período de projeto de 30 anos).

Nesse sentido, pode-se concluir que os custos de operação das estações são predominantes em relação aos custos de investimento inicial. Isso pode ser explicado devido ao pequeno porte das estações, que possuem etapas de tratamento menos robustas (menor contribuição dos custos de investimento inicial) e, ao mesmo tempo, possuem requerimentos mínimos de operação, como funcionários e testes de qualidade da água (maior contribuição dos custos de funcionamento).

Tabela 27 – Porcentagem média de contribuição dos custos da ETR para o valor presente total, considerando os nove cenários avaliados

<b>Tecnologia</b>	<b>Porcentagem de contribuição da ETR</b>
DF	7,33%
FDA	6,32%
FDD	5,98%
ETR1	8,23%
ETR2	6,23%
ETR3	5,01%
<b>Média</b>	<b>6,54%</b>

Fonte: elaborado pelo autor.



Tabela 28 – Porcentagem média de contribuição da etapa de funcionamento para o valor presente total, considerando os nove cenários avaliados

Tecnologia	Porcentagem de contribuição do funcionamento		
	Período de projeto de 10 anos	Período de projeto de 20 anos	Período de projeto de 30 anos
DF	76,01%	80,72%	81,86%
FDA	76,46%	81,10%	82,23%
FDD	77,95%	82,36%	83,43%
ETR1	75,29%	80,11%	81,28%
ETR2	76,77%	81,36%	82,48%
ETR3	78,34%	82,70%	83,75%
<b>Média</b>	<b>76,81%</b>	<b>81,39%</b>	<b>82,51%</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

O impacto nos custos devido às mudanças nos métodos construtivos, por sua vez, pode ser visto na Tabela 29, na Tabela 30 e na Tabela 31. Cada uma dessas tabelas mostra um tipo de filtração direta (DF, FDA e FDD, respectivamente). Para cada vazão e cada período de projeto, as tecnologias foram mostradas em ordem crescente de valor presente total, ou seja, as tecnologias mais baratas encontram-se no topo. As tecnologias com métodos construtivos originais (zero) estão mostradas em azul.

A partir da Tabela 29, da Tabela 30 e da Tabela 31, pode-se perceber que as mudanças de métodos construtivos resultaram em uma diminuição dos valores presentes totais. A única exceção foi a mudança do método construtivos dos leitos de drenagem de concreto para alvenaria (sem mudar o método construtivo das ETAs), que resultou em um aumento dos custos. Neste caso, o custo da alvenaria em si foi maior que a do concreto. Além disso, para a utilização da alvenaria, foi necessário se acrescentar alguns custos relacionados ao reboco, impermeabilização e pintura da superfície.

Já quando há mudança no método construtivo da ETA, esses custos com os leitos de drenagem não tiveram um impacto nos custos totais o suficiente para deixar a tecnologia menos viável economicamente que a original. No entanto, algumas particularidades de cada pequena comunidade, como sua localização, podem alterar esse cenário, fazendo com que a alvenaria seja mais acessível ou disponível que o concreto, ou o seu transporte mais barato.

Tabela 29 – Tecnologias de dupla filtração ordenadas de forma crescente de valor presente total

Período de projeto = 10 anos	Período de projeto = 20 anos	Período de projeto = 30 anos
<b>Vazão = 10 L/s</b>		
DF - ETR3 e	DF - ETR3 e	DF - ETR3 e
DF - ETR3 a	DF - ETR3 a	DF - ETR3 a
DF - ETR3 c	DF - ETR3 c	DF - ETR3 c
DF - ETR3 0	DF - ETR3 0	DF - ETR3 0
DF - ETR2 a	DF - ETR2 a	DF - ETR2 a
DF - ETR1 a	DF - ETR1 a	DF - ETR1 a
DF - ETR1 d	DF - ETR1 d	DF - ETR1 d
DF - ETR2 0	DF - ETR2 0	DF - ETR2 0
DF - ETR1 0	DF - ETR1 0	DF - ETR1 0
DF - ETR1 b	DF - ETR1 b	DF - ETR1 b
<b>Vazão = 20 L/s</b>		
DF - ETR3 e	DF - ETR3 e	DF - ETR3 e
DF - ETR3 a	DF - ETR3 a	DF - ETR3 a
DF - ETR2 a	DF - ETR2 a	DF - ETR2 a
DF - ETR3 c	DF - ETR3 c	DF - ETR3 c
DF - ETR3 0	DF - ETR3 0	DF - ETR3 0
DF - ETR1 a	DF - ETR1 a	DF - ETR1 a
DF - ETR1 d	DF - ETR1 d	DF - ETR1 d
DF - ETR2 0	DF - ETR2 0	DF - ETR2 0
DF - ETR1 0	DF - ETR1 0	DF - ETR1 0
DF - ETR1 b	DF - ETR1 b	DF - ETR1 b
<b>Vazão = 40 L/s</b>		
DF - ETR3 e	DF - ETR2 a	DF - ETR2 a
DF - ETR2 a	DF - ETR3 e	DF - ETR3 e
DF - ETR3 a	DF - ETR3 a	DF - ETR3 a
DF - ETR3 c	DF - ETR2 0	DF - ETR2 0
DF - ETR2 0	DF - ETR3 c	DF - ETR3 c
DF - ETR3 0	DF - ETR3 0	DF - ETR3 0
DF - ETR1 a	DF - ETR1 a	DF - ETR1 a
DF - ETR1 d	DF - ETR1 d	DF - ETR1 d
DF - ETR1 0	DF - ETR1 0	DF - ETR1 0
DF - ETR1 b	DF - ETR1 b	DF - ETR1 b

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 29, da Tabela 30 e da Tabela 31, pode-se perceber também que, em geral, as tecnologias de FDD possuem menores custos, seguidas das de FDA. Isso pode ser explicado pelo fato de a FDD possui menos unidades para o tratamento de água (não possuem câmara de carga), seguida da FDA (possuem menos filtros que a DF). Além disso, em geral, as tecnologias de ETR3 são as mais baratas, seguidas pelas de ETR2. Nesse sentido, os projetos com menor custo são os com “ETR3 e” seguidos dos com “ETR3 a”, apresentando filtros e tanques da ETA em concreto e tanques de regularização em concreto e em chapa de aço, respectivamente.

Tabela 30 – Tecnologias de filtração direta ascendente ordenadas de forma crescente de valor presente total

Período de projeto = 10 anos	Período de projeto = 20 anos	Período de projeto = 30 anos
<b>Vazão = 10 L/s</b>		
FDA - ETR3 e	FDA - ETR3 e	FDA - ETR3 e
FDA - ETR3 a	FDA - ETR3 a	FDA - ETR3 a
FDA - ETR2 a	FDA - ETR2 a	FDA - ETR2 a
FDA - ETR3 c	FDA - ETR1 a	FDA - ETR1 a
FDA - ETR3 0	FDA - ETR1 d	FDA - ETR1 d
FDA - ETR1 a	FDA - ETR3 c	FDA - ETR3 c
FDA - ETR1 d	FDA - ETR2 0	FDA - ETR2 0
FDA - ETR2 0	FDA - ETR3 0	FDA - ETR3 0
FDA - ETR1 0	FDA - ETR1 0	FDA - ETR1 0
FDA - ETR1 b	FDA - ETR1 b	FDA - ETR1 b
<b>Vazão = 20 L/s</b>		
FDA - ETR3 e	FDA - ETR3 e	FDA - ETR3 e
FDA - ETR3 a	FDA - ETR3 a	FDA - ETR3 a
FDA - ETR2 a	FDA - ETR2 a	FDA - ETR2 a
FDA - ETR3 c	FDA - ETR3 c	FDA - ETR3 c
FDA - ETR3 0	FDA - ETR3 0	FDA - ETR3 0
FDA - ETR1 a	FDA - ETR1 a	FDA - ETR1 a
FDA - ETR1 d	FDA - ETR1 d	FDA - ETR1 d
FDA - ETR2 0	FDA - ETR2 0	FDA - ETR2 0
FDA - ETR1 0	FDA - ETR1 0	FDA - ETR1 0
FDA - ETR1 b	FDA - ETR1 b	FDA - ETR1 b
<b>Vazão = 40 L/s</b>		
FDA - ETR3 e	FDA - ETR3 e	FDA - ETR3 e
FDA - ETR3 a	FDA - ETR3 a	FDA - ETR3 a
FDA - ETR2 a	FDA - ETR2 a	FDA - ETR2 a
FDA - ETR1 a	FDA - ETR1 a	FDA - ETR1 a
FDA - ETR1 d	FDA - ETR1 d	FDA - ETR1 d
FDA - ETR3 c	FDA - ETR3 c	FDA - ETR3 c
FDA - ETR3 0	FDA - ETR3 0	FDA - ETR3 0
FDA - ETR2 0	FDA - ETR2 0	FDA - ETR2 0
FDA - ETR1 0	FDA - ETR1 0	FDA - ETR1 0
FDA - ETR1 b	FDA - ETR1 b	FDA - ETR1 b

Fonte: elaborado pelo autor.

As vantagens econômicas da ETR3 (menor custo de investimento inicial) e da ETR2 (menor custo de funcionamento) foram apresentadas anteriormente. Além das vantagens econômicas já discutidas da mudança do método construtivo de chapa de aço para concreto, essa mudança também pode ser positiva para as pequenas comunidades, devido a vários fatores.

Em primeiro lugar o concreto pode ser mais facilmente transportado, uma vez que o transporte dos sacos de cimento e dos agregados é mais fácil que o transporte de chapas de aço. Em segundo lugar, o concreto pode ser preparado na obra, ou seja, não precisa ser transportado pronto, como a chapa de aço. Em terceiro lugar, a construção com concreto pode

usar mão-de-obra local, ao contrário da instalação da chapa de aço, que requer mão-de-obra especializada. Por fim, o concreto não necessita de pintura especial como a chapa de aço. A tinta necessária para a pintura da chapa de aço, além de encarecer os custos, pode ser de difícil acesso e disponibilidade à pequena comunidade.

Tabela 31 – Tecnologias de filtração direta descendente ordenadas de forma crescente de valor presente total

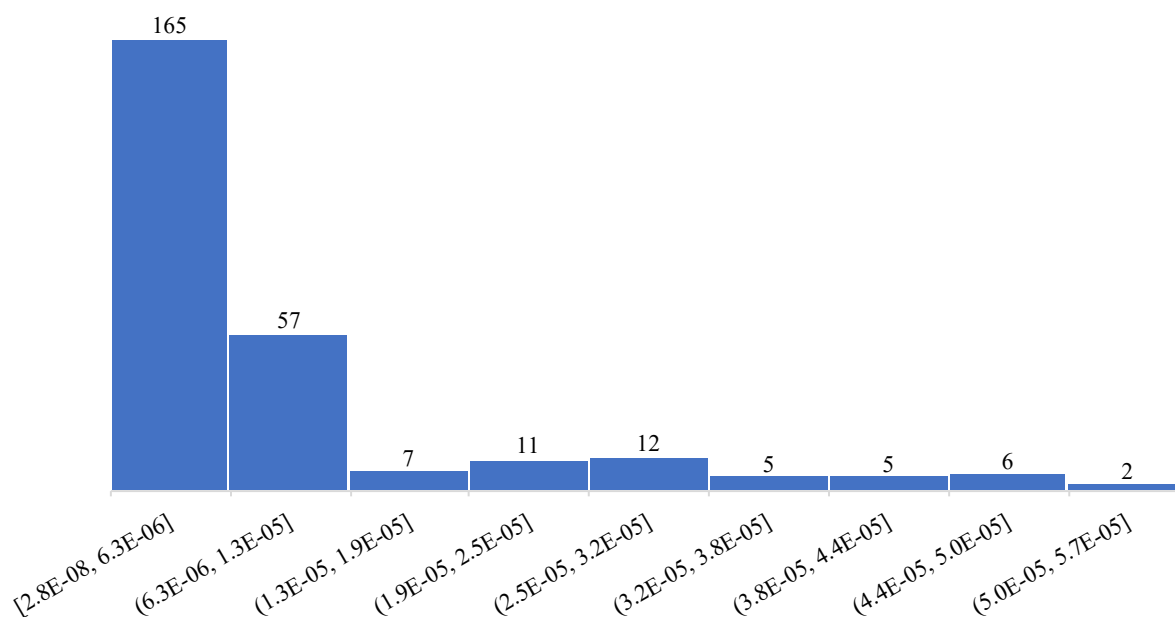
Período de projeto = 10 anos	Período de projeto = 20 anos	Período de projeto = 30 anos
<b>Vazão = 10 L/s</b>		
FDD - ETR3 e	FDD - ETR3 e	FDD - ETR3 e
FDD - ETR3 a	FDD - ETR3 a	FDD - ETR3 a
FDD - ETR2 a	FDD - ETR2 a	FDD - ETR2 a
FDD - ETR3 c	FDD - ETR3 c	FDD - ETR1 d
FDD - ETR3 0	FDD - ETR1 d	FDD - ETR3 c
FDD - ETR1 d	FDD - ETR3 0	FDD - ETR3 0
FDD - ETR2 0	FDD - ETR2 0	FDD - ETR2 0
FDD - ETR1 a	FDD - ETR1 a	FDD - ETR1 a
FDD - ETR1 0	FDD - ETR1 0	FDD - ETR1 0
FDD - ETR1 b	FDD - ETR1 b	FDD - ETR1 b
<b>Vazão = 20 L/s</b>		
FDD - ETR3 e	FDD - ETR3 e	FDD - ETR3 e
FDD - ETR3 a	FDD - ETR3 a	FDD - ETR3 a
FDD - ETR2 a	FDD - ETR2 a	FDD - ETR2 a
FDD - ETR1 d	FDD - ETR1 d	FDD - ETR1 d
FDD - ETR3 c	FDD - ETR1 a	FDD - ETR1 a
FDD - ETR1 a	FDD - ETR3 c	FDD - ETR3 c
FDD - ETR3 0	FDD - ETR3 0	FDD - ETR3 0
FDD - ETR2 0	FDD - ETR2 0	FDD - ETR2 0
FDD - ETR1 0	FDD - ETR1 0	FDD - ETR1 0
FDD - ETR1 b	FDD - ETR1 b	FDD - ETR1 b
<b>Vazão = 40 L/s</b>		
FDD - ETR3 e	FDD - ETR3 e	FDD - ETR3 e
FDD - ETR3 a	FDD - ETR3 a	FDD - ETR3 a
FDD - ETR2 a	FDD - ETR2 a	FDD - ETR2 a
FDD - ETR1 d	FDD - ETR1 d	FDD - ETR1 d
FDD - ETR1 a	FDD - ETR1 a	FDD - ETR1 a
FDD - ETR3 c	FDD - ETR3 c	FDD - ETR3 c
FDD - ETR3 0	FDD - ETR3 0	FDD - ETR3 0
FDD - ETR2 0	FDD - ETR2 0	FDD - ETR2 0
FDD - ETR1 0	FDD - ETR1 0	FDD - ETR1 0
FDD - ETR1 b	FDD - ETR1 b	FDD - ETR1 b

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação aos erros relativos ao modelo, não foram encontrados padrões para o maior ou menor erro encontrado em determinada tecnologia, uma vez que os maiores e menores erros encontram-se dispersos nas tecnologias avaliadas. Para uma melhor análise dos erros, foi feito um histograma para se verificar a distribuição dos dados, como mostrado na

Figura 48. A partir do histograma, pode-se verificar que o número de ocorrências dos erros diminui à medida que o valor do erro aumenta, ou seja, existem mais erros pequenos do que erros grandes.

Figura 48 – Histograma dos erros relativos ao modelo



Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, foram calculados alguns parâmetros estatísticos para os erros encontrados, como mediana, valor médio, desvio padrão e valor máximo. Os valores desses parâmetros encontram-se na Tabela 32. A partir dessa tabela, pode-se verificar que o maior erro encontrado tem o valor de  $5,28 \cdot 10^{-5}$ , ou seja, muito menor que 1%.

Tabela 32 – Resultados da estatística

<b>Mediana dos erros</b>	3,26E-06
<b>Média dos erros</b>	8,44E-06
<b>Desvio padrão dos erros</b>	1,16E-05
<b>Valor máximo dos erros</b>	5,28E-05

Fonte: elaborado pelo autor.

Günaydin e Dogan (2004), na Turquia, obtiveram uma acurácia do modelo de 93% e apontaram que o desvio máximo da estimativa de custo em relação ao custo real foi de aproximadamente 12%. Günaydin e Dogan (2004) consideraram esses valores como indicativos de uma boa estimativa de custos em fase inicial de projeto. Já segundo Alex et al. (2010), o nível de acurácia tolerado para estimativas de custos de obras hidráulicas e de

saneamento no município de Edmonton, Canadá é de 10%. McGivney e Kawamura (2008), por sua vez, consideram que para estimativa de pré-dimensionamento, a acurácia esperada da estimativa de custo varia entre 50 a 30% do preço médio de construção.

Dessa forma, pode-se concluir que os valores dos erros encontrados são muito pequenos. Além disso, um erro de 1% no modelo não será significativo dentre outras incertezas, como as diferenças de dimensionamento entre os projetos hipotéticos considerados neste projeto e os projetos dimensionados por outros engenheiros projetistas.

O baixo valor de erro encontrado pode ser explicado pela utilização de três pontos para a plotagem dos gráficos de valor do quantitativo por vazão de projeto. Nesse sentido, ao se escolher uma equação quadrática para os modelos de quantitativos (linha de tendência), os valores de  $R^2$  ficam praticamente igual a 1, ou seja, a equação é uma aproximação perfeita dos dados. Os erros encontrados, então, são devidos a aproximações de valores feitas pelo próprio programa (Excel).

Devido aos baixos valores de erros relativos ao modelo, pode-se concluir, portanto, que o modelo adotado é uma boa representação dos dados reais considerados, ou seja, o modelo considerado reflete exatamente os valores medidos manualmente. Dessa forma, mesmo que os dados reais apresentem diferenças quando são aferidos por pessoas diferentes e possam ter valores diferentes em projetos distintos, a ferramenta computacional desenvolvida é viável e satisfatória uma análise preliminar dos custos e para a seleção de tecnologias antes da fase de projeto.

A ferramenta computacional, disponível no Apêndice F (em meio eletrônico), encontra-se atualmente em processo de registro junto à Agência USP de Inovação, possibilitando sua utilização por engenheiros projetistas. Dessa forma, o modelo conceitual e a ferramenta computacional permitirão orientar os investimentos em saneamento para pequenas comunidades no país e facilitar o trabalho dos engenheiros projetistas brasileiros.

No entanto, recomenda-se que o usuário sempre avalie as respostas do modelo, verificando sua aplicabilidade de acordo com as particularidades da área em estudo. Dentre as recomendações ao usuário, destacam-se as mostradas na Tabela 33, que também é mostrada na aba “Análise (R)” da ferramenta computacional.

A Tabela 33 apresenta as etapas que devem ser realizadas antes e após a utilização da ferramenta computacional, a fim que a tecnologia selecionada seja considerada sustentável. A tabela também apresenta algumas limitações das tecnologias consideradas no programa, como a necessidade de uma área grande para a implementação de lagoas de lodo. Dessa forma, o

usuário é orientado selecionar alternativas sustentáveis e compatíveis com a área de estudo e o projeto em que está trabalhando.

Tabela 33 – Recomendações para o usuário do programa

- Para a seleção de uma tecnologia sustentável, os seguintes aspectos devem ser analisados <b>ANTES da avaliação econômica</b> : 1) Transferência de tecnologia ; 2) Aspectos sociais da área; 3) Disponibilidade de recursos (somente selecionar uma tecnologia cujos materiais de construção necessários estejam disponíveis no local); 4) Aspectos técnicos (risco e eficiência das tecnologias); e 5) Aspectos ambientais
- Para a seleção de uma tecnologia sustentável, deve ser realizada uma avaliação financeira (capacidade de pagamento da área de estudo) <b>APÓS a avaliação econômica</b>
- Deve-se selecionar uma tecnologia cuja <b>qualidade da água</b> requerida seja compatível com o <b>manancial</b> utilizado
- Verificar a presença de <b>mão-de-obra especializada</b> no local escolhido para implementação da ETA, uma vez que as ETAs de filtração direta requerem monitoramento contínuo e tomadas de decisão rápidas baseadas em aspectos técnicos
- Somente selecionar a <b>ETR2</b> caso não haja restrição de <b>área</b> para implementação da ETA e caso o preço do m <sup>2</sup> do terreno não seja muito elevado, uma vez que as lagoas ocupam uma área elevada
- Somente selecionar a <b>ETR2</b> caso o índice de <b>pluviosidade</b> do local escolhido para implementação da ETA não seja muito elevado, uma vez que, para que ocorra secagem do lodo, o índice de pluviosidade deve ser menor que o índice de evaporação do local
- Somente selecionar a <b>ETR3</b> caso exista uma <b>Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)</b> próxima ao local escolhido para implementação da ETA, uma vez que todo o resíduo gerado na ETA deverá ser destinado à ETE para tratamento posterior

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.5 Discussão

### 5.5.1 Técnica de avaliação dos custos

Pode-se observar na literatura um avanço gradual nas técnicas de avaliação de custos de obras de engenharia, como ETAs, ETEs, projetos hidráulicos, instalações de água e esgoto, edifícios em geral, entre outros.

No final dos anos 70, as curvas de custo, ou seja, ábacos que relacionam o custo de um determinado item com uma variável de importância para esse item, eram o método mais utilizado. Nesse sentido, destacam-se os trabalhos de Gumerman et al. (1979a, 1979b, 1979c, 1979d).

A partir dos anos 80, o uso de equações de custo, ou seja, equações que relacionam os custos com variáveis de importância, ganhou espaço. O desenvolvimento dessas equações deu-se, em grande parte, pela tradução das curvas de custo utilizadas anteriormente para equações matemáticas. Os primeiros trabalhos nesse sentido utilizaram equações de custo na forma de potência, como em Logsdon, Clark e Tate (1980), Clark e Morand (1981a) e Clark (1982).

A partir dos anos 90, equações de custo começaram a ser desenvolvidas em formas diferentes da de potência, sendo utilizadas, por exemplo, equações polinomiais. Esses novos arranjos matemáticos passaram a considerar, também, mais variáveis de interesse para a determinação dos custos dos itens avaliados. Nesse sentido destacam-se os trabalhos de Qasim et al. (1992), Sethi e Clark (1998) e Clark et al. (2002).

Trabalhos mais recentes que abordam equações de custo, como Sharma (2010) e Sharma, Najafi e Qasim (2013), tiveram como foco a atualização dessas equações em relação ao tempo, utilizando índices de correção.

Com o passar do tempo, as técnicas de otimização ganharam destaque na previsão dos custos e para a melhora da performance de ETAs. Essas técnicas, embora em geral mais precisas, demandam uma grande quantidade de dados de projetos reais para seu desenvolvimento. Além disso, a importância de análises de custo-benefício também cresceu com o tempo, uma vez que não abordam somente os custos das obras, mas também os benefícios gerados pela construção dessas obras.

Dentre as técnicas e métodos para otimização, abordados na literatura, destacam-se os seguintes: i) redes neurais artificiais, utilizadas nos trabalhos de Günaydin e Dogan (2004), Alex et al. (2010), Arafa e Alqudra (2011), Ahiaga-Dagbui e Smith (2012) e Marzouk e Elkadi (2016); ii) algoritmos genéticos, abordados no estudo de Gupta e Shrivastava (2010); iii) programação dinâmica, utilizada em Mhaisalkar et al. (1993); iv) AHP na forma *fuzzy*, abordado em Motevallian, Tabesh e Roozbahani (2014); v) métodos de regressão (linear e por metas) na forma *fuzzy*, utilizados no estudo de Chen e Chang (2002); vi) séries temporais, abordadas no trabalho de Heberling et al. (2015); e vii) programação orientada a objeto, utilizada no trabalho de Chung et al. (2008).

Já em relação às análises de custo-benefício, destacam-se os estudos de Teixeira e Heller (2003), Hutton e Haller (2004), Haller, Hutton e Bartram (2007), Hutton, Haller e Bartram (2007) e Hutton (2012).

### 5.5.2 Comparação dos resultados obtidos com a literatura

A comparação dos resultados de custo obtidos neste trabalho com outros estudos da literatura não é trivial, uma vez que cada região estudada possui suas especificidades ambientais (como clima, qualidade da água bruta, tipo de fonte de água), socioeconômicas e políticas (como legislação ambiental, encargos sociais, entre outros).



Além disso, o uso de diferentes métodos para a determinação dos custos faz com que a comparação não seja direta ou imediata. Nesse sentido, as equações de custo determinadas por diversos autores da literatura, como Logsdon, Clark e Tate (1980), Clark e Morand (1981a), Clark (1982), Qasim et al. (1992), Sethi e Clark (1998), Sharma (2010) e Sharma, Najafi e Qasim (2013), não podem ser comparadas diretamente com os modelos de quantitativos desenvolvidos no presente trabalho.

Os autores citados no parágrafo anterior produziram equações que relacionam os custos de processos unitários (ou outros itens de interesse) com variáveis de importância (como, por exemplo, parâmetros de dimensionamento). No presente trabalho, por sua vez, foram determinadas equações que relacionam o valor de um determinado quantitativo com a vazão de projeto da ETA.

Dessa forma, para uma comparação precisa entre os resultados, deve-se conhecer, por exemplo, os valores das variáveis de importância para os processos unitários (ou outros itens de interesse), a cotação da moeda utilizada pelo autor (em reais) na época em que foi feito o estudo, e a atualização dos custos para o período presente.

Além disso, devem ser levados em consideração os seguintes fatores: i) se as equações de custo presentes na literatura são compatíveis com as vazões de projeto consideradas no presente estudo (entre 10 e 40 L/s); ii) se os quantitativos avaliados são semelhantes; e iii) se dentre as tecnologias avaliadas constam ETAs de filtração direta ou ETRs por leitos de drenagem, lagoas de lodo ou tanques de regularização de vazão. Nesse sentido, dificilmente todos os pré-requisitos para comparação entre os estudos são atendidos.

Dada a dificuldade de uma comparação precisa entre os resultados do presente trabalho com a literatura, foram comparados, por exemplo, os custos de tratamento de água por volume de água tratada e os itens de maior importância para os custos das ETAs. Nesse sentido, foram utilizados os estudos de Logsdon, Clark e Tate (1980), Clark (1982), Sethi e Clark (1998), Qasim et al. (1992), Sharma, Najafi e Qasim (2013) e Kumar, Groth e Vlacic (2016). Essa análise permite a avaliação da ordem de grandeza dos valores de custo. O trabalho de Sabogal Paz (2007), por utilizar projetos em comum para avaliação dos custos, também foi utilizado na comparação dos resultados do presente trabalho.

No trabalho de Sabogal Paz (2007), foram avaliados os custos dos projetos de ETA+ETR tomados como base para o desenvolvimento do presente trabalho. Dessa forma, foram comparados os custos determinados por Sabogal Paz (2007) com os obtidos no presente estudo, considerando somente os projetos do tipo “zero”, ou seja, sem a modificação dos métodos construtivos.

Os custos determinados em Sabogal Paz (2007) foram, então, atualizados de junho de 2007 para janeiro de 2019 (data base utilizada no presente trabalho), utilizando o índice de correção IGP-M (FGV) (BCB, 2019a). Os valores atualizados encontram-se na Tabela 34. Os custos obtidos no presente trabalho, por sua vez, encontram-se na Tabela 35. Em seguida, foram determinadas as variações relativas percentuais entre os valores mostrados na Tabela 34 e na Tabela 35. Para isso, os resultados de Sabogal Paz (2007) foram tomados como “valor exato”. As variações percentuais encontram-se na Tabela 36.

Considerando somente os custos de investimento inicial, a variação média entre os valores encontrados por Sabogal Paz (2007) e no presente trabalho foi de 3,63%. Já a variação máxima foi de 12,28%. Considerando somente os custos de funcionamento, a variação média foi de 38,81% e a variação máxima de 47,61%. Por fim, considerando-se ambos os custos de investimento inicial e de funcionamento, a variação média encontrada foi de 21,22% e a máxima de 47,61%.

Tabela 34 – Custos de investimento inicial e funcionamento (anual) extraídos de Sabogal Paz (2007) e atualizados para janeiro de 2019

Tecnologias	Vazão de projeto		
	10 L/s	20 L/s	40 L/s
<b>Investimento inicial</b>			
DF - ETR1 0	R\$ 1.495.692,79	R\$ 1.836.493,10	R\$ 2.446.236,98
DF - ETR2 0	R\$ 1.329.147,53	R\$ 1.651.323,75	R\$ 2.153.556,94
DF - ETR3 0	R\$ 1.243.236,28	R\$ 1.557.881,65	R\$ 2.069.686,22
FDA - ETR1 0	R\$ 1.429.621,91	R\$ 1.627.748,11	R\$ 2.076.750,67
FDA - ETR2 0	R\$ 1.262.724,83	R\$ 1.423.586,77	R\$ 1.798.621,71
FDA - ETR3 0	R\$ 1.221.610,71	R\$ 1.371.244,72	R\$ 1.713.693,53
FDD - ETR1 0	R\$ 1.317.927,64	R\$ 1.512.296,46	R\$ 1.870.591,02
FDD - ETR2 0	R\$ 1.176.019,49	R\$ 1.335.409,84	R\$ 1.667.123,26
FDD - ETR3 0	R\$ 1.137.368,07	R\$ 1.294.486,70	R\$ 1.587.514,53
<b>Funcionamento (anual)</b>			
DF - ETR1 0	R\$ 452.444,32	R\$ 532.143,51	R\$ 680.617,54
DF - ETR2 0	R\$ 440.064,44	R\$ 518.221,68	R\$ 660.437,42
DF - ETR3 0	R\$ 443.500,17	R\$ 519.001,71	R\$ 658.977,89
FDA - ETR1 0	R\$ 437.175,54	R\$ 491.745,08	R\$ 604.084,68
FDA - ETR2 0	R\$ 425.595,79	R\$ 478.315,80	R\$ 586.347,17
FDA - ETR3 0	R\$ 434.202,20	R\$ 487.338,35	R\$ 595.647,15
FDD - ETR1 0	R\$ 431.630,93	R\$ 485.993,41	R\$ 591.751,05
FDD - ETR2 0	R\$ 421.309,68	R\$ 473.712,04	R\$ 577.831,23
FDD - ETR3 0	R\$ 428.321,86	R\$ 483.444,25	R\$ 586.986,46

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 35 – Custos de investimento inicial e funcionamento (anual) determinados no presente trabalho e tendo como data base janeiro de 2019

Tecnologias	Vazão de projeto		
	10 L/s	20 L/s	40 L/s
<b>Investimento inicial</b>			
DF - ETR1 0	R\$ 1.428.730,99	R\$ 1.720.443,77	R\$ 2.146.271,48
DF - ETR2 0	R\$ 1.337.376,51	R\$ 1.615.649,45	R\$ 2.002.241,84
DF - ETR3 0	R\$ 1.218.360,70	R\$ 1.464.771,39	R\$ 1.815.457,04
FDA - ETR1 0	R\$ 1.396.391,94	R\$ 1.589.086,42	R\$ 1.937.783,72
FDA - ETR2 0	R\$ 1.270.346,24	R\$ 1.441.916,21	R\$ 1.769.215,36
FDA - ETR3 0	R\$ 1.216.630,31	R\$ 1.361.155,85	R\$ 1.656.339,81
FDD - ETR1 0	R\$ 1.305.346,27	R\$ 1.453.367,89	R\$ 1.756.617,39
FDD - ETR2 0	R\$ 1.187.290,05	R\$ 1.338.864,42	R\$ 1.599.265,55
FDD - ETR3 0	R\$ 1.121.289,38	R\$ 1.259.734,78	R\$ 1.506.121,62
<b>Funcionamento (anual)</b>			
DF - ETR1 0	R\$ 600.383,56	R\$ 706.147,38	R\$ 913.509,52
DF - ETR2 0	R\$ 599.684,06	R\$ 706.063,22	R\$ 874.067,50
DF - ETR3 0	R\$ 593.071,39	R\$ 704.707,60	R\$ 908.393,33
FDA - ETR1 0	R\$ 587.752,08	R\$ 676.950,08	R\$ 855.146,49
FDA - ETR2 0	R\$ 588.748,73	R\$ 676.250,22	R\$ 854.446,26
FDA - ETR3 0	R\$ 595.240,61	R\$ 682.739,76	R\$ 862.028,67
FDD - ETR1 0	R\$ 587.717,98	R\$ 676.747,01	R\$ 853.610,41
FDD - ETR2 0	R\$ 587.018,49	R\$ 676.047,52	R\$ 852.910,93
FDD - ETR3 0	R\$ 591.327,74	R\$ 682.435,00	R\$ 860.154,81

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 36 – Variações relativas percentuais dos custos obtidos por Sabogal Paz (2007) e pelo presente trabalho

Tecnologias	Vazão de projeto		
	10 L/s	20 L/s	40 L/s
<b>Investimento inicial</b>			
DF - ETR1 0	4,48%	6,32%	12,26%
DF - ETR2 0	0,62%	2,16%	7,03%
DF - ETR3 0	2,00%	5,98%	12,28%
FDA - ETR1 0	2,32%	2,38%	6,69%
FDA - ETR2 0	0,60%	1,29%	1,63%
FDA - ETR3 0	0,41%	0,74%	3,35%
FDD - ETR1 0	0,95%	3,90%	6,09%
FDD - ETR2 0	0,96%	0,26%	4,07%
FDD - ETR3 0	1,41%	2,68%	5,13%
<b>Funcionamento</b>			
DF - ETR1 0	32,70%	32,70%	34,22%
DF - ETR2 0	36,27%	36,25%	32,35%
DF - ETR3 0	33,73%	35,78%	37,85%
FDA - ETR1 0	34,44%	37,66%	41,56%
FDA - ETR2 0	38,34%	41,38%	45,72%
FDA - ETR3 0	37,09%	40,10%	44,72%
FDD - ETR1 0	36,16%	39,25%	44,25%
FDD - ETR2 0	39,33%	42,71%	47,61%
FDD - ETR3 0	38,06%	41,16%	46,54%

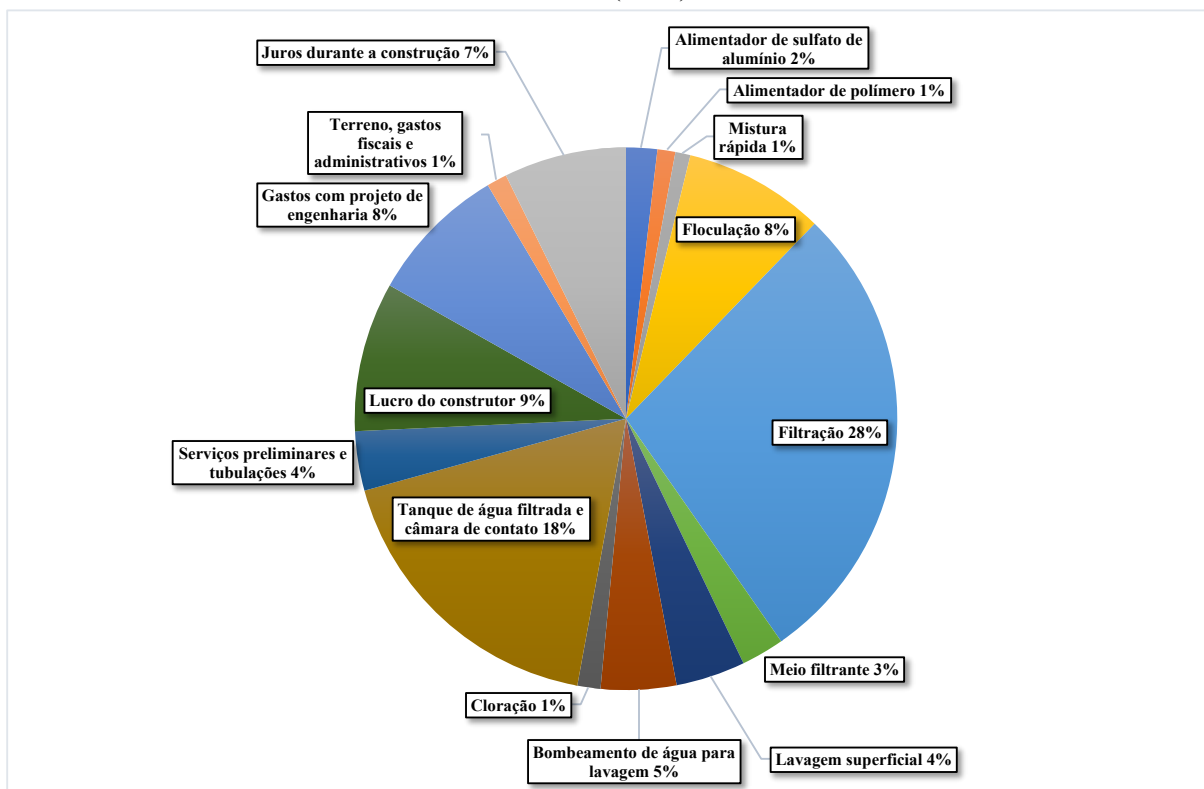
Fonte: elaborado pelo autor.

A partir desses valores, pode-se concluir que as variações se encontram dentro do erro esperado para estimativas preliminares de custo que, segundo McGivney e Kawamura (2008), é entre 30 e 50%. As variações encontradas são devidas a diferentes considerações acerca do projeto. Dessa forma, mesmo tomando projetos iguais, diferentes engenheiros podem fazer considerações distintas para a determinação dos custos.

Os resultados encontrados também reforçam a afirmação de Marzouk e Elkadi (2016) de que não é esperado que estimativas preliminares (conceituais) de custo sejam precisas, uma vez que ainda faltam informações acerca do escopo do projeto. No entanto, pode-se concluir que as estimativas obtidas são satisfatórias.

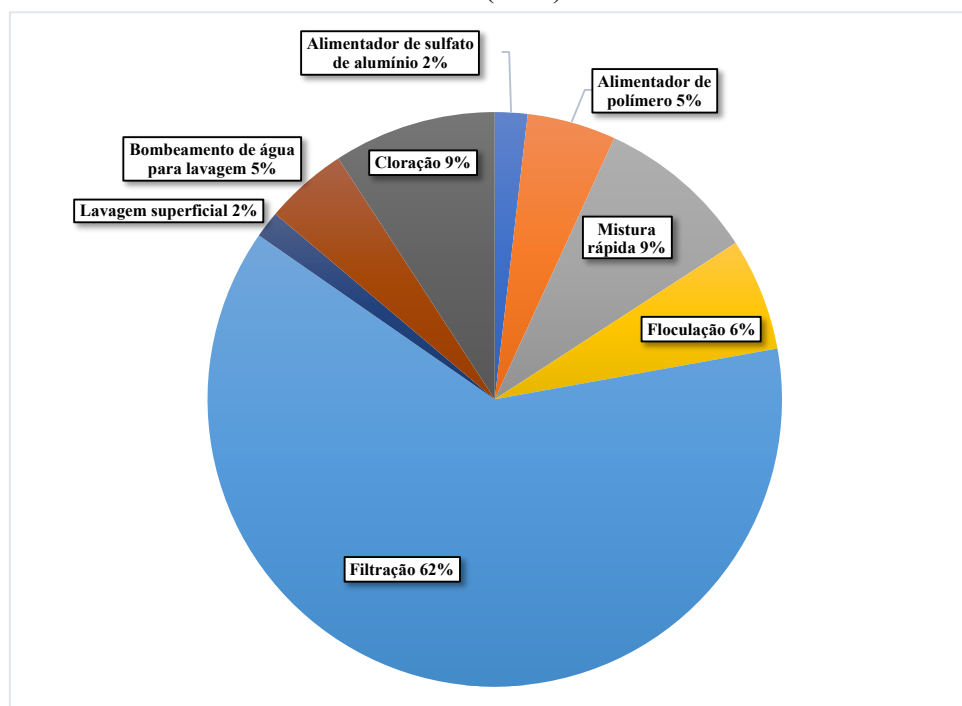
No trabalho de Logsdon, Clark e Tate (1980) foram avaliados os custos de uma ETA por filtração direta, com vazão de projeto de 10 mgd (aproximadamente 440 L/s). As contribuições percentuais de cada item de investimento inicial e de funcionamento para a determinação dos custos encontram-se na Figura 49 e na Figura 50, respectivamente.

Figura 49 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial, segundo Logsdon, Clark e Tate (1980)



Fonte: adaptado de Logsdon, Clark e Tate (1980).

Figura 50 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento, segundo Logsdon, Clark e Tate (1980)



Fonte: adaptado de Logsdon, Clark e Tate (1980).

Os custos finais de construção e operação obtidos pelos autores foram atualizados de abril de 1979 para janeiro de 2019. Para isso, considerou-se a cotação do dólar em relação à moeda brasileira em abril de 1979 (BCB, 2019b) e, em seguida, a moeda brasileira foi atualizada para janeiro de 2019 considerando o índice de correção INPC (IBGE) (BCB, 2019a). Para uma comparação mais adequada, os valores encontrados foram divididos pela vazão de projeto. Da mesma forma, os custos de investimento inicial e de funcionamento obtidos no presente trabalho (para vazões de 10, 20 e 40 L/s) foram divididos pelas suas respectivas vazões de projeto. A comparação entre os custos finais de investimento inicial e funcionamento encontram-se na Tabela 37.

A partir da Figura 49 e da Figura 50, pode-se observar que, segundo Logsdon, Clark e Tate (1980), a filtração é o item de maior impacto para os custos tanto de investimento inicial quanto de funcionamento (28% e 62%, respectivamente). No presente trabalho, os itens de maior impacto para os custos de investimento inicial são “equipamentos de laboratório”, “tubulações, conexões e válvulas” ou “tanque de água filtrada e câmara de contato”, dependendo do cenário avaliado. Já em relação aos custos de funcionamento, no presente trabalho o item com maior impacto é “pessoal para operação e administração”.

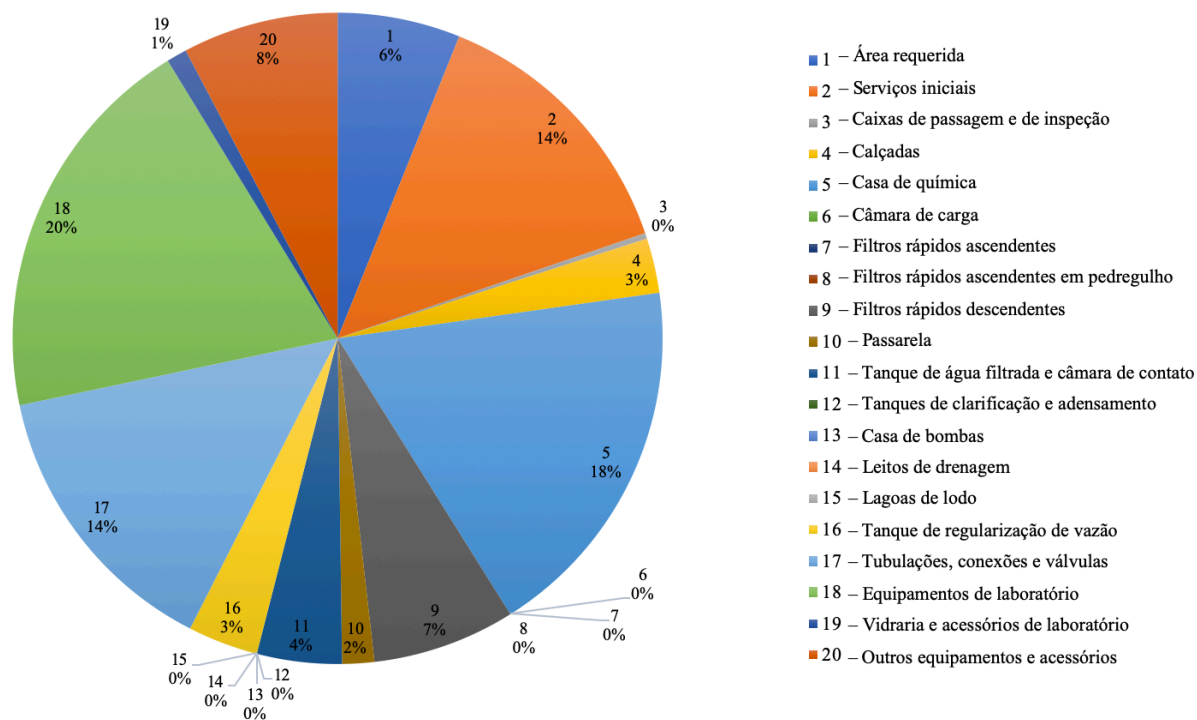
Tabela 37 – Custos de investimento inicial e de funcionamento (anual), divididos pela vazão de projeto, para Logsdon, Clark e Tate (1980) e para o presente trabalho, considerando valores em reais atualizados para janeiro de 2019

	Investimento inicial R\$(L/s)	Funcionamento (R\$/ano)/(L/s)
Logsdon, Clark e Tate - Q = 440 L/s	33.853,37	1.140,36
Presente trabalho - Q = 10 L/s	121.033,35	59.242,92
Presente trabalho - Q = 20 L/s	69.051,73	34.392,72
Presente trabalho - Q = 40 L/s	41.416,29	21.811,85
Presente trabalho - média dos custos para Q = 10, 20 e 40 L/s	77.167,12	38.482,50

Fonte: elaborado pelo autor.

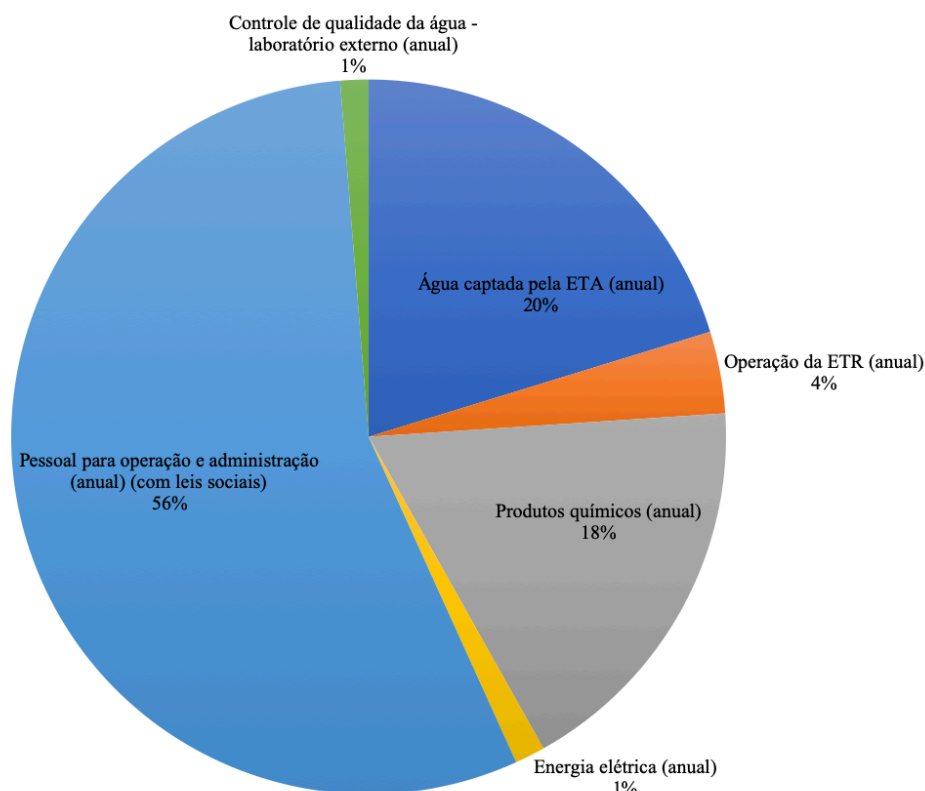
Considerando, por exemplo, o projeto com menor custo encontrado no presente trabalho (FDD - ETR3 e) e vazão de projeto de 40 L/s, tem-se as contribuições mostradas na Figura 51 e na Figura 52. Essas figuras mostram, respectivamente, as contribuições percentuais dos itens de investimento inicial e de funcionamento considerados no presente estudo. Nesse cenário, os equipamentos de laboratório e o pessoal para operação e administração são os itens de maior importância para os custos de investimento inicial e de funcionamento, respectivamente.

Figura 51 – Contribuição percentual dos custos de cada item de investimento, para a tecnologia de “FDD - ETR3 e” com vazão de projeto de 40 L/s



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 52 – Contribuição percentual dos custos de cada item de funcionamento, para a tecnologia de “FDD - ETR3 e” com vazão de projeto de 40 L/s



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 37, pode-se observar que os custos de investimento inicial e de funcionamento (divididos pela vazão de projeto) são maiores em Logsdon, Clark e Tate (1980) do que no presente trabalho.

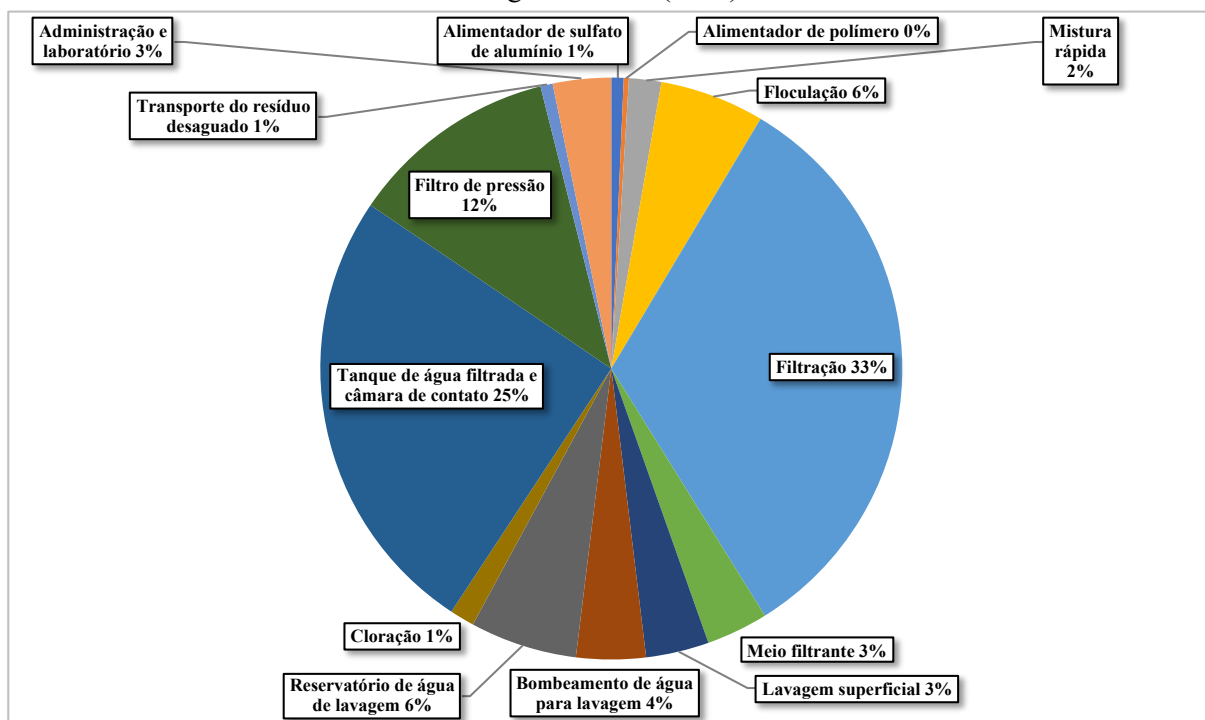
Essas diferenças, tanto em relação aos itens de maior custo quanto os custos de investimento inicial e de funcionamento divididos pela vazão de projeto, podem ser explicadas pelo porte das estações e pelas escolhas do engenheiro. A vazão de projeto considerada por Logsdon, Clark e Tate (1980) é de 440 L/s, ao passo que as vazões consideradas no presente trabalho são entre 10 e 40 L/s. Dessa forma, é esperado que estações mais robustas possuam maior economia de escala, ou seja, menor custo por vazão.

Além disso, dependendo do porte da ETA, diferentes itens podem ter mais impacto nos custos. Para ETAs de pequeno porte, por exemplo, os custos com funcionários são muito mais significativos, uma vez que toda estação requer um número mínimo de funcionários para sua operação. Dessa forma, os gastos com funcionários ficam mais diluídos quando se trata de ETAs maiores., as diferenças também são devidas às considerações de projeto consideradas por cada engenheiro. As diferenças encontradas também podem ser explicadas pelas

considerações de projeto tomadas por cada engenheiro, como os itens a serem considerados e a forma como são computados seus custos.

No trabalho de Clark (1982), foram avaliados os custos de ETAs de ciclo completo e de filtração direta, considerando uma vazão de projeto de 100 mgd (4381 L/s), período de projeto de 20 anos e taxa de retorno de 8%. As contribuições percentuais de cada item avaliado para a determinação dos custos encontram-se na Figura 53. O autor considerou a mesma contribuição dos itens para os custos de investimento inicial e de funcionamento. Nesse sentido, pode-se observar que os itens de maior importância para os custos são a filtração e o tanque de água filtrada e câmara de contato.

Figura 53 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial e funcionamento, segundo Clark (1982)



Fonte: adaptado de Clark (1982).

Para as estações avaliadas, Clark (1982) também determinou os custos do tratamento em dólares por volume tratado. Assim como feito para o trabalho de Logsdon, Clark e Tate (1980), esses valores foram transformados para a moeda brasileira utilizada em abril de 1979 (data base da avaliação econômica feita pelo autor) (BCB, 2019b) e, em seguida, atualizados para os valores em real (com data base janeiro de 2019). Para a atualização dos custos foi usado o índice de correção INPC (IBGE) (BCB, 2019a).



Os custos atualizados são: 30,13 reais por metro cúbico tratado para a ETA de ciclo completo; e 24,13 reais por metro cúbico tratado para a ETA de filtração direta. Para o presente trabalho, o custo médio de tratamento (considerando todas as alternativas analisadas, vazões de 10, 20 e 40L/s, período de projeto de 20 anos e taxa de retorno de 10%) é de 1,63 reais por metro cúbico tratado.

Assim como na comparação com o trabalho de Logsdon, Clark e Tate (1980), as diferenças podem ser explicadas pelo porte das estações e as considerações feitas pelos engenheiros. No caso de Clark (1982), por serem analisadas ETAs com uma vazão muito superior às utilizadas no presente trabalho, as estações podem ter ultrapassado o valor de vazão correspondente à máxima economia de escala e passaram a ser mais onerosas devido à complexidade dos sistemas.

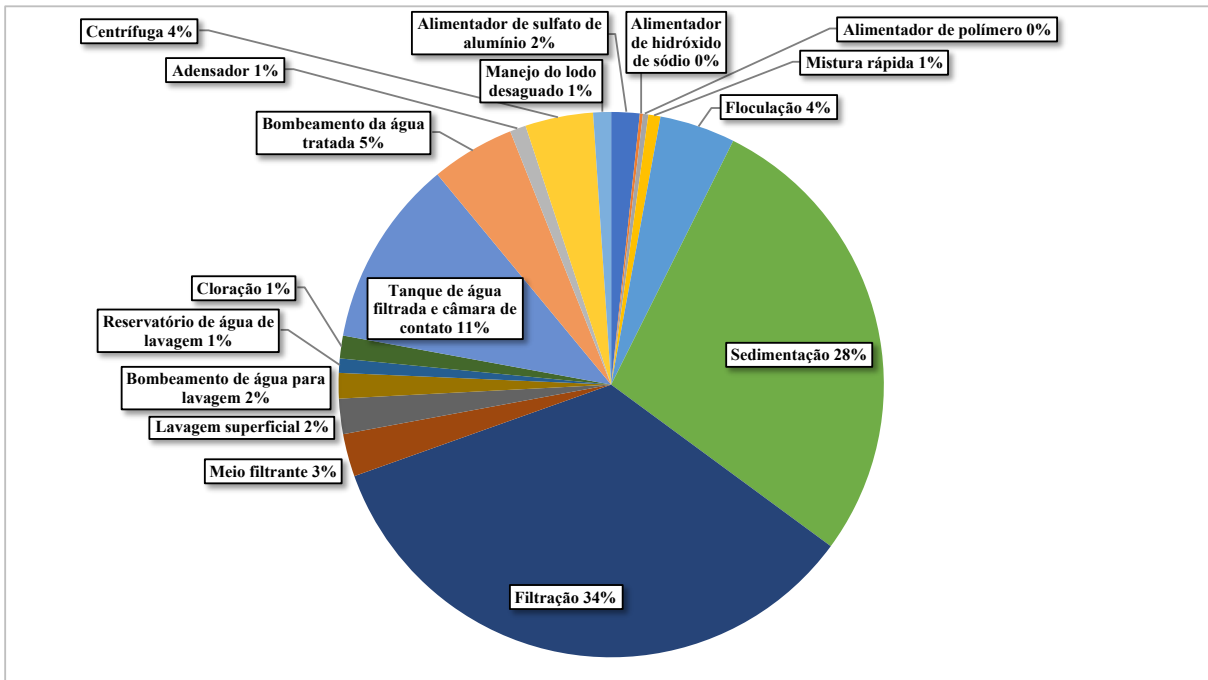
No trabalho de Sethi e Clark (1998) foram avaliadas ETAs convencionais e compactas pré-fabricadas. Para a ETA de ciclo completo, foi considerada uma vazão de projeto de 40 mgd (1753 L/s). Para a ETA compacta pré-fabricada, foi considerada uma vazão de projeto de 300 gpm (22 L/s). Assim como em Clark (1982) e em Logsdon, Clark e Tate (1980), também são apresentadas em Sethi e Clark (1998) as contribuições de cada item para os custos de investimento inicial e de funcionamento. As contribuições percentuais de cada item avaliado para a determinação dos custos de investimento inicial e de funcionamento (para as ETAs de ciclo completo e compactas) encontram-se na Figura 54, na Figura 55, na Figura 56 e na Figura 57, respectivamente.

A partir da Figura 54, pode-se observar que, para a ETA de ciclo completo, o item de investimento inicial com maior custo é a filtração (34%), seguido da sedimentação (28%). Já na Figura 55, pode-se verificar que, para a ETA convencional, o item de funcionamento mais oneroso é o bombeamento da água tratada (42%), seguido do tanque de água filtrada e câmara de contato (38%).

Em relação à ETA compacta pré-fabricada, o tratamento completo (que contempla todas as etapas de tratamento) é o item com maior impacto nos custos tanto de investimento inicial quanto de funcionamento (64% e 68%, respectivamente), como pode ser observado na Figura 56 e na Figura 57.

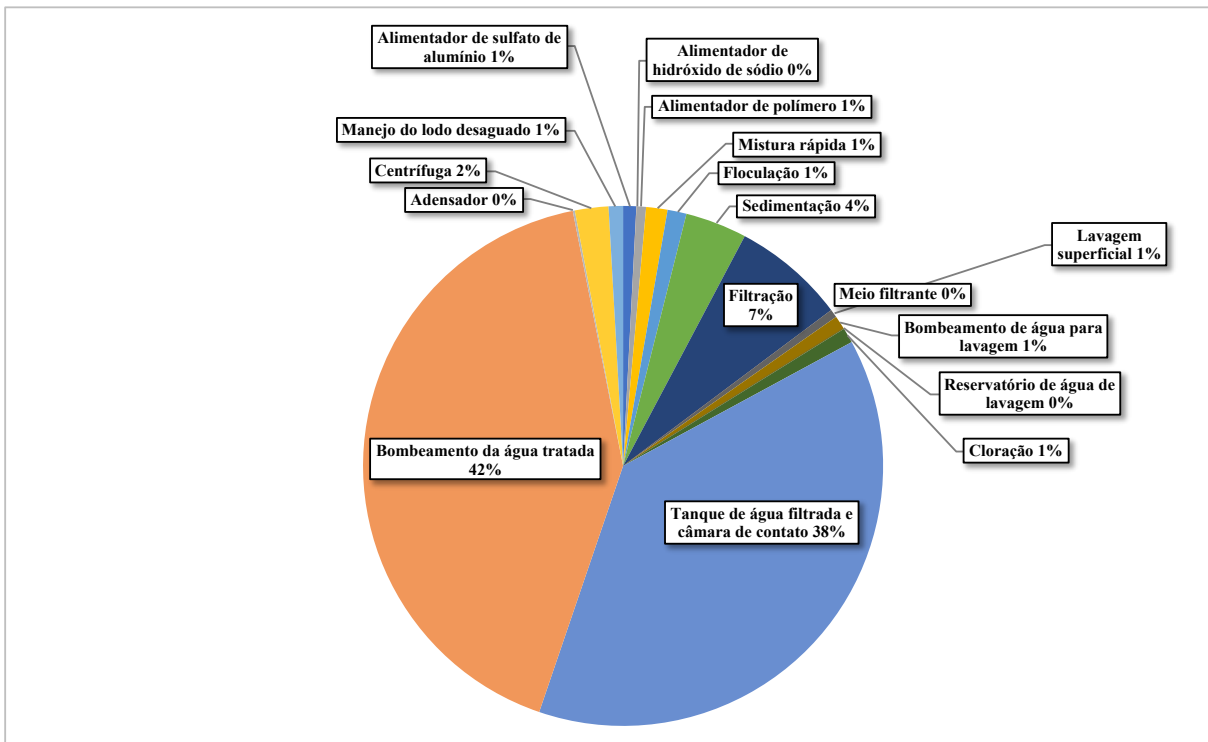
Essas diferenças podem ser explicadas pela diferença entre os projetos (as etapas de tratamento são diferentes das consideradas no presente trabalho) e pelas considerações distintas na elaboração dos orçamentos.

Figura 54 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial de ETAs de ciclo completo, segundo Sethi e Clark (1998)



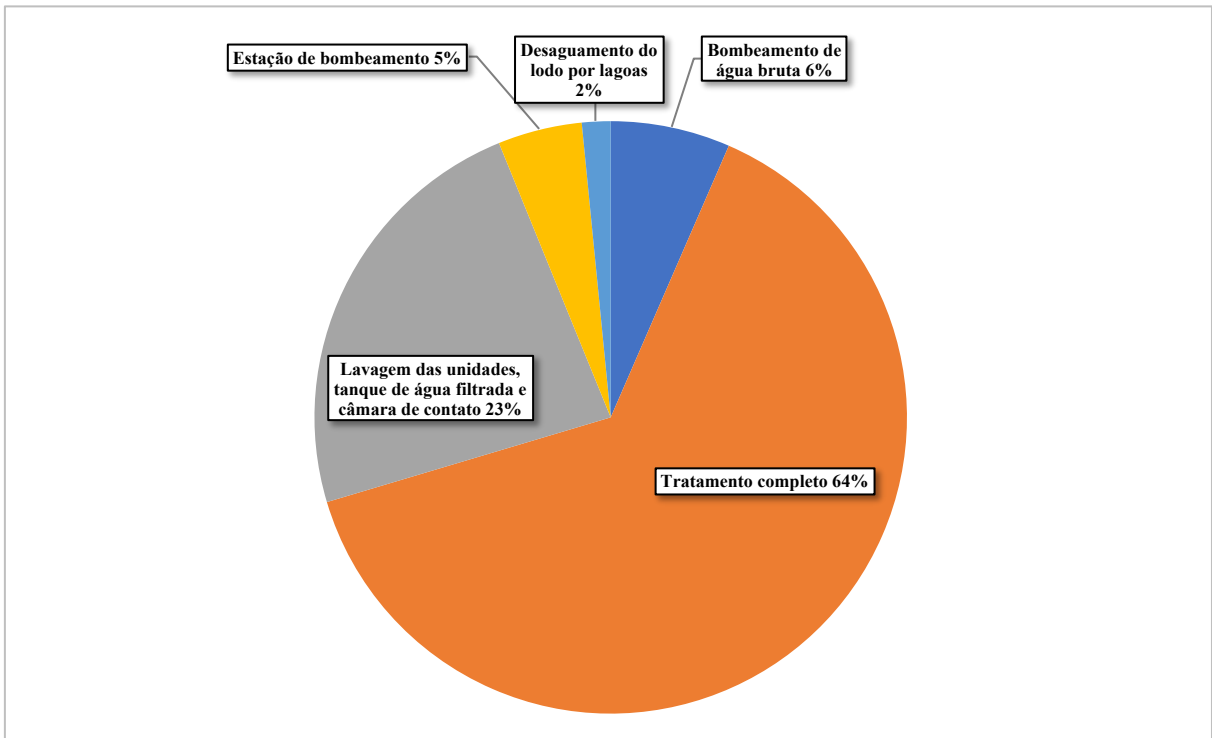
Fonte: adaptado de Sethi e Clark (1998).

Figura 55 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento de ETAs de ciclo completo, segundo Sethi e Clark (1998)



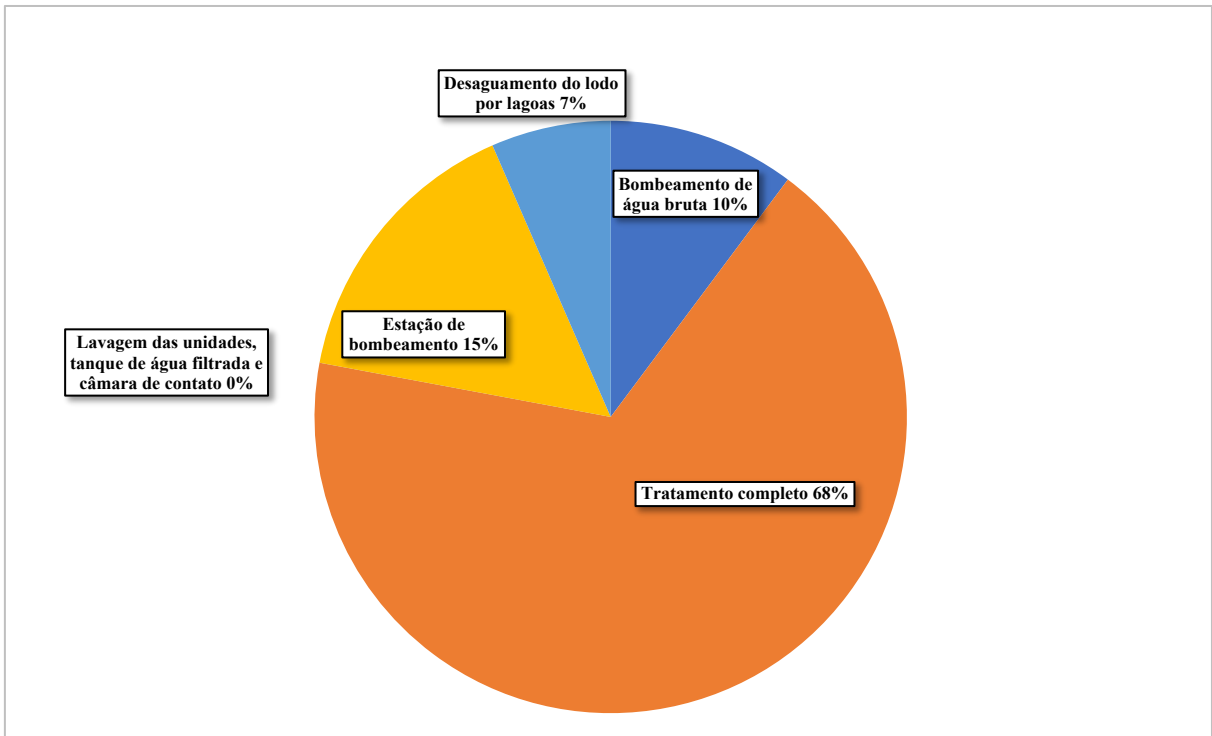
Fonte: adaptado de Sethi e Clark (1998).

Figura 56 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial de ETAs compactas pré-fabricadas, segundo Sethi e Clark (1998)



Fonte: adaptado de Sethi e Clark (1998).

Figura 57 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento de ETAs compactas pré-fabricadas, segundo Sethi e Clark (1998)



Fonte: adaptado de Sethi e Clark (1998).

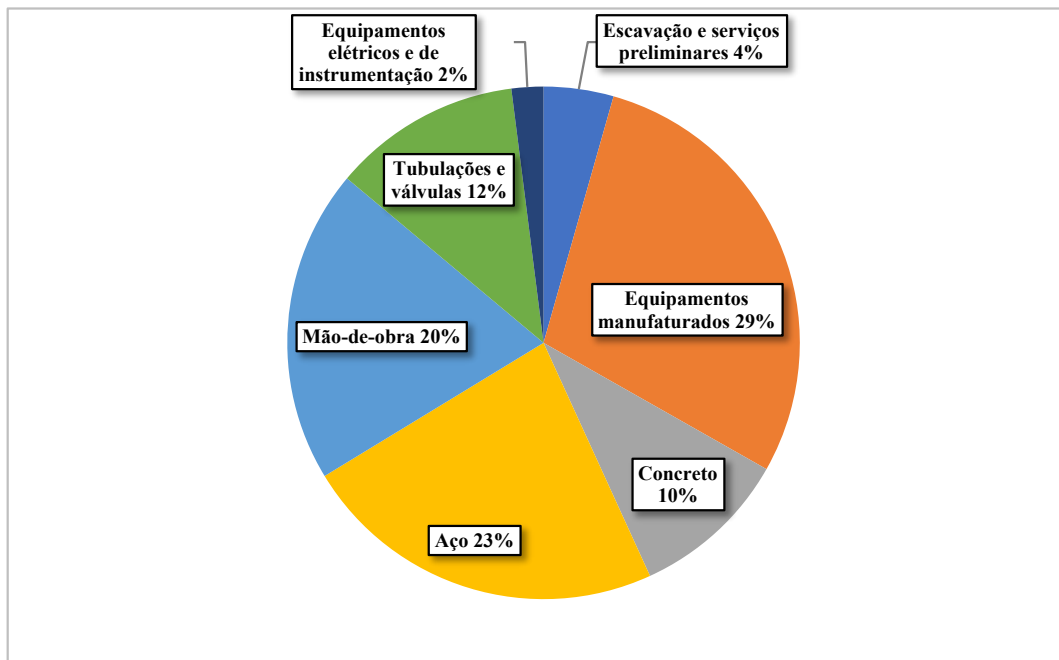
Sethi e Clark (1998) também determinaram os custos de tratamento das ETAs avaliadas. Esses valores foram atualizados para reais em janeiro de 2019, usando a cotação do dólar de 1997 (BCB, 2019b) e o índice de correção IGP-M (FGV) (BCB, 2019a).

Dessa forma, os custos atualizados de tratamento da ETA de ciclo completo e da ETA compacta pré-fabricada são 0,78 e 1,76 reais por metro cúbico, respectivamente. O valor encontrado para o custo de tratamento utilizando ETA compacta pré-fabricada (R\$1,76/m<sup>3</sup>) é similar ao encontrado para as ETAs de filtração direta no presente trabalho (R\$1,63/m<sup>3</sup>). Isso pode ser explicado devido à similaridade da vazão de projeto. Além disso, Sethi e Clark (1998) também consideraram o gerenciamento dos resíduos na análise econômica. Para as ETAs compactas, por exemplo, foram consideradas lagoas de lodo, assim como no presente trabalho.

Nos trabalhos de Qasim et al. (1992) e Sharma, Najafi e Qasim (2013), são apresentados exemplos de orçamentos de sedimentadores retangulares. Embora o presente trabalho não considere essa etapa de tratamento (na filtração direta não há a etapa de sedimentação), optou-se por apresentar os itens com maior contribuição para os custos.

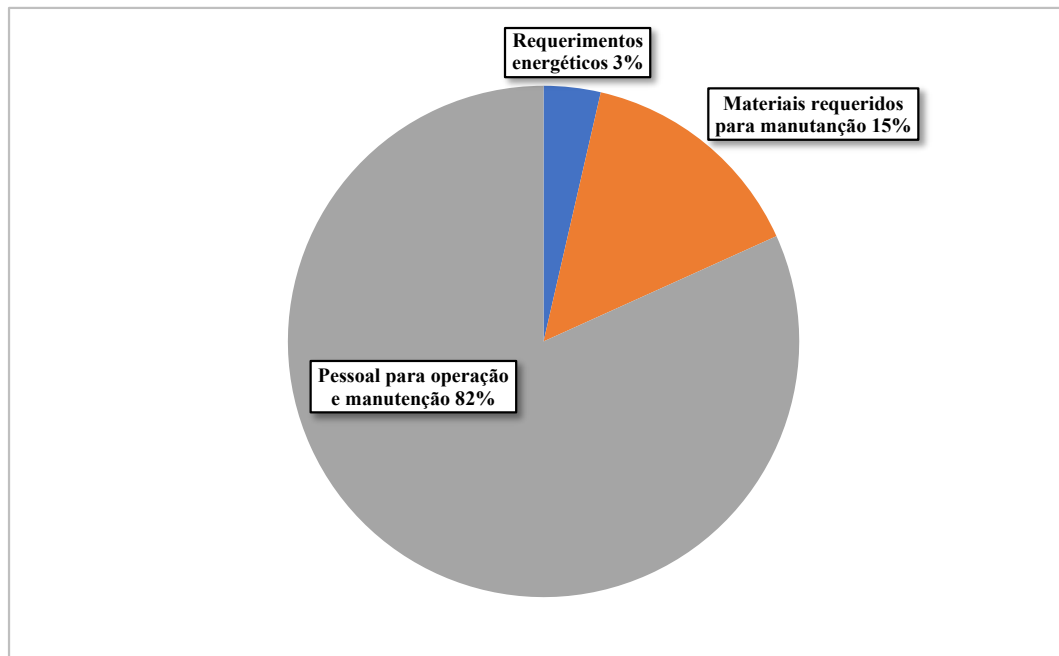
A Figura 58 apresenta as contribuições percentuais de cada item de investimento inicial, segundo Qasim et al. (1992). Já a Figura 59, mostra as contribuições dos itens de funcionamento, segundo Qasim et al. (1992). A Figura 60, por sua vez, apresenta as contribuições dos itens de construção, segundo Sharma, Najafi e Qasim (2013). Dentre os itens de investimento, mostrados na Figura 58 e Figura 60, destacam-se os equipamentos manufaturados e o aço. Em relação aos itens de funcionamento, mostrado na Figura 59, destaca-se os requerimentos com pessoal para operação.

Figura 58 – Contribuição de cada item para o custo de investimento inicial de tanques de sedimentação retangulares, segundo Qasim et al. (1992)



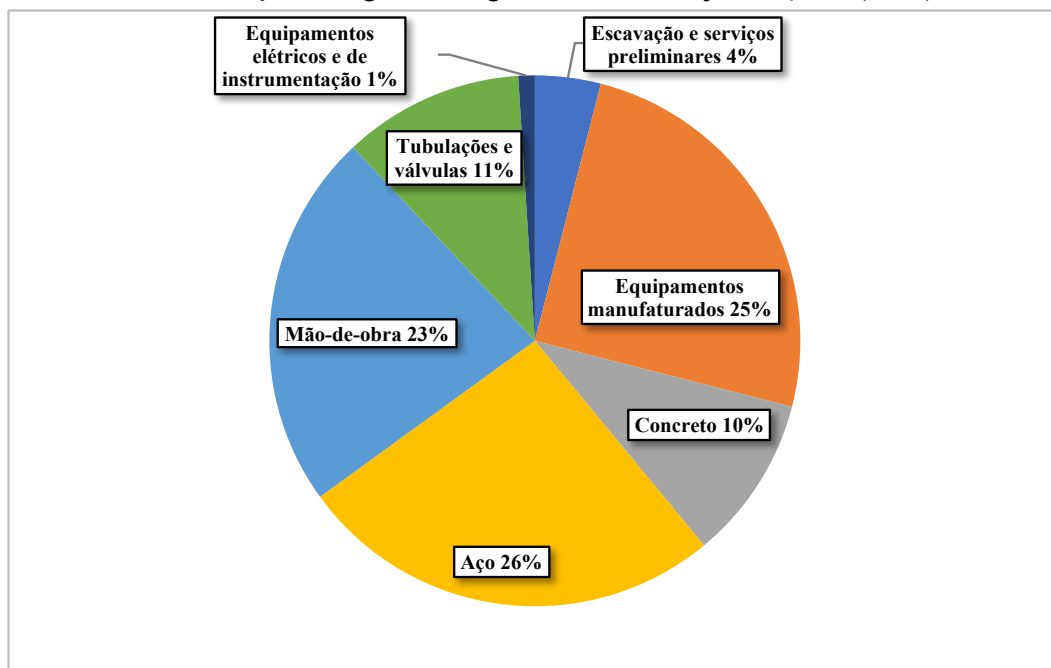
Fonte: adaptado de Qasim et al. (1992).

Figura 59 – Contribuição de cada item para o custo de funcionamento de tanques de sedimentação retangulares, segundo Qasim et al. (1992)



Fonte: adaptado de Qasim et al. (1992).

Figura 60 – Contribuição de cada item para o custo de investimento inicial de tanques de sedimentação retangulares, segundo Sharma, Najafi e Qasim (2013)



Fonte: adaptado de Sharma, Najafi e Qasim (2013).

Em relação aos itens de investimento inicial, caso estejam inclusos os equipamentos de laboratório nos equipamentos manufaturados, pode-se estabelecer uma semelhança entre o presente trabalho e os resultados obtidos por Qasim et al. (1992) e Sharma, Najafi e Qasim (2013). O aço, segundo item de maior importância para os custos de investimento inicial nas duas literaturas citadas, também é significativo para os processos unitários considerados no presente estudo. O aço pode ser, inclusive, o material com maior custo para processos unitários construídos em chapa de aço (dependendo do cenário analisado). Dentre esses processos unitários, destacam-se a câmara de carga e o tanque de água filtrada e câmara de contato.

No presente trabalho, não são apresentados itens de funcionamento para cada uma das etapas de tratamento, mas os gastos com pessoal para operação são os mais significativos em geral. Dessa forma, há uma compatibilidade entre os resultados obtidos no presente trabalho com os mostrados em Qasim et al. (1992).

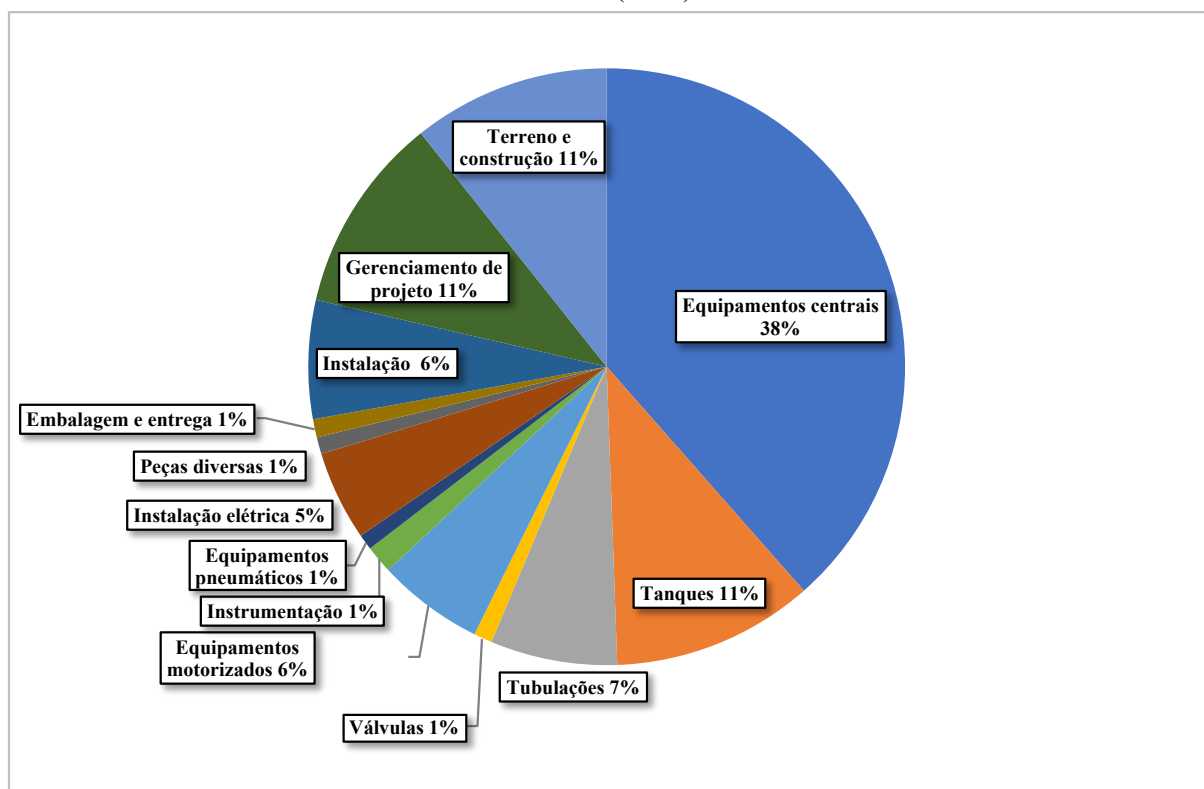
No trabalho de Kumar, Groth e Vlacic (2016), por sua vez, é apresentada a modelagem de custos para pequenos projetos de abastecimento de água. Nesse sentido, os autores consideraram um sistema de 0,15 ML/dia (1,74 L/s) de forma a abastecer uma comunidade de 1500 habitantes. Nesse sistema são contempladas as etapas de captação da água, tratamento (não especificado), reservação e distribuição aos consumidores. Os autores

também simularam cinco cenários, variando o envelhecimento do sistema e a inflação, e testando possíveis situações de operação do sistema (como falhas no sistema).

O custo médio de produção da água (considerando os cinco cenários), segundo os autores, é de 0,36 reais por metro cúbico de água. Esse valor é menor que o encontrado para o presente trabalho (R\$1,63/m<sup>3</sup>). Isso pode ser explicado devido às diferentes considerações de projeto e configurações dos sistemas. A etapa de tratamento não é especificada pelos autores, podendo ter sido adotadas técnicas mais simples, menos robustas e até descentralizadas, justificando os menores custos encontrados.

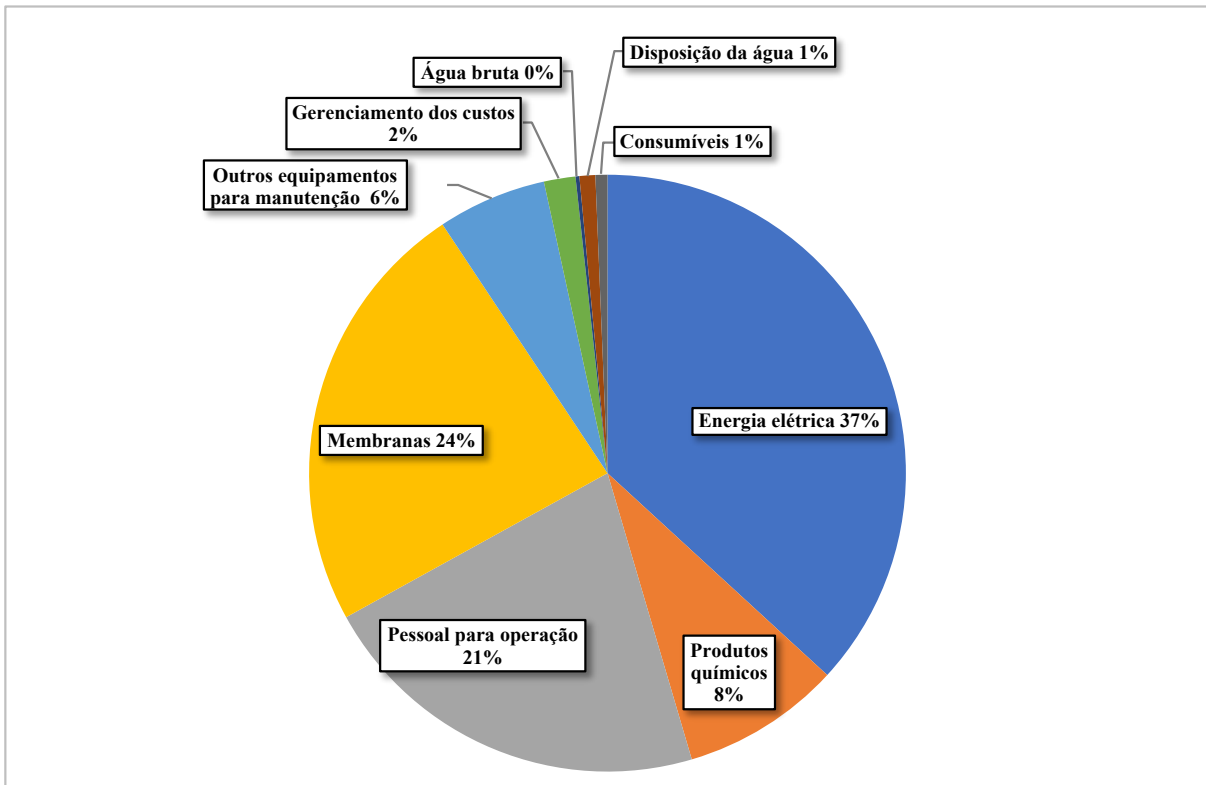
As contribuições dos itens considerados por Kumar, Groth e Vlacic (2016) para os custos de investimento inicial e de funcionamento encontram-se na Figura 61 e na Figura 62, respectivamente.

Figura 61 – Contribuição de cada item para os custos de investimento inicial, segundo Kumar, Groth e Vlacic (2016)



Fonte: adaptado de Kumar, Groth e Vlacic (2016).

Figura 62 – Contribuição de cada item para os custos de funcionamento, segundo Kumar, Groth e Vlacic (2016)



Fonte: adaptado de Kumar, Groth e Vlacic (2016).

De acordo com a Figura 61, os itens que mais influenciam os custos de investimento inicial são os equipamentos centrais. Se nesse item tiverem sido considerados os equipamentos de laboratório, esse resultado se assemelha com o presente trabalho. Já de acordo com a Figura 62, o item de funcionamento com maior custo é a energia elétrica. Como Kumar, Groth e Vlacic (2016) consideraram as etapas de captação de água bruta e distribuição da água tratada, os maiores custos com energia elétrica podem ser justificados devido ao uso do bombeamento (as bombas possuem alto requerimento energético).

A partir das comparações realizadas entre o presente trabalho e a literatura, pode-se concluir que as diferenças encontradas são devidas a diversos fatores. Dentre esses fatores, destacam-se: configurações de tratamento distintas (outras unidades de tratamento); considerações de projeto diferentes (cada engenheiro aborda o projeto e seu orçamento de forma distinta) e o porte da estação (vazões de projeto maiores ou menores, interferindo na economia de escala). No entanto, de forma geral, as estimativas encontram-se dentro do esperado para fases preliminares de projeto.



## 5.6 Revisão das etapas desenvolvidas no presente estudo

No presente trabalho foram adequados 27 projetos pré-existentes de ETAs por filtração direta com ETRs associadas, considerando novos métodos construtivos. Dentre as ETAs, foram consideradas as tecnologias de filtração direta ascendente, filtração direta descendente e dupla filtração. Já em relação às ETRs foram consideradas as tecnologias de leitos de drenagem, lagoas de lodo e tanques de regularização de vazão.

Os métodos construtivos considerados para os processos unitários foram (sendo, para cada caso, o primeiro método construtivo original e o segundo novo): chapa de aço e concreto para a câmara de carga, filtros e tanque de água filtrada; concreto e alvenaria para os leitos de drenagem; e chapa de aço e concreto para os tanques de regularização de vazão.

Dessa forma, foram produzidos 63 novos desenhos. A adequação dos projetos foi importante no sentido de avaliar e comparar diferentes tecnologias e materiais de construção. Nesse sentido, o engenheiro projetista possui várias alternativas, podendo selecionar a mais compatível com cada comunidade. Os 90 projetos (originais e adequados), sendo 30 configurações distintas para três vazões de projeto (10, 20 e 40 L/s), também estão disponíveis no Apêndice A deste trabalho, podendo servir como base para novos projetos de ETA+ETR em pequenas comunidades.

A partir dos desenhos desenvolvidos, foram calculados os valores dos quantitativos para cada processo unitário (e demais categorias de interesse). Nesse sentido, foram avaliados itens de investimento inicial e de funcionamento. Dentre os quantitativos determinados neste trabalho, destacam-se materiais de construção, equipamentos, ensaios de laboratório, mão-de-obra, entre outros. Dessa forma, os valores dos quantitativos correspondem à quantidade de um determinado quantitativo (material, equipamento, mão de obra, etc.) para as vazões de projeto analisadas, sendo útil para a avaliação da importância de cada item para a obra e para a determinação de modelos que relacionam seus valores com a vazão de projeto.

Uma vez calculados os valores dos quantitativos, foram desenvolvidos os modelos de quantitativos, que são equações matemáticas que relacionam o valor do quantitativo com a vazão de projeto da ETA. Essas equações foram obtidas plotando-se os valores dos quantitativos para as vazões de 10, 20 e 40 L/s e selecionando a linha de tendência (em geral polinomial de segundo grau) de forma a maximizar o valor de  $R^2$ . Como a maioria dos gráficos possuía três pontos (com valores diferentes de zero), ao selecionar uma equação do tipo quadrática, o valor de  $R^2$  é igual a 1. Para gráficos com somente dois pontos (um dos pontos iguais a zero), em geral foi selecionada a equação de uma reta, com valor de  $R^2$

também igual a 1. Dessa forma, os erros relativos ao modelo foram minimizados. Para os casos com um ou dois pontos, também foi determinado o intervalo em que a equação é válida.

A determinação dos modelos dos quantitativos permite a determinação dos valores dos quantitativos para valores intermediários de vazão de projeto, facilitando a estimativa dos custos para vazões diferentes das avaliadas no presente trabalho.

Nesse sentido, foi elaborado um modelo conceitual de seleção de tecnologias. Os modelos de quantitativos foram, então, utilizados para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que implementa esse modelo conceitual. Dessa forma, a ferramenta estima os custos de todas as 30 alternativas analisadas, a partir de dados de entrada fornecidos pelo usuário.

A comparação entre as diferentes alternativas é importante no sentido de avaliar suas vantagens e desvantagens, além das suas aplicabilidades em diferentes comunidades de pequeno porte. A avaliação econômica de diferentes tecnologias de tratamento de água e dos resíduos produzidos nas ETAs, considerando também métodos construtivos distintos, é uma forma de ajudar os engenheiros projetistas a selecionar a alternativa mais viável economicamente dentre as tecnologias aplicáveis a um determinado cenário, minimizando os gastos em infraestrutura pelo setor público.

Em seguida, foi comprovada a aplicabilidade e acurácia do uso da ferramenta computacional desenvolvida para estimativas preliminares de custos de projetos de ETA+ETR. A validação do modelo se deu através de simulações de cenários utilizando o modelo e comparação dos resultados obtidos com os orçamentos individuais de cada projeto de ETA+ETR analisados. Nesse sentido, as 30 alternativas propostas neste trabalho foram avaliadas para nove cenários distintos. Os cenários estudados foram combinações de três vazões de projeto (10, 20 e 40 L/s) e três períodos de projeto (10, 20 e 30 anos). Os orçamentos individuais foram determinados a partir dos valores dos quantitativos calculados para os 90 desenhos avaliados (30 alternativas multiplicadas por três valores de vazões de projeto: 10, 20 e 40 L/s).

A partir dos custos calculados pelo modelo e dos orçamentos individuais, os erros relativos ao modelo foram calculados, resultando em um erro médio de  $5,28 \cdot 10^{-5}$ . Como discutido no item 5.4.2, tendo como base os trabalhos de Günaydin e Dogan (2004), McGivney e Kawamura (2008) e Alex et al. (2010), o valor do erro encontrado é aceitável para o estudo em questão, uma vez que os autores citados apresentam valores erros maiores que o encontrado no presente trabalho, considerando-os aceitáveis para estimativas

preliminares de custo. McGivney e Kawamura (2008), por exemplo, consideram que a acurácia esperada para esse tipo de estimativa entre 30 e 50%.

Dessa forma, o erro relativo ao modelo encontrado não será significativo dentre outras incertezas, como as diferenças de dimensionamento dos projetos de ETA+ETR por engenheiros projetistas distintos. Como o erro relativo ao modelo foi considerado satisfatório, não houve necessidade de se ajustar o modelo desenvolvido.

## 6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que, mesmo havendo muitos investimentos na área de saneamento, ainda falta um caminho longo a ser percorrido até que se atinja o estado ideal. Faltam, ainda, estudos relativos a custos de tratamento de água e gerenciamento de resíduos em pequenas comunidades brasileiras.

Além disso, embora a literatura apresente um avanço em relação aos métodos de previsão dos custos, desde curvas de custo até técnicas de otimizações mais complexas, esse progresso não foi acompanhado por países em desenvolvimento, como o Brasil. Por exemplo, os estudos acerca da previsão de custos de ETAs brasileiras ainda estão começando a serem desenvolvidos. Devido à falta e dificuldade de acesso a dados de custo em obras de saneamento, os métodos de otimização mais complexos ainda são inviáveis no país. Dessa forma, o uso de equações de custo, mesmo que pouco utilizado atualmente em países desenvolvidos, ainda é mais o indicado para o caso brasileiro.

Segundo o modelo desenvolvido no presente trabalho, a alternativa mais viável economicamente em todos os cenários analisados foi a “FDD – ETR3 e”, ou seja, filtração direta descendente (com câmara de carga, filtros e tanque de água filtrada em concreto) com tanque de regularização de vazão (em concreto). Dentre os cenários analisados, essa alternativa possui valores presentes entre R\$ 4.813.351,39 (para uma vazão de 10 L/s e período de projeto de 10 anos) e R\$ 9.360.778,17 (para uma vazão de 40 L/s e período de projeto de 30 anos). Para os casos avaliados, a média dos valores presentes dos projetos de ETA+ETR foi de aproximadamente 7,3 milhões de reais.

Considerando-se a tecnologia de “FDD – ETR3 e”; vazões de projeto de 10, 20 e 40 L/s; períodos de projeto de 10, 20 e 30 anos; taxa de retorno de 12%; e famílias de 4 pessoas, os custos mensais do tratamento de água por família atendida variam entre, aproximadamente, 20 e 60 reais. Isso corresponde a cerca de 2% a 6% do salário mínimo em vigor a partir de janeiro de 2019 (R\$ 998,00). Os custos por habitante, por sua vez, variam em torno de 5 e 15 reais.

Tendo em vista que as famílias atendidas pertencem a pequenas comunidades (com condições financeiras, em geral, precárias), o valor da conta de água pode ter um impacto significativo sobre o orçamento das famílias. Nesse sentido, a ausência de subsídios governamentais pode inviabilizar a instalação de estações de tratamento em pequenas comunidades (principalmente as com menores condições financeiras).

A contribuição da ETR para os valores presentes totais foi, em média 6,54%, viabilizando, assim, o tratamento dos resíduos na própria ETA. A contribuição da etapa de funcionamento para os valores presentes foi predominante em relação à etapa de investimento iniciais. A contribuição dos itens de funcionamento variou entre 76,81% (para um período de projeto de 10 anos) e 82,51% (para um período de projeto de 30 anos).

Em geral, a ETA com menores custos foi a filtração direta descendente, seguida da FDA. Isso é devido ao menor número de unidades utilizadas para o tratamento de água na FDD (não possui câmara de carga), seguido da FDA (possui menos filtros que a DF). Em geral, a ETR que apresentou menores custos foi a ETR3 (tanque de regularização de vazão), seguida da ETR2 (lagoas de lodo). A ETR3 possui menores custos de investimento inicial, ao passo que a ETR2 apresenta menores custos de funcionamento.

A mudança de métodos construtivos também resultou em menores custos, com a única exceção sendo a mudança do método construtivo dos leitos de drenagem de concreto para alvenaria, uma vez que isso gerou gastos adicionais com reboco, impermeabilização e pintura.

Também se verificou a presença de economia de escala nos cenários avaliados, ou seja, os custos dos projetos de ETA+ETR por população atendida diminuem para aumentos de vazão de projeto.

Dentre as dificuldades encontradas, destaca-se a falta de dados de custos para outros projetos reais de ETA+ETR em pequenas comunidades brasileiras.

Em relação às contribuições, o modelo desenvolvido e a ferramenta computacional servirão como base para a seleção de tecnologias sustentáveis de tratamento de água e gerenciamento de resíduos, facilitando o trabalho de engenheiros projetistas brasileiros e guiando os investimentos em saneamento no país.

No entanto, recomenda-se que o usuário sempre avalie os resultados do modelo verificando sua aplicabilidade de acordo com as particularidades da área em estudo. Também se recomenda que o usuário siga as recomendações quanto às limitações de cada tecnologia e quanto às etapas a serem realizadas antes e depois da análise econômica, a fim de que a seleção de tecnologias seja realizada de forma a buscar a sustentabilidade dos projetos.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo de outras alternativas para o tratamento de água e o gerenciamento de resíduos em pequenas comunidades brasileiras, incluindo o tratamento descentralizado. Também recomenda-se comparar o modelo desenvolvido com dados de projetos reais realizados em locais análogos ao foco deste estudo (pequenas comunidades brasileiras). Recomenda-se, ainda, analisar outros cenários (usar mais valores de vazão e período de projeto) e variar outros parâmetros na análise econômica, como taxa de juros.

Além disso, recomenda-se a avaliação de indicadores, vida útil dos ativos e taxas de retorno dados por agências reguladoras brasileiras e estrangeiras (através de notas técnicas e deliberações). Dentre essas agências, destacam-se a *Water Services Regulation Authority* – OFWAT (Inglaterra), a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos – ERSAR (Portugal), a Associação Brasileira de Agências de Regulação – ABAR, a ARSESP e a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais – ARSAE.

Também é recomendada a avaliação de estudos recentes publicados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, pela Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, e pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. É recomendado ainda o acompanhamento dos novos projetos de lei que atualizam a Lei nº 11.445/07.

Em relação à ferramenta computacional, recomenda-se a criação de um canal de comunicação entre os usuários e as criadoras, de forma a auxiliar o esclarecimento de dúvidas e sugestões para o aprimoramento do programa. Também é recomendado o desenvolvimento de um manual de operação para facilitar o uso do programa pelos usuários.

## REFERÊNCIAS

- AHIAGA-DAGBUI, D. D.; SMITH, S. D. Neural networks for modelling the final target cost of water projects In: SMITH, S. D. (Ed). **Procs 28th Annual ARCOM Conference**, 3-5 September 2012. Edinburgh, UK: Association of Researchers in Construction Management, 2012. p. 307-316.
- AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 950-955, 2016a.
- \_\_\_\_\_. Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 1-13, 2016b.
- ALEX, D. P.; AL HUSSEIN, M.; BOUFERGUENE, A.; FERNANDO, S. Artificial Neural Network Model for Cost Estimation: City of Edmonton's Water and Sewer Installation Services. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 7, p. 745-756, 2010.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE. **Failure to Act: The Economic Impact of Current Investment Trends in Water and Wastewater Treatment Infrastructure**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2011.
- \_\_\_\_\_. **Failure to Act: Closing the Infrastructure Investment Gap for America's Economic Future**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2015.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residuals**. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 1996.
- \_\_\_\_\_. **Water Treatment Plant Design**. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 2012.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1999.
- \_\_\_\_\_. **Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water**. 6<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 2011.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION – AWWARF; KEURINGSINSTITUUT VOOR WATERLEIDINGARTIKELEN – KIWA. **Slib, Schlamm, Sludge**. Denver: American Water Works Association, 1990.
- ARAFA, M.; ALQEDRA, M. Early Stage Cost Estimation of Buildings Construction Projects Using Artificial Neural Networks. **Journal of Artificial Intelligence**, v. 4, n. 1, p. 63-75, 2011.

AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARSESP. **Resultado da 2ª revisão tarifária ordinária da SABESP** – etapa final: cálculo da tarifa média máxima (P0). São Paulo: Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, 2018.

\_\_\_\_\_. **Saneamento**. Disponível em: <<http://www.arsesp.sp.gov.br/SitePages/saneamento/informacoes-tecnicas.aspx>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 10 p.

BALETA, J.; MIKULCIC, H.; KLEMES, J. J.; URBANIEC, K.; DUIC, N. Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 1424-1436, 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. **Calculadora do Cidadão**: Correção de valores. 2019a. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

\_\_\_\_\_. **Dólar comercial oficial**: índice mensal de 1970 a 2019. 2019b. Disponível em: <<http://www.yahii.com.br/dolar.html>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

BARRIOS, R.; SIEBEL, M.; VAN DER HELM, A.; BOSKLOPPER, K.; GIJZEN, H. Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 471-476, 2008.

BARROSO, M. M.; ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. Eficiência do Leito de Drenagem para Desaguamento de Lodo de ETA que Utiliza Sulfato de Alumínio como Coagulante. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 10., 2006, Punta del Este, Uruguai. **Anais...** Punta del Este: Biblioteca Virtual de Desenvolvimento Sustentável e Saúde Ambiental, 2006.

BERTONE, E.; STEWART, R. A.; ZHANG, H.; O'HALLORAN, K. Hybrid water treatment cost prediction model for raw water intake optimization. **Environmental Modelling & Software**, v. 75, p. 230-242, 2016.

BONTON, A.; BOUCHARD, C.; BARBEAU, B.; JEDRZEJAK, S. Comparative life cycle assessment of water treatment plants. **Desalination**, v. 284, p. 42-54, 2012.

BRASIL. **Gestão econômico-financeira no setor de saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde – Funasa, 2014. 200 p.



BRASIL. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 jun. 1993. Seção 1, p. 8269.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 jan. 2007. Seção 1, p. 1.

\_\_\_\_\_. Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias, no âmbito da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1 jul. 2016. Seção 1, p. 1.

\_\_\_\_\_. Medida provisória nº 868, de 27 de dezembro de 2018. Atualiza a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 dez. 2018. Seção 1, p. 6.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2013. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Conselhos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conselhos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL – CAIXA. **Composição de Encargos Sociais**. Outubro de 2018. 2018a. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

\_\_\_\_\_. **SINAPI: Metodologias e Conceitos**. Novembro de 2018. 2018b. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Insumos e Composições: Jan/19 Sem Desoneração**. 2019. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CARDOSO, R. S. **Orçamento de Obras em Foco: um Novo Olhar Sobre a Engenharia de Custos**. São Paulo: Pini, 2009.

CASTRO, F.T. **Polibol: Origem e Regulamento**. Jaú, 2018.

CHEN, H.; MA, X.; DAI, H. Reuse of water purification sludge as raw material in cement production. **Cement & Concrete Composites**, v. 32, p. 436-439, 2010.

CHEN, H. W.; CHANG, N. B. A comparative analysis of methods to represent uncertainty in estimating the cost of constructing wastewater treatment plants. **Journal of Environmental Management**, v. 65, p. 383-409, 2002.

CHUNG, G.; LANSEY, K.; BLOWERS, P.; BROOKS, P.; ELA, W.; STEWART, S.; WILSON, P. A general water supply planning model: Evaluation of decentralized treatment. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, p. 893-905, 2008.

CLARK, R. M. Cost Estimating for Conventional Water Treatment. **Journal of Environmental Engineering**, v. 108, n. 5, p. 819-835, 1982.

CLARK, R. M.; MORAND, J. M. Cost of Small Water Supply Treatment Systems. **Journal of Environmental Engineering**, v. 107, n. 5, p. 1051-1065, 1981a.

\_\_\_\_\_. Package Plants: a cost-effective solution to small water system treatment needs. **Journal - American Water Works Association**, v.73, n. 1, p. 24-30, 1981b.

CLARK, R. M.; SIVAGANESAN, M.; SELVAKUMAR, A.; SETHI, V. Cost Models for Water Supply Distribution Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 128, n. 5, p. 312-321, 2002.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos (lodos) de Estação de Tratamento de Água – ETA de Monte Aprazível**. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1871465/>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

CORDEIRO, J. S. Remoção Natural de Água de Lodos de ETAs Utilizando Leitões de Secagem e Lagoas de Lodo (Cap. 6). In: REALI, M. A. P. (Coord). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 1999. p. 125-141. Projeto PROSAB.

CRITTENDEN, J. C. et al. **MWH's Water Treatment: Principles and Design**. 3<sup>rd</sup> ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

DANTAS, M. P.; MEDEIROS, P. S.; DANTAS, T. H. Gestão Estratégica dos Custos de Produção de Sistemas de Abastecimento de Água. In: 21<sup>o</sup> CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. XI-021.

DE GUSSEM, K.; WAMBECQ, T.; ROELS, J.; FENU, A.; DE GUELDRE, G.; VAN DE STEENE, B. Cost optimisation and minimisation of the environmental impact through life cycle analysis of the waste water treatment plant of Bree (Belgium). **Water Science & Technology**, v. 63, n.1, p. 164-170, 2011.

DEARMONT, D.; MCCARL, B. A.; TOLMAN, D. A. Costs of water treatment due to diminished water quality: A case study in Texas. **Water Resources Research**, v. 34, n. 4, p. 849-853, 1998.

DEB, A. K.; RICHARDS, W. G. Evaluating the economics of alternative technology for small water systems. **Journal - American Water Works Association**, v. 75, n. 4, p. 177-183, 1983.

DEE, N.; BAKER, J.; DROBNY, N.; DUKE, K.; WHITMAN, I.; FAHRINGER, D. An Environmental Evaluation System for Water Resource Planning. **Water Resources Research**, v. 9, n. 3, p. 523-535, 1973.

DHARMAPPA, H. B.; HASIA, A.; HAGARE, P. Water Treatment Plant Residuals Management. **Water Science & Technology**, v. 35, n. 8, p. 45-56, 1997.

DI BERNARDO, L. (Coord). **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. 480 p. Projeto PROSAB.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. e. 2. São Carlos: LDiBe, 2011. v. 1.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. e. 2. São Carlos: LDiBe, 2008. 1560 p.

DÓLARHOJE. **Dólar Comercial**: Histórico do dólar. Disponível em: <<https://www.dolarhoje.net.br/dolar-comercial/>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

FOLEY, P. D. Experience with Direct Filtration at Ontario's Lake Huron Treatment Plant. **Journal - American Water Works Association**, v. 69, n. 3, p. 162-164, 1980.

FONSECA, Y. D.; BRUNI, A. L. Técnicas de Avaliação de Investimentos: Uma Breve Revisão da Literatura. **Cadernos de Análise Regional**, v.1, p. 40-54, 2003.

FONTANA, A. O. **Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como Solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros - Estudo de Caso - ETA Cardoso**. 2004. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

FREITAS, A. G.; BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; PÁDUA, V. L.; PIMENTA, J. F. P.; ANDRADE, R. C. Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 37-46, 2010.

GANDINI, M. A.; GALVIS, C. A. La Dimension Ambiental en la Selección de Tecnología de Agua Potable. In: SEMINARIO TALLER - SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA, 2000, Santiago de Cali. **Anais... Cali**: Universidad del Valle - Cinara, 2000.

GARRIDO-BASERBA, M.; VINARDELL, S.; MOLINOS-SENANTE, M.; ROSSO, D.; POCH, M. The Economics of Wastewater Treatment Decentralization: A Techno-economic Evaluation. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 8965-8976, 2018.

GUMERMAN, R. C.; CULP, R. L.; HANSEN, S. P. **Estimating Water Treatment Costs: Volume 1 – Summary**. EPA 600/2-79-162a, August 1979a.

\_\_\_\_\_. **Estimating Water Treatment Costs: Volume 2 – Cost Curves Applicable to 1 to 200 mgd Treatment Plants**. EPA 600/2-79-162b, August 1979b.

\_\_\_\_\_. **Estimating Water Treatment Costs: Volume 3 – Cost Curves Applicable to 2,500 gpd to 1 mgd Treatment Plants**. EPA 600/2-79-162c, August 1979c.

\_\_\_\_\_. **Estimating Water Treatment Costs: Volume 4 – Computer User's Manual for Retrieving and Updating Cost Data**. EPA 600/2-79-162d, August 1979d.

GÜNAYDIN, H. M.; DOGAN, S. Z. A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. **International Journal of Project Management**, v. 22, p. 595-602, 2004.

GUPTA, A. K.; SHRIVASTAVA, R. K. Reliability-Constrained Optimization of Water Treatment Plant Design Using Genetic Algorithm. **Journal of Environmental Engineering**, v. 136, n. 3, p. 326-334, 2010.

HALLER, L.; HUTTON, G.; BARTRAM, J. Estimating the costs and health benefits of water and sanitation improvements at global level. **Journal of Water and Health**, v. 5, n. 4, p. 467-480, 2007.

HDR ENGINEERING INC. **Handbook of Public Water Systems**. 2<sup>nd</sup> ed. Omaha: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

HEBERLING, M. T.; NIETCH, C. T.; THURSTON, H. W.; ELOVITZ, M.; BIRKENHAUER, K. H.; PANGULURI, S.; RAMAKRISHNAN, B.; HEISER, E.; NEYER, T. Comparing drinking water treatment costs to source water protection costs using time series analysis. **Water Resources Research**, v. 51, p. 8741-8756, 2015.

HIDROSUL. **Adensador de Lodo Tipo Tanque**. Disponível em: <<http://www.hidrosul.com.br/produto/adensador-de-lodo>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

\_\_\_\_\_. **Tanque de Equalização**. Disponível em: <<http://www.hidrosul.com.br/produto/equalizacao>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

HINOMOTO, H. Capital cost functions of a surface water treatment plant and its components. **Water Resources Research**, v. 13, n. 6, p. 873-876, 1977.

HOSLETT, J.; MASSARA, T. M.; MALAMIS, S.; AHMAD, D.; VAN DEN BOOGAERT, I.; KATSOU, E.; AHMAD, B.; GHAZAL, H.; SIMONS, S.; WROBEL, L.; JOUHARA, H. Surface water filtration using granular media and membranes: A review. **Science of the Total Environment**, v. 639, p. 1268-1282, 2018.

HUTTON, G. **Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage**. Geneva: World Health Organization, 2012.

HUTTON, G.; HALLER, L. **Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level**. Geneva: World Health Organization, 2004. 87 p.

HUTTON, G.; HALLER, L.; BARTRAM, J. Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions. **Journal of Water and Health**, v. 5, n. 4, p. 481-502, 2007.

IGOS, E.; BENETTO, E.; BAUDIN, I.; TIRUTA-BARNA, L.; MERY, Y.; ARBAULT, D. Cost-performance indicator for comparative environmental assessment of water treatment plants. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 367-374, 2013.

IGOS, E.; DALLE, A.; TIRUTA-BARNA, L.; BENETTO, E.; BAUDIN, I.; MERY, Y. Life Cycle Assessment of water treatment: what is the contribution of infrastructure and operation at unit process level? **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 424-431, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios - Resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011a.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2010: Principais resultados - Sinopse**. 2011b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 04 Abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico: Tabela 1290 - Número de Municípios e População nos Censos Demográficos por tamanho da população**. 2011c. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1290>>. Acesso em: 04 Abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Indicadores Sociais Municipais 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv1162.pdf>>. Acesso em: 13 Abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Indicadores Sociais Municipais: Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011d. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv54598.pdf>>. Acesso em: 13 Abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE Educa. **Conheça o Brasil - População: População Rural e Urbana**. 2015. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>>. Acesso em: 04 Abr. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento no Brasil**. São Paulo: EX ANTE Consultoria Econômica, 2018a. 86 p.  
INSTITUTO TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. 2018b. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br>>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

KATKO, T. S. Limited applicability of economies of scale to water supplies. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 41, n. 5, p. 283-289, 1992.

KIZINIEVIC, O.; ZURAUSKIENE, R.; KIZINIEVIC, V.; ZURAUSKAS, R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 464-473, 2013.

KUMAR, S.; GROTH, A.; VLACIC, L. A tool for evaluation of lifecycle cost of water production for small-scale community projects. **Water Policy**, v. 18, p. 769-782, 2016.

\_\_\_\_\_. Cost Evaluation of Water and Wastewater Treatment Plants Using Water Price Index. **Water Resource Management**, v. 29, p. 3343-3356, 2015.

LOG ENGENHARIA LTDA. **Destinação de Lodo Estabilizado Proveniente das ETEs do SES de Três Lagoas - MS**. Disponível em: <[http://www.logengenharia ltda.com.br/noticias\\_2.php?idNoticia=7](http://www.logengenharia ltda.com.br/noticias_2.php?idNoticia=7)>. Acesso em: 28 fev. 2019.

LOGSDON, G. S.; CLARK, R. M.; TATE, C, H. Direct Filtration Treatment Plants: Costs and Capabilities. **Journal - American Water Works Association**, v. 69, n. 3, p. 134-147, 1980.

MACHADO, A. P.; URBANO, L.; BRITO, A. G.; JANKNECHT, P.; SALAS, J. J.; NOGUEIRA, R. Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities. **Water Science & Technology**, v. 56, n. 3, p. 15-22, 2007.

MAKUNGO, R.; ODIYO, J. O.; TSHIDZUMBA, N. Performance of small water treatment plants: The case study of Mutshedzi Water Treatment Plant. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, p. 1151-1158, 2011.

MARZOUK, M.; ELKADI, M. Estimating water treatment plants costs using factor analysis and artificial neural networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4540-4549, 2016.

MCGIVNEY, W.; KAWAMURA, S. **Cost Estimating Manual for Water Treatment Facilities**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 196 p.

MERY, Y.; TIRUTA-BARNA, L.; BAUDIN, I.; BENETTO, E.; IGOS, E. Formalization of a technical procedure for process ecodesign dedicated to drinking water treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 16-24, 2014.

MESDAGHINIA, A.; HAMEDIAN, A.; RAHMANI, K. Evaluation of Performance Wastewater Treatment Plants in Tehran, Iran. **Research Journal of Biological Sciences**, v. 6, n. 1, p. 30-32, 2011.

MHAISALKAR, V. A.; BASSIN, J. K.; PARAMASIVAM, R.; KHANNA, P. Dynamic Programming Optimization of Water-Treatment Plant Design. **Journal of Environmental Engineering**, v. 119, n. 6, p. 1158-1175, 1993.

MOHAPATRA, P. K.; SIEBEL, M. A.; GIJZEN, H. J.; VAN DER HOEK, J. P.; GROOT, C. A. Improving eco-efficiency of Amsterdam water supply: A LCA approach. **Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 51, n. 4, p. 217-227, 2002.

MONTGOMERY, J. M. Construction and Operating Cost Estimating (Chapter 25). In: \_\_\_\_\_. **Water Treatment: Principles and Design**. New York: John Wiley & Sons, 1985. cap. 25, p. 656-674.

MORAGA, G.; HUYSVELD, S.; MATHIEUX, F.; BLENGINI, G. A.; ALAERTS, L.; VAN ACKER, K.; DE MEESTER, S.; DEWULF, J. Circular economy indicators: What do they measure? **Resources, Conservation & Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.

MOTEVALLIAN, S. S.; TABESH, M.; ROOZBAHANI, A. Sustainability assessment of urban water systems: a case study. **Engineering Sustainability**, v. 167, n. 4, p. 157-169, 2014.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum**. Geneva: World Health Organization, 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals**. Geneva: World Health Organization, 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS; FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA – UNICEF. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines**. Geneva: World Health Organization, 2017.

OSIPI, S. R.; SECCHI, A. R.; BORGES, C. P. Cost assessment and retro-techno-economic analysis of desalination technologies in onshore produced water treatment. **Desalination**, v. 430, p. 107-119, 2018.

PETERSON, D. L.; SCHLEPPENBACH, F. X.; ZAUDTKE, T. M. Studies of Asbestos Removal by Direct Filtration of a Lake Superior Water. **Journal - American Water Works Association**, v. 69, n. 3, p. 155-161, 1980.

PIERONI, M. P. P.; MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. A. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 198-216, 2019.

PREMONTA. **Custo por etapa da obra**. 2015. Disponível em: <<http://premonta.com.br/custo-por-etapa-da-obra/>>. Acesso em: 19 Abr. 2019.

QASIM, S. R.; LIM, S. W.; MOTLEY, E. M.; HEUNG, K. G. Estimating Costs for Treatment Plant Construction. **Journal - American Water Works Association**, v. 84, n. 8, p. 56-62, 1992.

RATHNAYAKA, K.; MALANO, H.; ARORA, M. Assessment of Sustainability of Urban Water Supply and Demand Management Options: A Comprehensive Approach. **Water**, v. 8, n. 12, p. 595:1-14, 2016.

REALI, M. A. P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs (Cap. 2). In: REALI, M. A. P. (Coord). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 1999. p. 21-40. Projeto PROSAB.

REALI, M. A. P.; SABOGAL PAZ, L. P.; DANIEL, L. A. Tratamento de Água para Consumo Humano. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Coord.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. e. 5. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 405-453.

SABOGAL PAZ, L. P. **Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte**. 2007. 398 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

\_\_\_\_\_. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno e Médio Porte**. 2010. Relatório Final (Pesquisa de Pós-Doutorado) – FAPESP, São Paulo, 2010.

SABOGAL PAZ, L. P.; MARQUES, E.; ABICHABKI, F. B.; SAKAMOTO, J. A. Avaliação técnico-econômica da tecnologia de tratamento de água de dupla filtração. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 525-532, 2015.

SAKAMOTO, J. A. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água em Comunidades Brasileiras de Pequeno e Médio Porte Considerando Aspectos Ambientais**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SASSANELLI, C.; ROSA, P.; ROCCA, R.; TERZI, S. Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 440-453, 2019.

SCHROEDER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2018.

SETHI, V.; CLARK, R. M. Cost estimation models for drinking water treatment unit processes. **Indian Journal of Engineering & Materials Sciences**, v. 5, p. 223-235, 1998.

SHANE, A.; GHEEWALA, S. H.; KAFWEMBE, Y. Urban commercial biogas power plant model for Zambian towns. **Renewable Energy**, v. 103, p. 1-14, 2017.

SHARMA, J. R. **Development of a Preliminary Cost Estimation Method for Water Treatment Plants**. 2010. 110 p. Dissertation (MSc) - Faculty of the Graduate School, The University of Texas at Arlington, Arlington, 2010.

SHARMA, J. R.; NAJAFI, M.; QASIM, S. R. Preliminary Cost Estimation Models for Construction, Operation, and Maintenance of Water Treatment Plants. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 19, n. 4, p. 451-464, 2013.

SIGMA. **Adensadores**. Disponível em: <<http://sigma.ind.br/produto/adensadores>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

SILVA, K. J. S. **Métodos de recuperação e estimativa de viabilidade de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. em resíduos do tratamento de água de consumo**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SMET, J.; VAN WIJK, C. (Ed.). **Small Community Water Supplies: Technology, People and Partnership**. Delft, The Netherlands: IRC International Water and Sanitation Centre, 2002. 585 p.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Dragagem de lagoa**. Disponível em: <[https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/conteineres\\_paletes\\_e\\_recipientes/teknovaal-industria-e-comercio-ltda-/produtos/servicos/dragagem-de-lagoa](https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/conteineres_paletes_e_recipientes/teknovaal-industria-e-comercio-ltda-/produtos/servicos/dragagem-de-lagoa)>. Acesso em: 28 fev. 2019.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS FUND – SDGF. **Goal 6: Clean water and sanitation**. Disponível em: <<http://www.sdgfund.org/goal-6-clean-water-and-sanitation>>. Acesso em: 04 Abr. 2019.



SWEENEY, G. E.; PRENDIVI, P. W. Direct Filtration - Economic Answer to a City's Water Needs. **Journal - American Water Works Association**, v. 66, n. 2, p. 65-71, 1974.

TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS – TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos 14**. São Paulo: Pini, 2012.

TATE, C. H.; TRUSSELL, R. R. Recent Developments in Direct Filtration. **Journal - American Water Works Association**, v. 69, n. 3, p. 165-169, 1980.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. Priorização de Investimentos em Saneamento Baseada em Indicadores Epidemiológico e Financeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 187-195, 2003.

TISAKA, M. **Orçamento na Construção Civil: Consultoria, Projeto e Execução**. São Paulo: Pini, 2006.

\_\_\_\_\_. **Metodologia de Cálculo da Taxa do BDI e Custos Diretos para a Elaboração do Orçamento na Construção Civil**. São Paulo: Instituto de Engenharia, 2009. Disponível em: <[https://www.institutodeengenharia.org.br/site/noticias/exibe/id\\_sessao/7/id\\_noticia/1311/Methodologia-de-calculo-da-taxa-do-bdi-e-custos-diretos-para-a-elaboracao-do-orcamento-na-construcao-civil](https://www.institutodeengenharia.org.br/site/noticias/exibe/id_sessao/7/id_noticia/1311/Methodologia-de-calculo-da-taxa-do-bdi-e-custos-diretos-para-a-elaboracao-do-orcamento-na-construcao-civil)>. Acesso em: 19 fev. 2019.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO – TCU. **Estudo sobre taxas referenciais de BDI de obras públicas e de equipamentos e materiais relevantes**. TC 036.076/2011-2, Maio 2013. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A151356F96015168D520297EE4>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Drinking Water Infrastructure Needs Survey: Modeling the Cost of Infrastructure**. EPA 812-R-97-002, January 1997.

\_\_\_\_\_. **1999 Drinking Water Infrastructure Needs Survey: Modeling the Cost of Infrastructure**. EPA 816-R-01-005, February 2001.

\_\_\_\_\_. **2003 Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment: Modeling the Cost of Infrastructure**. EPA 816-R-06-007, June 2006.

\_\_\_\_\_. **2007 Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment: Modeling the Cost of Infrastructure**. EPA 816-R-10-005, April 2010.

\_\_\_\_\_. **Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment: Fifth Report to Congress**. EPA 816-R-13-006, April 2013.

\_\_\_\_\_. **Drinking Water Costs & Federal Funding**. EPA 816-F-04-038, June 2004.

VINCE, F.; Aoustin, E.; BRÉANT, P.; MARECHAL, F. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. **Desalination**, v. 220, p. 37-56, 2008.

WESTERHOFF, G. P.; HESS, A. F.; BARNES, M. J. Plant-Scale Comparison of Direct Filtration Versus Conventional Treatment of a Lake Erie Water. **Journal - American Water Works Association**, v. 69, n. 3, p. 148-155, 1980.

## APÊNDICE A – Desenhos dos projetos de ETA+ETR

Na versão eletrônica, este apêndice encontra-se ao final do documento (após o Anexo C). Na versão impressa, este apêndice pode ser consultado no DVD afixado na contracapa (ao final do trabalho).

## APÊNDICE B – Quantitativos utilizados na análise econômica

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continua)

ITEM	UNIDADE
<b>1. Área requerida</b>	
Área requerida pela ETA	m <sup>2</sup>
Área requerida pela ETR	m <sup>2</sup>
<b>2. Serviços iniciais</b>	
<b>2.1. Serviços iniciais da ETA</b>	
Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até ø 15 cm, utilizando trator de esteiras	m <sup>2</sup>
Limpeza manual do terreno (c/ raspagem superficial)	m <sup>2</sup>
Gradil 1320x2170 mm (AxL) em barra de aço chata 25x2 mm, entrelaçada com barra aço redonda 5 mm, malha 65x132 mm, galvanizado e pintura eletrostática, cor preto	m <sup>2</sup>
Portão em tela arame galvanizado n.12 malha 2" e moldura em tubos de aço com duas folhas de abrir, incluso ferragens	m <sup>2</sup>
Portão de ferro em chapa galvanizada plana 14 GSG	m <sup>2</sup>
Entrada provisória de energia elétrica aérea trifásica 40 A em poste madeira	un
Execução de depósito em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário	m <sup>2</sup>
Mobilização e instalação de 01 equipamento de sondagem, distância até 10 km	un
Locação convencional de obra, através de gabarito de tabuas corridas pontaletadas, com reaproveitamento de 10 vezes	m <sup>2</sup>
<b>2.2. Serviços iniciais da ETR</b>	
Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até ø 15 cm, utilizando trator de esteiras	m <sup>2</sup>
Limpeza manual do terreno (c/ raspagem superficial)	m <sup>2</sup>
Gradil 1320x2170 mm (AxL) em barra de aço chata 25x2 mm, entrelaçada com barra aço redonda 5 mm, malha 65x132 mm, galvanizado e pintura eletrostática, cor preto	m <sup>2</sup>
Execução de depósito em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário	m <sup>2</sup>
Mobilização e instalação de 01 equipamento de sondagem, distância até 10 km	un
Locação convencional de obra, através de gabarito de tabuas corridas pontaletadas, com reaproveitamento de 10 vezes	m <sup>2</sup>
<b>3. Caixas de passagem e de inspeção</b>	
<b>3.1. Caixas da ETA</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
<b>3.2. Caixas da ETR</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
<b>4. Calçadas</b>	
<b>4.1. Calçadas da ETA</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>4.2. Calçadas da ETR</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
<b>5. Casa de química da ETA</b>	
Escavação mecanizada de vala com prof. maior que 3,0 m até 4,5 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (1,2 m <sup>3</sup> /155 HP), larg. de 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida maior ou igual a 6 m <sup>2</sup> , com vãos, utilizando palheta e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>
Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de mais que 2 águas para telha de encaixe de cerâmica ou de concreto, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>
Telhamento com telha cerâmica de encaixe, tipo francesa, com mais de 2 águas, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>
Batente ferro 1x1/8"	m
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros padronizada	m <sup>2</sup>
Porta de ferro de abrir tipo barra chata, com requadro e guarnição completa	m <sup>2</sup>
Porta de aço chapa 24, de enrolar, raiada, larga com acabamento galvanizado natural	m <sup>2</sup>
Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicado em áreas secas sobre laje, aderido, espessura 2 cm	m <sup>2</sup>
Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em teto, espessura de 20 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25 mm	m <sup>2</sup>
Emboço, para recebimento de cerâmica, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicado manualmente em faces internas de paredes, para ambiente com área maior que 10 m <sup>2</sup> , espessura de 10 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>
Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 10 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>
Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35 cm aplicada em ambientes de área maior que 10 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Revestimento cerâmico para paredes internas com placas tipo esmaltada extra de dimensões 20x20 cm aplicadas em ambientes de área maior que 5 m <sup>2</sup> na altura inteira das paredes	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em teto, duas demãos	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex PVA em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>
Escada metálica 3,7x1,2 m + instalação	pç
Escada metálica 3,7x0,6 m + instalação	pç
<b>6. Câmara de carga</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>6. Câmara de carga</b>	
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg
Mão de obra - construção e instalação de chapa de aço	kg
Epóxi Poliâmida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 1 demão	m <sup>2</sup>
Pintura Epóxi sumadur 194 - água potável (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 2 demãos	m <sup>2</sup>
<b>7. Filtros rápidos ascendentes</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg
Mão de obra - construção e instalação de chapa de aço	kg
Epóxi Poliâmida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 1 demão	m <sup>2</sup>
Pintura Epóxi sumadur 194 - água potável (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 2 demãos	m <sup>2</sup>
Material filtrante (pedregulho) 25,4 a 38,0 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 15,9 a 25,4 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 9,6 a 15,9 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 6,4 a 12,7 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 2,4 a 4,8 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 9,6 a 12,7 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 12,7 a 19,0 mm	m <sup>3</sup>
Areia para leito filtrante	m <sup>3</sup>
<b>8. Filtros rápidos ascendentes em pedregulho</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg
Mão de obra - construção e instalação de chapa de aço	kg
Epóxi Poliâmida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 1 demão	m <sup>2</sup>
Pintura Epóxi sumadur 194 - água potável (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 2 demãos	m <sup>2</sup>
Material filtrante (pedregulho) 25,4 a 31,0 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 15,9 a 25,4 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 9,6 a 15,9 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 4,8 a 9,6 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 2,4 a 4,8 mm	m <sup>3</sup>
<b>9. Filtros rápidos descendentes</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>9. Filtros rápidos descendentes</b>	
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg
Mão de obra - construção e instalação de chapa de aço	kg
Epóxi Poliâmida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 1 demão	m <sup>2</sup>
Pintura Epóxi sumadur 194 - água potável (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 2 demãos	m <sup>2</sup>
Material filtrante (pedregulho) 25,4 a 40,0 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 12,7 a 19,0 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 6,4 a 12,7 mm	m <sup>3</sup>
Material filtrante (pedregulho) 2,0 a 4,8 mm	m <sup>3</sup>
Areia para leito filtrante	m <sup>3</sup>
<b>10. Passarela</b>	
Grade de aço com barras de 3/4"x1/8", espaçamento até 1,5 cm (passarela)	m <sup>2</sup>
Escada tipo marinho em tubo aço galvanizado 1 1/2", 5 degraus	m
Guarda-corpo em tubo de aço galvanizado 1 1/2"	m <sup>2</sup>
Guarda-corpo em escada de aço galvanizado - NTS 282 (tipo Sabesp) + pintura	m
<b>11. Tanque de água filtrada e câmara de contato</b>	
Escavação mecanizada de vala com prof. maior que 1,5 m até 3,0 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (0,8 m <sup>3</sup> /111 HP), larg. de 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg
Mão de obra - construção e instalação de chapa de aço	kg
Epóxi Poliâmida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 1 demão	m <sup>2</sup>
Pintura Epóxi sumadur 194 - água potável (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 2 demãos	m <sup>2</sup>
<b>12. Tanques de clarificação / adensamento</b>	
Escavação vertical a céu aberto, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidráulica (caçamba: 0,8 m <sup>3</sup> /111 HP), frota de 3 caminhões basculantes de 14 m <sup>3</sup> , DMT de 0,2km e velocidade média 4km/h	m <sup>3</sup>
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Guarda-corpo em tubo de aço galvanizado 1 1/2"	m <sup>2</sup>
Portão metálico (1,0x0,7 m)	pç
<b>13. Casa de bombas</b>	
Escavação vertical a céu aberto, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidráulica (caçamba: 0,8 m <sup>3</sup> /111 HP), frota de 3 caminhões basculantes de 14 m <sup>3</sup> , DMT de 0,2km e velocidade média 4km/h	m <sup>3</sup>
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>13. Casa de bombas</b>	
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida maior ou igual a 6 m <sup>2</sup> , com vãos, utilizando palheta e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>
Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha de encaixe de cerâmica ou de concreto, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>
Telhamento com telha cerâmica de encaixe, tipo francesa, com até 2 águas, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>
Batente ferro 1x1/8"	m
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros padronizada	m <sup>2</sup>
Porta de ferro de abrir tipo barra chata, com requadro e guarnição completa	m <sup>2</sup>
Porta de correr em alumínio, com duas folhas para vidro, incluso vidro liso incolor, fechadura e puxador, sem guarnição/alizar/vista	m <sup>2</sup>
Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicado em áreas secas sobre laje, aderido, espessura 2 cm	m <sup>2</sup>
Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em teto, espessura de 20 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25 mm	m <sup>2</sup>
Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 10 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>
Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35 cm aplicada em ambientes de área maior que 10 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em teto, duas demãos	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex PVA em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>
Escada metálica tipo caracol com guarda-corpo + instalação	pç
Guarda-corpo em tubo de aço galvanizado 1 1/2"	m <sup>2</sup>
<b>14. Leitos de drenagem</b>	
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 14x9x19 cm (espessura 14 cm, bloco deitado) de paredes com área líquida maior ou igual a 6 m <sup>2</sup> com vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>
Impermeabilização de superfície com cimento impermeabilizante de pega ultra rápida, traço 1:1, e = 0,5 cm	m <sup>2</sup>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em panos cegos de fachada (sem presença de vãos), espessura de 25 mm	m <sup>2</sup>
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>
Manta geotêxtil tecido de laminetes de polipropileno, resistência a tração = 25 KN/m	m <sup>2</sup>
Cantoneira alumínio abas iguais 2", e = 1/8"	m
Lona plástica transparente para cobertura 5x4 m	un
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 14, e = 2,00 mm, 16 kg/m <sup>2</sup>	kg



Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>14. Leitões de drenagem</b>	
Pedra britada N.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m <sup>3</sup>
Grelha reta de ferro fundido 20x50 cm	un
<b>15. Lagoas de lodo</b>	
Escavação mecanizada de vala com prof. Maior que 3,0 m até 4,5 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (1,2 m <sup>3</sup> /155 HP), larg. De 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>
Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) – preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm – montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Guarda-corpo em tubo de aço galvanizado 1 1/2"	m <sup>2</sup>
Prancha de madeira aparelhada 4x30 cm, 195maçaranduba, angelim ou equivalente da região	m
Manta geotêxtil tecido de laminetes de polipropileno, resistência a tração = 25 KN/m	m <sup>2</sup>
<b>16. Tanque de regularização de vazão</b>	
Escavação mecanizada de vala com prof. Maior que 4,5 m até 6,0 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (1,2 m <sup>3</sup> /155 HP), larg. De 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>
Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) – preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm – montagem	kg
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg
Mão de obra – construção e instalação de chapa de aço	kg
Epóxi Poliamida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10m <sup>2</sup> /L por demão)	m <sup>2</sup>
Pintura Epóxi sumadur 194 – água potável (rendimento médio = 10m <sup>2</sup> /L por demão)	m <sup>2</sup>
Guarda-corpo em tubo de aço galvanizado 1 1/2"	m <sup>2</sup>
Portão metálico (1,0x0,7 m)	pç
<b>17. Tubulações, conexões e válvulas – ETA</b>	
<b>17.1. Tubulações e conexões de ferro fundido</b>	
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 100 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 150 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 200 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 250 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 300 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 400 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Tubo de ferro fundido DN 100 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 150 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 200 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 250 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 300 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 400 mm, L = 6 m	m
Tê 90 de ferro fundido DN 100 mm	pç

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>17. Tubulações, conexões e válvulas - ETA</b>	
<b>17.1. Tubulações e conexões de ferro fundido</b>	
Tê 90 de ferro fundido DN 150 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 200 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 250 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 300 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 400 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 150x100 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 200x100 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 200x150 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 250x100 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 250x200 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 300x100 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 300x150 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 300x200 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 300x250 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 150x100 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 200x100 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 200x150 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 250x200 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 300x150 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 300x200 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 300x250 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 350x300 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 100 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 150 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 200 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 250 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 300 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 100 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 150 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 200 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 250 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 300 mm	pç
<b>17.2. Tubulações e conexões de aço galvanizado comum</b>	
Tubo de aço galvanizado comum DN 25 mm, L = 6 m	m
Tubo de aço galvanizado comum DN 38 mm, L = 6 m	m
Tubo de aço galvanizado comum DN 50 mm, L = 6 m	m
Tubo de aço galvanizado comum DN 63 mm, L = 6 m	m
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 38 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 38x25 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 50x25 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 63x38 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 63x50 mm	pç
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 25 mm	pç
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 25 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 38 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç
<b>17.3. Tubulações e conexões de PVC rígido</b>	
Tubo de PVC rígido água DN 38 mm soldável, L = 6 m	m
Tê 90 de PVC rígido água DN 38 mm soldável	pç
Curva 90 de PVC rígido água DN 38 mm soldável	pç

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>17.4. Tubulações de PVC rígido esgoto</b>	
Tubo de PVC rígido esgoto DN 150 mm, L = 6 m	m
<b>17.5. Tubulações flexíveis</b>	
Tubo flexível DN 1/4" tipo cristal	m
<b>17.6. Válvulas borboleta</b>	
Válvula borboleta tipo Wafer DN 100 mm	pç
Válvula borboleta tipo Wafer DN 150 mm	pç
Válvula borboleta tipo Wafer DN 200 mm	pç
Válvula borboleta tipo Wafer DN 250 mm	pç
Válvula borboleta tipo Wafer DN 300 mm	pç
<b>17.7. Válvulas de retenção</b>	
Válvula de retenção DN 63 mm	pç
Válvula de retenção DN 100 mm	pç
Válvula de retenção DN 150 mm	pç
Válvula de retenção DN 200 mm	pç
<b>17.8. Registros e outras válvulas</b>	
Registro de ângulo DN 63 mm	pç
Registro gaveta DN 38 mm	pç
Registro gaveta DN 50 mm	pç
Registro gaveta DN 63 mm	pç
Válvula de esfera DN 25 mm	pç
<b>18. Tubulações, conexões e válvulas - ETR</b>	
<b>18.1. Tubulações e conexões de ferro fundido</b>	
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 100 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 250 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 350 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m
Tubo de ferro fundido DN 100 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 250 mm, L = 6 m	m
Tubo de ferro fundido DN 350 mm, L = 6 m	m
Tê 90 de ferro fundido DN 80 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 100 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 250 mm	pç
Tê 90 de ferro fundido DN 350 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 250x100 mm	pç
Tê de redução de ferro fundido DN 350x100 mm	pç
Redução de ferro fundido DN 100x80 mm	pç
Curva 45 de ferro fundido DN 250 mm	pç
Curva 45 de ferro fundido DN 350 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 100 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 250 mm	pç
Curva 90 de ferro fundido DN 350 mm	pç
Cruzeta de ferro fundido DN 100 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 100 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 250 mm	pç
Flange de ferro fundido DN 350 mm	pç
<b>18.2. Tubulações e conexões de aço galvanizado comum</b>	
Tubo de aço galvanizado comum DN 25 mm, L = 6 m	m
Tubo de aço galvanizado comum DN 38 mm, L = 6 m	m
Tubo de aço galvanizado comum DN 50 mm, L = 6 m	m
Tubo de aço galvanizado comum DN 63 mm, L = 6 m	m

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>18. Tubulações, conexões e válvulas - ETR</b>	
<b>18.2. Tubulações e conexões de aço galvanizado comum</b>	
Tubo de aço galvanizado comum DN 75 mm, L = 6 m	m
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 38 mm	pç
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 50 mm	pç
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 75 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 50x25 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 50x38 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 63x32 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 63x38 mm	pç
Redução de aço galvanizado comum DN 63x50 mm	pç
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 50 mm	pç
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 75 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 25 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 38 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 50 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 75 mm	pç
<b>18.3. Tubulações de PVC rígido esgoto</b>	
Tubo de PVC rígido esgoto DN 100 mm, L = 6 m	m
<b>18.4. Válvulas borboleta</b>	
Válvula borboleta tipo Wafer DN 100 mm	pç
Válvula borboleta tipo Wafer DN 250 mm	pç
Válvula borboleta tipo Wafer DN 350 mm	pç
<b>18.5. Válvulas de retenção</b>	
Válvula de retenção DN 50 mm	pç
Válvula de retenção DN 63 mm	pç
Válvula de retenção DN 75 mm	pç
Válvula de pé com crivo DN 63 mm	pç
<b>18.6. Registros e outras válvulas</b>	
Registro gaveta DN 50 mm	pç
Registro gaveta DN 63 mm	pç
Registro gaveta DN 75 mm	pç
<b>19. Equipamentos de laboratório</b>	
<b>19.1. Equipamentos de laboratório (físico-químico)</b>	
Jarteste com kit de filtros de laboratório (Nova Ética ou similar)	pç
Turbidímetro portátil (2100P - HACH ou similar)	pç
Espectrofotômetro (DR 5000 UV/VIS ou similar)	pç
Medidor de pH (DM-20 DIGIMED ou similar)	pç
Balança analítica digital com capacidade máxima de 210 g (MA-2104N - MARCONI ou similar)	pç
Agitador magnético com aquecimento (MA-085 - MARCONI ou similar)	pç
Compressor aspirador para vácuo ou bomba de vácuo (MA-058 - MARCONI ou similar)	pç
Destilador de água capacidade 5,5 L/h (MA-255 - MARCONI ou similar)	pç
Chapa aquecedora (MA 239 - MARCONI ou similar)	pç
Mufla (Q318M24 - QUIMIS ou similar)	pç
Balança simples (ESL-100 QUIMIS ou similar)	pç
Dessecador com luva 250 mm com disco (HS 320-250 - HS ou similar)	pç
Condutivímetro de bancada (Q405 - QUIMIS ou similar)	pç
Capela para exaustão de gases em fibra de vidro, porta frontal em acrílico (CE0701 - PERMUTION ou similar)	pç

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>19. Equipamentos de laboratório</b>	
<b>19.1. Equipamentos de laboratório (físico-químico)</b>	
Barrilete em PVC, com capacidade de 30 L (BP-0302 - PERMUTION ou similar)	pç
Bureta digital de 25 mL (MOD. 182-026 - JENCONS ou similar)	pç
Bureta digital de 50 mL (MOD. 182-026 - JENCONS ou similar)	pç
<b>19.2. Equipamentos de laboratório (microbiológico)</b>	
Estufa esterilização/secagem (QX402 - QUALXTRON ou similar)	pç
Autoclave vertical 30 L (MOD. AV-30 - PHOENIX ou similar)	pç
Refrigerador para laboratório (412-D155 - Nova Ética ou similar)	pç
Contador de colônias (CP-600 - MARCONI ou similar)	pç
Sistema de filtração (MA-452/3 - MARCONI ou similar)	pç
Compressor aspirador para vácuo ou bomba de vácuo (MA-058 - MARCONI ou similar)	pç
Banho Maria (TE-056 - TECNAL ou similar)	pç
Bicos queimadores	pç
Balança analítica digital com capacidade máxima de 210 g (MA-2104N - MARCONI ou similar)	pç
Agitador magnético com aquecimento (MA-085 - MARCONI ou similar)	pç
Medidor de pH (DM-20 DIGIMED ou similar)	pç
<b>20. Vidraria e acessórios de laboratório</b>	
<b>20.1. Vidraria e acessórios (laboratório físico-químico)</b>	
Termômetro de mercúrio com escala de -10+150:1 e divisão de 1°C (HIPERQUIMICA ou similar)	pç
Pipeta graduada 1x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç
Pipeta graduada 2x1/100 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç
Pipeta graduada 5x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç
Pipeta graduada 10x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç
Pipeta graduada 20x1/10 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç
Pipeta graduada 25x1/10 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç
Pipeta graduada 50x1/10 mL (LABORGLAS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 1 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 2 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 5 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 10 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 25 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 50 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 100 mL (HS ou similar)	pç
Proveta de vidro sem tampa 10 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 50 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 100 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 250 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 500 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 1000 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 10 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 50 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 100 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 250 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 500 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 1000 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 10 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 25 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 50 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 100 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 250 mL	pç

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>20. Vidraria e acessórios de laboratório</b>	
<b>20.1. Vidraria e acessórios (laboratório físico-químico)</b>	
Beacker de vidro forma baixa 500 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 1000 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 10 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 25 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 50 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 100 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 125 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 250 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 500 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 1000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 25 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 50 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 100 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 250 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 500 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 1000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 2000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 50 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 100 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 250 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 500 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 1000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 2000 mL	pç
Pipetador de borracha 3 vias (J.PR ou similar)	pç
Kitasato de vidro 250 mL	pç
Kitasato de vidro 500 mL	pç
Grais com pistilo de cerâmica 180 mL	pç
Cone inhoff plástico 1000 mL	pç
Suporte para cone inhoff em polietileno	pç
Cápsula cerâmica para evaporação 5-85 mm (CHIAROTTI ou similar)	pç
Cápsula cerâmica para evaporação 5-105 mm (CHIAROTTI ou similar)	pç
Cápsula cerâmica para evaporação 5-50 mm (CHIAROTTI ou similar)	pç
Funil de vidro raiado haste longa 50 mm	pç
Funil de vidro raiado haste longa 65 mm	pç
Funil de vidro raiado haste longa 75 mm	pç
Funil de vidro raiado haste longa 100 mm	pç
Funil de vidro raiado haste curta 50 mm	pç
Funil de vidro raiado haste curta 65 mm	pç
Funil de vidro raiado haste curta 75 mm	pç
Funil de vidro raiado haste curta 100 mm	pç
Funil de buchner de cerâmica 73 mL	pç
Funil de buchner de cerâmica 460 mL	pç
Barra magnética lisa 6 mm	pç
Barra magnética lisa 15 mm	pç
Barra magnética lisa 30 mm	pç
Barra magnética lisa 40 mm	pç
Barra magnética lisa 50 mm	pç
Pescador de barras magnéticas (J.PR ou similar)	pç
Porta-filtro com funil PSF-500 mL (DS0310-405 - NALGENE ou similar)	pç
Agitadores (bastão) de vidro (J.PR ou similar)	pç
Frasco de vidro conta gotas 20 mL	pç

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>20. Vidraria e acessórios de laboratório</b>	
<b>20.1. Vidraria e acessórios (laboratório físico-químico)</b>	
Frasco reagente graduado 100 mL	pç
Frasco reagente graduado 250 mL	pç
Frasco reagente graduado 500 mL	pç
Frasco reagente graduado 1000 mL	pç
<b>20.2. Vidraria e acessórios (laboratório microbiológico)</b>	
Termômetro de mercúrio com escala de -10+150:1 e divisão de 1°C (HIPERQUIMICA ou similar)	pç
Pipeta graduada 1x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç
Pipeta graduada 2x1/100 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç
Pipeta graduada 5x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç
Pipeta graduada 10x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç
Pipeta graduada 20x1/10 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç
Pipeta graduada 25x1/10 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç
Pipeta graduada 50x1/10 mL (LABORGLAS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 1 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 2 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 5 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 10 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 25 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 50 mL (HS ou similar)	pç
Pipeta volumétrica 100 mL (HS ou similar)	pç
Proveta de vidro sem tampa 10 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 50 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 100 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 250 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 500 mL	pç
Proveta de vidro sem tampa 1000 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 10 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 50 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 100 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 250 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 500 mL	pç
Proveta de vidro com tampa 1000 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 10 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 25 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 50 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 100 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 250 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 500 mL	pç
Beacker de vidro forma baixa 1000 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 10 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 25 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 50 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 100 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 125 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 250 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 500 mL	pç
Erlenmeyer de vidro 1000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 25 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 50 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 100 mL	pç

Tabela 1 – Quantitativos de investimento inicial utilizados na análise econômica e respectivas unidades (conclusão)

ITEM	UNIDADE
<b>20. Vidraria e acessórios de laboratório</b>	
<b>20.2. Vidraria e acessórios (laboratório microbiológico)</b>	
Balão volumétrico de vidro com tampa 250 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 500 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 1000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro com tampa 2000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 50 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 100 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 250 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 500 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 1000 mL	pç
Balão volumétrico de vidro sem tampa 2000 mL	pç
Pipetador de borracha 3 vias (J.PR ou similar)	pç
Kitasato de vidro 250 mL	pç
Kitasato de vidro 500 mL	pç
Barra magnética lisa 6 mm	pç
Barra magnética lisa 15 mm	pç
Barra magnética lisa 30 mm	pç
Barra magnética lisa 40 mm	pç
Barra magnética lisa 50 mm	pç
Pescador de barras magnéticas (J.PR ou similar)	pç
Agitadores (bastão) de vidro (J.PR ou similar)	pç
Frasco de vidro conta gotas 20 mL	pç
Frasco reagente graduado 100 mL	pç
Frasco reagente graduado 250 mL	pç
Frasco reagente graduado 500 mL	pç
Frasco reagente graduado 1000 mL	pç
<b>21. Outros equipamentos e acessórios</b>	
<b>21.1. Equipamentos da ETA</b>	
Bomba para lavagem dos filtros (Meganorm 100-160RT - KBS ou similar)	pç
Dosagem de hipoclorito de sódio (FCE 0502 PMMA - EMEC ou similar)	pç
Bomba para sulfato de alumínio (FCE 0505 PP - EMEC ou similar)	pç
Bomba para ácido fluossilícico (FCEF 05 02 PVDF - EMEC ou similar)	pç
Bomba para drenagem da casa de bombas (Robusta 250M 220V STD - ABS ou similar)	pç
Bomba para hidrante (2MB2 - Jacuzzi ou similar)	pç
Macromedidor de água tratada (Horizontal Beta MWN DN150 - Woltmann ou similar)	pç
Tanque para produtos químicos 60 L (Prominent ou similar)	pç
<b>21.2. Outros acessórios da ETA</b>	
Máscara protetora para olhos, nariz e boca	pç
Luvas	pç
Uniforme	pç
Carro transportador manual	pç
Chuveiro lava olhos	pç
Talha manual e monovia 1 T, 3 m de corrente	pç
<b>21.3. Equipamentos da ETR</b>	
Bomba de lodo (Megaflow 50-160 - KBS ou similar)	pç
Bomba para drenagem da casa de bombas (Robusta 250M 220V STD - ABS ou similar)	pç
Medidor ultra-sônico (SCA-380-2 - Nivetec ou similar)	pç
Talha manual e monovia 1 T, 3 m de corrente	pç
Bomba submersível (CP 3057-HT - Flygt ou similar)	pç
Misturador submersível + kit de instalação (CP 3057-HT - Flygt ou similar)	pç

Fonte: elaborado pelo autor.



Tabela 2 – Quantitativos de funcionamento utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continua)

ITEM	UNIDADE
<b>1. Água captada pela ETA</b>	
Custo da água captada pela ETA (mensal)	m <sup>3</sup>
<b>2. Operação da ETR</b>	
Água utilizada na limpeza das unidades (mensal)	m <sup>3</sup>
Retirada e disposição dos resíduos sólidos da ETR (anual)	m <sup>3</sup>
Retirada e disposição dos resíduos líquidos da ETR (mensal)	m <sup>3</sup>
<b>3. Produtos químicos</b>	
Hipoclorito de sódio (NaClO) (mensal)	kg
Sulfato de alumínio (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> x 14 H <sub>2</sub> O) (mensal)	L
Cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> x 6 H <sub>2</sub> O) (mensal)	L
Ácido fluossilícico (H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> ) (mensal)	kg
<b>4. Energia elétrica</b>	
<b>4.1. Energia elétrica da ETA</b>	
Bomba para lavagem dos filtros (mensal)	kWh
Bomba para drenagem (mensal)	kWh
Bombas dosadoras (mensal)	kWh
Bomba para hidrante (mensal)	kWh
Lâmpadas iluminação da casa de química (mensal)	kWh
Lâmpadas iluminação externa da ETA (mensal)	kWh
<b>4.2. Energia elétrica da ETR</b>	
Bomba de lodo (mensal)	kWh
Bomba para drenagem (mensal)	kWh
Lâmpadas iluminação da casa de bombas (mensal)	kWh
Bomba submersível (mensal)	kWh
Misturador submersível (mensal)	kWh
<b>5. Pessoal para operação e administração</b>	
Operador de ETA com nível técnico (mensal)	h
Técnico em laboratório (mensal)	h
Administrador (mensal)	h
Auxiliar administrativo (mensal)	h
Secretária (mensal)	h
Faxineira (mensal)	h
<b>6. Controle de qualidade da água - laboratório externo</b>	
Acidez - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Alcalinidade - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Alumínio - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Arsênico - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Bário - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Boro - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cianeto - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cloretos - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cloro residual - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Coliformes - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Condutividade elétrica - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cor - ensaio de qualidade da água (anual)	un
DBO - ensaio de qualidade da água (anual)	un
DQO - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Dureza Total - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Estanho - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Fenol - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Fluoreto - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Fósforo total - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Mercúrio - ensaio de qualidade da água (anual)	un

Tabela 2 – Quantitativos de funcionamento utilizados na análise econômica e respectivas unidades (continuação)

ITEM	UNIDADE
<b>6. Controle de qualidade da água - laboratório externo</b>	
Zinco - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Chumbo - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cádmio - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Níquel - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Ferro - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Manganês - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cobre - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cromo - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Nitrogênio amoniacal - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Nitrato - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Nitrito - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Nitrogênio total - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Oxigênio consumido - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Oxigênio dissolvido - ensaio de qualidade da água (anual)	un
pH - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Potássio - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Selênio - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sílica - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sódio - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sólidos dissolvidos - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sólidos sedimentáveis - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sólidos suspensos - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sólidos totais - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sulfato - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Sulfito - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Surfactantes - ensaio de qualidade da água (anual)	un
TOC - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Turbidez - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Acrilamida - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Benzeno - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Benzo[a]pireno - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cloreto de Vinila - ensaio de qualidade da água (anual)	un
1,2 Dicloroetano - ensaio de qualidade da água (anual)	un
1,1 Dicloroetano - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Diclorometano - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Estireno - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Tetracloroetano de Carbono - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Tetracloroetano - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Triclorobenzenos - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Tricloroetano - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Alaclor - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Aldrin e Dieldrin - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Atrazina - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Bentazona - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Clordano (isômeros) - ensaio de qualidade da água (anual)	un
2,4 D - ensaio de qualidade da água (anual)	un
DDT (isômeros) - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Endossulfan - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Endrin - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Glifosato - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Heptacloro e Heptacloro epóxido - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Hexaclorobenzeno - ensaio de qualidade da água (anual)	un

Tabela 2 – Quantitativos de funcionamento utilizados na análise econômica e respectivas unidades (conclusão)

ITEM	UNIDADE
<b>6. Controle de qualidade da água - laboratório externo</b>	
Lindano (g-BHC) - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Metolacoloro - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Metoxicloro - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Molinato - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Pendimetalina - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Pentaclorofenol - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Permetrina - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Propanil - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Simazina - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Trifluralina - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Triazolometanos Total - ensaio de qualidade da água (anual)	un
Cianotoxinas - ensaio de qualidade da água (anual)	un

Fonte: elaborado pelo autor.

## APÊNDICE C – Valores dos quantitativos

Na versão eletrônica, este apêndice encontra-se ao final do documento (após o Anexo C). Na versão impressa, este apêndice pode ser consultado no DVD afixado na contracapa (ao final do trabalho).

## APÊNDICE D – Equações dos quantitativos

Na versão eletrônica, este apêndice encontra-se ao final do documento (após o Anexo C). Na versão impressa, este apêndice pode ser consultado no DVD afixado na contracapa (ao final do trabalho).

## APÊNDICE E – Preços unitários utilizados no modelo

Tabela 1 – Preços unitários (composições) extraídos do SINAPI (CAIXA, 2019) (continua)

Item	Unidade	Preços unitários
Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até $\varnothing$ 15 cm, utilizando trator de esteiras	m <sup>2</sup>	R\$ 0,35
Limpeza manual do terreno (c/ raspagem superficial)	m <sup>2</sup>	R\$ 4,89
Portão em tela arame galvanizado n.12 malha 2" e moldura em tubos de aço com duas folhas de abrir, incluso ferragens	m <sup>2</sup>	R\$ 805,46
Portão de ferro em chapa galvanizada plana 14 GSG	m <sup>2</sup>	R\$ 245,80
Entrada provisória de energia elétrica aérea trifásica 40 A em poste madeira	un	R\$ 1.453,55
Execução de depósito em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário	m <sup>2</sup>	R\$ 569,16
Concreto fck = 25 MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/areia média/brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 L	m <sup>3</sup>	R\$ 296,22
Armação utilizando aço CA-25 de 12,5 mm - montagem	kg	R\$ 6,32
Escavação mecanizada de vala com prof. maior que 1,5 m até 3,0 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (0,8 m <sup>3</sup> /111 HP), larg. de 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>	R\$ 4,77
Escavação mecanizada de vala com prof. maior que 3,0 m até 4,5 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (1,2 m <sup>3</sup> /155 HP), larg. de 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>	R\$ 4,13
Escavação mecanizada de vala com prof. maior que 4,5 m até 6,0 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho), com escavadeira hidráulica (1,2 m <sup>3</sup> /155 HP), larg. de 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m <sup>3</sup>	R\$ 4,03
Escavação vertical a céu aberto, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidráulica (caçamba: 0,8 m <sup>3</sup> /111 HP), frota de 3 caminhões basculantes de 14 m <sup>3</sup> , DMT de 0,2km e velocidade média 4km/h	m <sup>3</sup>	R\$ 7,93
Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida maior ou igual a 6 m <sup>2</sup> , com vãos, utilizando palheta e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>	R\$ 46,57
Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 14x9x19 cm (espessura 14 cm, bloco deitado) de paredes com área líquida maior ou igual a 6 m <sup>2</sup> com vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>	R\$ 116,30
Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha de encaixe de cerâmica ou de concreto, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>	R\$ 51,29
Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de mais que 2 águas para telha de encaixe de cerâmica ou de concreto, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>	R\$ 59,10
Telhamento com telha cerâmica de encaixe, tipo francesa, com até 2 águas, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>	R\$ 30,67
Telhamento com telha cerâmica de encaixe, tipo francesa, com mais de 2 águas, incluso transporte vertical	m <sup>2</sup>	R\$ 33,66
Batente ferro 1x1/8"	m	R\$ 38,93
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros padronizada	m <sup>2</sup>	R\$ 273,13
Porta de ferro de abrir tipo barra chata, com requadro e guarnição completa	m <sup>2</sup>	R\$ 503,65

Tabela 1 – Preços unitários (composições) extraídos do SINAPI (CAIXA, 2019) (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Porta de aço chapa 24, de enrolar, raiada, larga com acabamento galvanizado natural	m <sup>2</sup>	R\$ 275,85
Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicado em áreas secas sobre laje, aderido, espessura 2 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 26,15
Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em teto, espessura de 20 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>	R\$ 38,14
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em panos cegos de fachada (sem presença de vãos), espessura de 25 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 29,62
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 46,76
Emboço, para recebimento de cerâmica, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicado manualmente em faces internas de paredes, para ambiente com área maior que 10 m <sup>2</sup> , espessura de 10 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>	R\$ 13,87
Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 L, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 10 mm, com execução de taliscas	m <sup>2</sup>	R\$ 18,55
Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35 cm aplicada em ambientes de área maior que 10 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	R\$ 34,26
Revestimento cerâmico para paredes internas com placas tipo esmaltada extra de dimensões 20x20 cm aplicadas em ambientes de área maior que 5 m <sup>2</sup> na altura inteira das paredes	m <sup>2</sup>	R\$ 43,79
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em teto, duas demãos	m <sup>2</sup>	R\$ 13,41
Aplicação manual de pintura com tinta látex acrílica em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>	R\$ 11,60
Aplicação manual de pintura com tinta látex PVA em paredes, duas demãos	m <sup>2</sup>	R\$ 9,02
Escada tipo marinheiro em tubo aço galvanizado 1 1/2", 5 degraus	m	R\$ 263,83
Guarda-corpo em tubo de aço galvanizado 1 1/2"	m <sup>2</sup>	R\$ 363,10
Impermeabilização de superfície com cimento impermeabilizante de pega ultra rápida, traço 1:1, e = 0,5 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 63,38
Porta de correr em alumínio, com duas folhas para vidro, incluso vidro liso incolor, fechadura e puxador, sem guarnição/alizar/vista	m <sup>2</sup>	R\$ 362,27
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 100 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 5,09
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 150 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 6,45
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 200 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 7,77
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 250 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 9,15
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 300 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 10,50
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 350 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 11,87

Tabela 1 – Preços unitários (composições) extraídos do SINAPI (CAIXA, 2019) (conclusão)

Item	Unidade	Preços unitários
Assentamento de tubo de ferro fundido para rede de água, DN 400 mm, junta elástica, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento)	m	R\$ 13,22

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Preços unitários (insumos) extraídos do SINAPI (CAIXA, 2019)

Item	Unidade	Preços unitários
Gradil 1320x2170 mm (AxL) em barra de aço chata 25x2 mm, entrelaçada com barra aço redonda 5 mm, malha 65x132 mm, galvanizado e pintura eletrostática, cor preto	m <sup>2</sup>	R\$ 300,89
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20x1,10 m, e = 18 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 30,97
Chapa de aço grossa, ASTM A36, e = 1/4" (6,35 mm) 49,79 kg/m <sup>2</sup>	kg	R\$ 6,01
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 3/16", e = 4,75 mm, 38 kg/m <sup>2</sup>	kg	R\$ 5,83
Chapa de aço fina a quente bitola MSG 14, e = 2,00 mm, 16 kg/m <sup>2</sup>	kg	R\$ 6,11
Material filtrante (pedregulho) 25,4 a 38 mm (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m <sup>3</sup>	R\$ 633,75
Material filtrante (pedregulho) 0,6 a 25,46 mm (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m <sup>3</sup>	R\$ 621,18
Areia para leito filtrante (0,42 a 1,68 mm) - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m <sup>3</sup>	R\$ 1.031,62
Manta geotêxtil tecido de laminetes de polipropileno, resistência a tração = 25 KN/m	m <sup>2</sup>	R\$ 15,47
Cantoneira alumínio abas iguais 2", e = 1/8"	m	R\$ 18,29
Pedra britada N.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m <sup>3</sup>	R\$ 49,79
Prancha de madeira aparelhada 4x30 cm, macaranduba, angelim ou equivalente da região	m	R\$ 42,54
Energia elétrica até 2000 kWh industrial, sem demanda	kWh	R\$ 0,56

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continua)

Item	Unidade	Preços unitários
Terreno	m <sup>2</sup>	R\$ 37,18
Mobilização e instalação de 01 equipamento de sondagem, distância até 10 km	un	R\$ 330,71
Locação convencional de obra, através de gabarito de tabuas corridas pontaletadas, com reaproveitamento de 10 vezes	m <sup>2</sup>	R\$ 4,67
Escada metálica 3,7x1,2 m + instalação	pç	R\$ 5.564,93
Escada metálica 3,7x0,6 m + instalação	pç	R\$ 4.173,70
Escada metálica tipo caracol com guarda-corpo + instalação	pç	R\$ 13.912,32
Mão de obra - construção e instalação de chapa de aço	kg	R\$ 1,39
Epóxi Poliamida Bicomponente de alta espessura Sumadur 80 Primer (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 1 demão	m <sup>2</sup>	R\$ 69,56
Pintura Epóxi sumadur 194 - água potável (rendimento médio = 10 m <sup>2</sup> /L por demão) - 2 demãos	m <sup>2</sup>	R\$ 69,56
Grade de aço com barras de 3/4"x1/8", espaçamento até 1,5 cm (passarela)	m <sup>2</sup>	R\$ 111,30



Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Guarda-corpo em escada de aço galvanizado - NTS 282 (tipo Sabesp) + pintura	m	R\$ 69,56
Portão metálico (1,0x0,7 m)	pç	R\$ 4,79
Lona plástica transparente para cobertura 5x4 m	un	R\$ 35,66
Grelha reta de ferro fundido 20x50 cm	un	R\$ 27,80
Tubo de ferro fundido DN 100 mm, L = 6 m	m	R\$ 242,78
Tubo de ferro fundido DN 150 mm, L = 6 m	m	R\$ 281,75
Tubo de ferro fundido DN 200 mm, L = 6 m	m	R\$ 355,90
Tubo de ferro fundido DN 250 mm, L = 6 m	m	R\$ 438,48
Tubo de ferro fundido DN 300 mm, L = 6 m	m	R\$ 522,08
Tubo de ferro fundido DN 350 mm, L = 6 m	m	R\$ 586,36
Tubo de ferro fundido DN 400 mm, L = 6 m	m	R\$ 807,53
Tê 90 de ferro fundido DN 80 mm	pç	R\$ 272,59
Tê 90 de ferro fundido DN 100 mm	pç	R\$ 425,45
Tê 90 de ferro fundido DN 150 mm	pç	R\$ 549,59
Tê 90 de ferro fundido DN 200 mm	pç	R\$ 980,04
Tê 90 de ferro fundido DN 250 mm	pç	R\$ 1.096,29
Tê 90 de ferro fundido DN 300 mm	pç	R\$ 1.660,92
Tê 90 de ferro fundido DN 350 mm	pç	R\$ 2.221,84
Tê 90 de ferro fundido DN 400 mm	pç	R\$ 2.517,25
Tê de redução de ferro fundido DN 150x100 mm	pç	R\$ 470,04
Tê de redução de ferro fundido DN 200x100 mm	pç	R\$ 962,82
Tê de redução de ferro fundido DN 200x150 mm	pç	R\$ 960,78
Tê de redução de ferro fundido DN 250x100 mm	pç	R\$ 960,78
Tê de redução de ferro fundido DN 250x200 mm	pç	R\$ 624,30
Tê de redução de ferro fundido DN 300x100 mm	pç	R\$ 1.530,02
Tê de redução de ferro fundido DN 300x150 mm	pç	R\$ 1.604,13
Tê de redução de ferro fundido DN 300x200 mm	pç	R\$ 1.604,13
Tê de redução de ferro fundido DN 300x250 mm	pç	R\$ 1.604,13
Tê de redução de ferro fundido DN 350x100 mm	pç	R\$ 1.530,02
Redução de ferro fundido DN 100x80 mm	pç	R\$ 190,25
Redução de ferro fundido DN 150x100 mm	pç	R\$ 495,39
Redução de ferro fundido DN 200x100 mm	pç	R\$ 1.146,55
Redução de ferro fundido DN 200x150 mm	pç	R\$ 1.146,55
Redução de ferro fundido DN 250x200 mm	pç	R\$ 1.227,43
Redução de ferro fundido DN 300x150 mm	pç	R\$ 929,21
Redução de ferro fundido DN 300x200 mm	pç	R\$ 929,21
Redução de ferro fundido DN 300x250 mm	pç	R\$ 929,21
Redução de ferro fundido DN 350x300 mm	pç	R\$ 1.040,00
Curva 45 de ferro fundido DN 250 mm	pç	R\$ 735,39
Curva 45 de ferro fundido DN 350 mm	pç	R\$ 1.452,82
Curva 90 de ferro fundido DN 100 mm	pç	R\$ 274,75
Curva 90 de ferro fundido DN 150 mm	pç	R\$ 428,78
Curva 90 de ferro fundido DN 200 mm	pç	R\$ 653,12
Curva 90 de ferro fundido DN 250 mm	pç	R\$ 961,03
Curva 90 de ferro fundido DN 300 mm	pç	R\$ 1.484,19
Curva 90 de ferro fundido DN 350 mm	pç	R\$ 1.998,66
Cruzeta de ferro fundido DN 100 mm	pç	R\$ 710,38
Flange de ferro fundido DN 100 mm	pç	R\$ 154,55
Flange de ferro fundido DN 150 mm	pç	R\$ 235,27
Flange de ferro fundido DN 200 mm	pç	R\$ 309,11
Flange de ferro fundido DN 250 mm	pç	R\$ 470,48

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Flange de ferro fundido DN 300 mm	pç	R\$ 658,66
Flange de ferro fundido DN 350 mm	pç	R\$ 806,56
Tubo de aço galvanizado comum DN 25 mm, L = 6 m	m	R\$ 144,55
Tubo de aço galvanizado comum DN 38 mm, L = 6 m	m	R\$ 220,37
Tubo de aço galvanizado comum DN 50 mm, L = 6 m	m	R\$ 316,05
Tubo de aço galvanizado comum DN 63 mm, L = 6 m	m	R\$ 392,63
Tubo de aço galvanizado comum DN 75 mm, L = 6 m	m	R\$ 907,73
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 38 mm	pç	R\$ 16,62
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 50 mm	pç	R\$ 24,51
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç	R\$ 16,62
Tê 90 de aço galvanizado comum DN 75 mm	pç	R\$ 49,71
Redução de aço galvanizado comum DN 38x25 mm	pç	R\$ 11,05
Redução de aço galvanizado comum DN 50x25 mm	pç	R\$ 11,05
Redução de aço galvanizado comum DN 50x38 mm	pç	R\$ 12,72
Redução de aço galvanizado comum DN 63x32 mm	pç	R\$ 11,05
Redução de aço galvanizado comum DN 63x38 mm	pç	R\$ 11,05
Redução de aço galvanizado comum DN 63x50 mm	pç	R\$ 11,05
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 25 mm	pç	R\$ 4,14
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 50 mm	pç	R\$ 19,36
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç	R\$ 19,36
Curva 45 de aço galvanizado comum DN 75 mm	pç	R\$ 49,71
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 25 mm	pç	R\$ 6,50
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 38 mm	pç	R\$ 12,80
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 50 mm	pç	R\$ 18,50
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 63 mm	pç	R\$ 46,73
Curva 90 de aço galvanizado comum DN 75 mm	pç	R\$ 85,02
Tubo de PVC rígido água DN 38 mm soldável, L = 6 m	m	R\$ 40,44
Tê 90 de PVC rígido água DN 38 mm soldável	pç	R\$ 1,09
Curva 90 de PVC rígido água DN 38 mm soldável	pç	R\$ 1,09
Tubo de PVC rígido esgoto DN 100 mm, L = 6 m	m	R\$ 30,03
Tubo de PVC rígido esgoto DN 150 mm, L = 6 m	m	R\$ 28,56
Tubo flexível DN 1/4" tipo cristal	pç	R\$ 2,70
Válvula borboleta tipo Wafer DN 100 mm	pç	R\$ 247,55
Válvula borboleta tipo Wafer DN 150 mm	pç	R\$ 342,04
Válvula borboleta tipo Wafer DN 200 mm	pç	R\$ 612,70
Válvula borboleta tipo Wafer DN 250 mm	pç	R\$ 986,11
Válvula borboleta tipo Wafer DN 300 mm	pç	R\$ 1.379,77
Válvula borboleta tipo Wafer DN 350 mm	pç	R\$ 2.500,84
Válvula de retenção DN 50 mm	pç	R\$ 86,13
Válvula de retenção DN 63 mm	pç	R\$ 86,13
Válvula de retenção DN 75 mm	pç	R\$ 373,09
Válvula de retenção DN 100 mm	pç	R\$ 517,41
Válvula de retenção DN 150 mm	pç	R\$ 517,41
Válvula de retenção DN 200 mm	pç	R\$ 517,41
Válvula de pé com crivo DN 63 mm	pç	R\$ 92,22
Registro de ângulo DN 63 mm	pç	R\$ 273,93
Registro gaveta DN 38 mm	pç	R\$ 118,25
Registro gaveta DN 50 mm	pç	R\$ 75,60
Registro gaveta DN 63 mm	pç	R\$ 89,18
Registro gaveta DN 75 mm	pç	R\$ 296,25
Válvula de esfera DN 25 mm	pç	R\$ 172,47
Jarteste com kit de filtros de laboratório (Nova Ética ou similar)	pç	R\$ 20.290,76

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Turbidímetro portátil (2100P - HACH ou similar)	pç	R\$ 14.511,99
Espectrofotômetro (DR 5000 UV/VIS ou similar)	pç	R\$ 65.711,62
Medidor de pH (DM-20 DIGIMED ou similar)	pç	R\$ 6.046,65
Balança analítica digital com capacidade máxima de 210 g (MA-2104N - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 6.060,85
Agitador magnético com aquecimento (MA-085 - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 2.069,66
Compressor aspirador para vácuo ou bomba de vácuo (MA-058 - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 3.163,33
Destilador de água capacidade 5,5 L/h (MA-255 - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 4.259,03
Chapa aquecedora (MA 239 - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 1.487,11
Mufla (Q318M24 - QUIMIS ou similar)	pç	R\$ 5.879,26
Balança simples (ESL-100 QUIMIS ou similar)	pç	R\$ 2.029,07
Dessecador com luva 250 mm com disco (HS 320-250 - HS ou similar)	pç	R\$ 2.355,32
Conduvímeter de bancada (Q405 - QUIMIS ou similar)	pç	R\$ 3.286,86
Capela para exaustão de gases em fibra de vidro, porta frontal em acrílico (CE0701 - PERMUTION ou similar)	pç	R\$ 4.058,15
Barrilete em PVC, com capacidade de 30 L (BP-0302 - PERMUTION ou similar)	pç	R\$ 623,74
Bureta digital de 25 mL (MOD. 182-026 - JENCONS ou similar)	pç	R\$ 4.261,06
Bureta digital de 50 mL (MOD. 182-026 - JENCONS ou similar)	pç	R\$ 5.049,64
Estufa esterilização/secagem (QX402 - QUALXTRON ou similar)	pç	R\$ 2.786,51
Autoclave vertical 30 L (MOD. AV-30 - PHOENIX ou similar)	pç	R\$ 5.781,11
Refrigerador para laboratório (412-D155 - Nova Ética ou similar)	pç	R\$ 4.058,15
Contador de colônias (CP-600 - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 2.783,90
Sistema de filtração (MA-452/3 - MARCONI ou similar)	pç	R\$ 7.142,34
Banho Maria (TE-056 - TECNAL ou similar)	pç	R\$ 3.824,30
Bicos queimadores	pç	R\$ 44,03
Termômetro de mercúrio com escala de -10+150:1 e divisão de 1°C (HIPERQUIMICA ou similar)	pç	R\$ 36,22
Pipeta graduada 1x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç	R\$ 5,27
Pipeta graduada 2x1/100 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç	R\$ 5,86
Pipeta graduada 5x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç	R\$ 6,07
Pipeta graduada 10x1/10 mL (SATELIT ou similar)	pç	R\$ 7,82
Pipeta graduada 20x1/10 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç	R\$ 11,61
Pipeta graduada 25x1/10 mL (GENNAGLASS ou similar)	pç	R\$ 12,66
Pipeta graduada 50x1/10 mL (LABORGLAS ou similar)	pç	R\$ 38,83
Pipeta volumétrica 1 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 14,49
Pipeta volumétrica 2 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 19,56
Pipeta volumétrica 5 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 22,70
Pipeta volumétrica 10 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 31,46
Pipeta volumétrica 25 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 43,19
Pipeta volumétrica 50 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 60,79
Pipeta volumétrica 100 mL (HS ou similar)	pç	R\$ 88,04
Provetta de vidro sem tampa 10 mL	pç	R\$ 30,43
Provetta de vidro sem tampa 50 mL	pç	R\$ 34,49
Provetta de vidro sem tampa 100 mL	pç	R\$ 38,56
Provetta de vidro sem tampa 250 mL	pç	R\$ 62,90
Provetta de vidro sem tampa 500 mL	pç	R\$ 71,01
Provetta de vidro sem tampa 1000 mL	pç	R\$ 97,39
Provetta de vidro com tampa 10 mL	pç	R\$ 24,35
Provetta de vidro com tampa 50 mL	pç	R\$ 26,71
Provetta de vidro com tampa 100 mL	pç	R\$ 27,72

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Proveta de vidro com tampa 250 mL	pç	R\$ 74,38
Proveta de vidro com tampa 500 mL	pç	R\$ 98,37
Proveta de vidro com tampa 1000 mL	pç	R\$ 120,53
Beacker de vidro forma baixa 10 mL	pç	R\$ 16,11
Beacker de vidro forma baixa 25 mL	pç	R\$ 16,11
Beacker de vidro forma baixa 50 mL	pç	R\$ 14,67
Beacker de vidro forma baixa 100 mL	pç	R\$ 12,86
Beacker de vidro forma baixa 250 mL	pç	R\$ 12,86
Beacker de vidro forma baixa 500 mL	pç	R\$ 14,67
Beacker de vidro forma baixa 1000 mL	pç	R\$ 24,59
Erlenmeyer de vidro 10 mL	pç	R\$ 30,43
Erlenmeyer de vidro 25 mL	pç	R\$ 30,43
Erlenmeyer de vidro 50 mL	pç	R\$ 27,57
Erlenmeyer de vidro 100 mL	pç	R\$ 41,15
Erlenmeyer de vidro 125 mL	pç	R\$ 13,45
Erlenmeyer de vidro 250 mL	pç	R\$ 14,87
Erlenmeyer de vidro 500 mL	pç	R\$ 16,34
Erlenmeyer de vidro 1000 mL	pç	R\$ 34,13
Balão volumétrico de vidro com tampa 25 mL	pç	R\$ 32,90
Balão volumétrico de vidro com tampa 50 mL	pç	R\$ 39,71
Balão volumétrico de vidro com tampa 100 mL	pç	R\$ 40,22
Balão volumétrico de vidro com tampa 250 mL	pç	R\$ 42,08
Balão volumétrico de vidro com tampa 500 mL	pç	R\$ 41,33
Balão volumétrico de vidro com tampa 1000 mL	pç	R\$ 55,35
Balão volumétrico de vidro com tampa 2000 mL	pç	R\$ 72,28
Balão volumétrico de vidro sem tampa 50 mL	pç	R\$ 19,18
Balão volumétrico de vidro sem tampa 100 mL	pç	R\$ 34,55
Balão volumétrico de vidro sem tampa 250 mL	pç	R\$ 39,32
Balão volumétrico de vidro sem tampa 500 mL	pç	R\$ 52,65
Balão volumétrico de vidro sem tampa 1000 mL	pç	R\$ 72,34
Balão volumétrico de vidro sem tampa 2000 mL	pç	R\$ 81,17
Pipetador de borracha 3 vias (J.PR ou similar)	pç	R\$ 18,18
Kitasato de vidro 250 mL	pç	R\$ 74,40
Kitasato de vidro 500 mL	pç	R\$ 90,94
Grais com pistilo de cerâmica 180 mL	pç	R\$ 66,19
Cone inhoff plástico 1000 mL	pç	R\$ 153,07
Suporte para cone inhoff em polietileno	pç	R\$ 214,32
Cápsula cerâmica para evaporação 5-85 mm (CHIAROTTI ou similar)	pç	R\$ 31,31
Cápsula cerâmica para evaporação 5-105 mm (CHIAROTTI ou similar)	pç	R\$ 41,58
Cápsula cerâmica para evaporação 5-50 mm (CHIAROTTI ou similar)	pç	R\$ 23,72
Funil de vidro raiado haste longa 50 mm	pç	R\$ 46,61
Funil de vidro raiado haste longa 65 mm	pç	R\$ 29,69
Funil de vidro raiado haste longa 75 mm	pç	R\$ 45,88
Funil de vidro raiado haste longa 100 mm	pç	R\$ 37,76
Funil de vidro raiado haste curta 50 mm	pç	R\$ 26,19
Funil de vidro raiado haste curta 65 mm	pç	R\$ 27,94
Funil de vidro raiado haste curta 75 mm	pç	R\$ 39,98
Funil de vidro raiado haste curta 100 mm	pç	R\$ 34,90
Funil de buchner de cerâmica 73 mL	pç	R\$ 125,29
Funil de buchner de cerâmica 460 mL	pç	R\$ 313,80
Barra magnética lisa 6 mm	pç	R\$ 7,94
Barra magnética lisa 15 mm	pç	R\$ 8,34

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Barra magnética lisa 30 mm	pç	R\$ 10,14
Barra magnética lisa 40 mm	pç	R\$ 15,00
Barra magnética lisa 50 mm	pç	R\$ 23,76
Pescador de barras magnéticas (J.PR ou similar)	pç	R\$ 68,04
Porta-filtro com funil PSF-500 mL (DS0310-405 - NALGENE ou similar)	pç	R\$ 982,68
Agitadores (bastão) de vidro (J.PR ou similar)	pç	R\$ 4,75
Frasco de vidro conta gotas 20 mL	pç	R\$ 1,87
Frasco reagente graduado 100 mL	pç	R\$ 24,94
Frasco reagente graduado 250 mL	pç	R\$ 28,85
Frasco reagente graduado 500 mL	pç	R\$ 33,03
Frasco reagente graduado 1000 mL	pç	R\$ 44,58
Bomba para lavagem dos filtros (Meganorm 100-160RT - KBS ou similar)	pç	R\$ 9.364,18
Dosagem de hipoclorito de sódio (FCE 0502 PMMA - EMEC ou similar)	pç	R\$ 1.359,48
Bomba para sulfato de alumínio (FCE 0505 PP - EMEC ou similar)	pç	R\$ 1.268,17
Bomba para ácido fluossilícico (FCEF 05 02 PVDF - EMEC ou similar)	pç	R\$ 1.988,49
Bomba para drenagem da casa de bombas (Robusta 250M 220V STD - ABS ou similar)	pç	R\$ 1.704,42
Bomba para hidrante (2MB2 - Jacuzzi ou similar)	pç	R\$ 1.935,74
Macromedidor de água tratada (Horizontal Beta MWN DN150 - Woltmann ou similar)	pç	R\$ 6.166,46
Tanque para produtos químicos 60 L (Prominent ou similar)	pç	R\$ 1.153,70
Máscara protetora para olhos, nariz e boca	pç	R\$ 202,90
Luvas	pç	R\$ 20,29
Uniforme	pç	R\$ 121,75
Carro transportador manual	pç	R\$ 141,83
Chuveiro lava olhos	pç	R\$ 1.040,92
Talha manual e monovia 1 T, 3 m de corrente	pç	R\$ 365,23
Bomba de lodo (Megaflo 50-160 - KBS ou similar)	pç	R\$ 7.842,38
Medidor ultra-sônico (SCA-380-2 - Nivetec ou similar)	pç	R\$ 4.250,91
Bomba submersível (CP 3057-HT - Flygt ou similar)	pç	R\$ 6.184,63
Misturador submersível + kit de instalação (CP 3057-HT - Flygt ou similar)	pç	R\$ 18.793,30
Custo da água captada pela ETA	m <sup>3</sup>	R\$ 0,14
Água utilizada na limpeza das unidades	m <sup>3</sup>	R\$ 0,31
Retirada e disposição dos resíduos sólidos da ETR	m <sup>3</sup>	R\$ 60,87
Retirada e disposição dos resíduos líquidos da ETR	m <sup>3</sup>	R\$ 0,16
Hipoclorito de sódio (NaClO)	kg	R\$ 2,23
Sulfato de alumínio (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> x 14 H <sub>2</sub> O)	L	R\$ 2,62
Cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> x 6 H <sub>2</sub> O)	L	R\$ 2,23
Ácido fluossilícico (H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	kg	R\$ 6,09
Operador de ETA com nível técnico	h	R\$ 8,11
Técnico em laboratório	h	R\$ 10,14
Administrador	h	R\$ 12,68
Auxiliar administrativo	h	R\$ 7,61
Secretária	h	R\$ 8,11
Faxineira	h	R\$ 4,06
Acidez - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Alcalinidade - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Alumínio - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 7,71
Arsênico - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Bário - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 121,75
Boro - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Cianeto - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 78,12

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (continuação)

Item	Unidade	Preços unitários
Cloretos - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Cloro residual - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Coliformes - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Condutividade elétrica - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 101,46
Cor - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
DBO - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 12,78
DQO - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 75,68
Dureza Total - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 62,90
Estanho - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Fenol - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Fluoreto - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Fósforo total - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Mercúrio - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Zinco - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 121,75
Chumbo - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90
Cádmio - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90
Níquel - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90
Ferro - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90
Manganês - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90
Cobre - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90
Cromo - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 37,94
Nitrogênio amoniacal - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Nitrato - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Nitrito - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Nitrogênio total - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 78,12
Oxigênio consumido - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Oxigênio dissolvido - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 12,78
pH - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 7,71
Potássio - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Selênio - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 50,72
Sílica - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Sódio - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Sólidos dissolvidos - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 37,94
Sólidos sedimentáveis - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 12,78
Sólidos suspensos - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 37,94
Sólidos totais - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 25,37
Sulfato - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Sulfito - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
Surfactantes - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,80
TOC - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 75,68
Turbidez - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 7,71
Acrilamida - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 304,36
Benzeno - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Benzo[a]pireno - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Cloreto de Vinila - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
1,2 Dicloroetano - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
1,1 Dicloroetano - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Diclorometano - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Estireno - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Tetracloroeto de Carbono - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Tetracloroetano - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Triclorobenzenos - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33

Tabela 3 – Preços unitários determinados a partir de consulta a peritos e orçamentos de empresas/lojas especializadas (conclusão)

Item	Unidade	Preços unitários
Tricloroeteno - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Alaclor - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Aldrin e Dieldrin - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Atrazina - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Bentazona - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Clordano (isômeros) - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
2,4 D - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
DDT (isômeros) - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Endossulfan - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Endrin - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Glifosato - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 304,36
Heptacloro e Heptacloro epóxido - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Hexaclorobenzeno - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Lindano (g-BHC) - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Metolacloro - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Metoxicloro - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Molinato - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Pendimetalina - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Pentaclorofenol - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Permetrina - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Propanil - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Simazina - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Trifluralina - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 42,26
Trialometas Total - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 55,33
Cianotoxinas - ensaio de qualidade da água	un	R\$ 202,90

Fonte: elaborado pelo autor.

## APÊNDICE F – Ferramenta computacional “DirectFiltrationCost”

Este apêndice está disponível somente em meio eletrônico. O arquivo, do tipo .xlsx, encontra-se no DVD afixado na contracapa, ao final do trabalho (na versão impressa).



## ANEXO A – Encargos sociais sobre o salário hora/mês (padrão)

Tabela 1 – Resumo de mão de obra horista

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Grupo A</b>	<b>Grupo B</b>	<b>Grupo C</b>	<b>Grupo D</b>
<b>A</b>	<b>Grupo A</b>				
A1	INSS	20,00%			
A2	SESI	1,50%			
A3	SENAI	1,00%			
A4	INCRA	0,20%			
A5	SEBRAE	0,60%			
A6	Salário Educação	2,50%			
A7	Seguro Contra Acidentes Trabalho	3,00%			
A8	FGTS	8,00%			
A9	SECONCI	1,00%			
<b>B</b>	<b>Grupo B</b>				
B1	Repouso Semanal Remunerado		17,97%		
B2	Feriados		4,69%		
B3	Auxílio-Enfermidade		0,93%		
B4	13º salário		10,86%		
B5	Licença Paternidade		0,07%		
B6	Faltas Justificadas		0,72%		
B7	Dias de Chuva		1,32%		
B8	Auxílio Acidente de Trabalho		0,11%		
B9	Férias Gozadas		8,49%		
B10	Salário Maternidade		0,03%		
<b>C</b>	<b>Grupo C</b>				
C1	Aviso Prévio Indenizado			5,19%	
C2	Aviso Prévio Trabalhado			0,12%	
C3	Férias Indenizadas + 1/3			4,66%	
C4	Depósito Rescisão Sem Justa Causa			4,83%	
C5	Indenização Adicional			0,44%	
<b>D</b>	<b>Grupo D</b>				
D1	Reincidência de A sobre B				17,09%
	Reincidência de A sobre Aviso Prévio				
D2	Trabalhado + Reincidência de FGTS sobre				0,46%
	Aviso Prévio Indenizado				
Subtotais (geral)		37,80%	45,20%	15,24%	17,55%
<b>Total dos encargos sociais sobre o salário hora</b>				<b>115,79%</b>	

Fonte: CAIXA (2018a).

## ANEXO B – Valores do BDI por tipo de obra

Tabela 1 – Valores médios e dos quartis do BDI por tipo de obra (para o presente trabalho, adotou-se o valor mostrado em negrito)

<b>Tipos de obras</b>	<b>1º quartil</b>	<b>Médio</b>	<b>3º quartil</b>
- Construção de edifícios	20,34%	22,12%	25,00%
- Construção de rodovias e ferrovias	19,60%	20,97%	24,23%
- Construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas	20,76%	<b>24,18%</b>	26,44%
- Construção e manutenção de estações e redes de distribuição de energia elétrica	24,00%	25,84%	27,86%
- Obras portuárias, marítimas e fluviais	22,80%	27,48%	30,95%

Fonte: TCU (2013).

## ANEXO C – Cotação do dólar

Tabela 1 – Cotação do dólar em relação ao real para janeiro de 2019

<b>Data</b>	<b>Cotação do dólar</b>	
01/01/2019	R\$	3,874
02/01/2019	R\$	3,809
03/01/2019	R\$	3,754
04/01/2019	R\$	3,716
07/01/2019	R\$	3,733
08/01/2019	R\$	3,715
09/01/2019	R\$	3,682
10/01/2019	R\$	3,709
11/01/2019	R\$	3,714
14/01/2019	R\$	3,700
15/01/2019	R\$	3,726
16/01/2019	R\$	3,734
17/01/2019	R\$	3,747
18/01/2019	R\$	3,756
21/01/2019	R\$	3,759
22/01/2019	R\$	3,805
23/01/2019	R\$	3,762
24/01/2019	R\$	3,769
25/01/2019	R\$	3,762
28/01/2019	R\$	3,764
29/01/2019	R\$	3,721
30/01/2019	R\$	3,709
31/01/2019	R\$	3,658
<b>Média</b>	<b>R\$</b>	<b>3,74</b>

Fonte: DólarHoje (2019).